



## Smart-Réno

### Fiabiliser, Professionnaliser, Valoriser la Rénovation Energétique

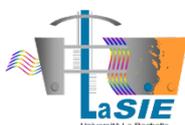
#### Troisième volet : Valoriser le confort

#### Livrable T3.5 – Analyse du gain de confort et de QAI

Auteurs : Louis Cony, Charles-Florian Picard, Marc Abadie.

Contributeurs : Denis Covalet, Bénédicte Wall-Ribot, Karim Limam, Jérôme Nicolle, Adrien Dhalluin.

**Décembre 2021**





## Sommaire

1	Introduction.....	5
2	Méthodologie.....	8
2.1	Configurations et données de sortie des simulations.....	8
2.2	Définition de l'indicateur Smart-Réno.....	9
3	Synthèse des résultats.....	13
3.1	Résultats principaux.....	13
3.2	Influence de la date de construction de la maison individuelle.....	15
3.3	Influence de zone climatique.....	17
3.4	Influence de la pollution extérieure.....	18
3.5	Classification des actions de rénovation par rapport à la qualité de l'environnement intérieur	19
4	Conclusions.....	23
5	Références.....	24
	Annexe A : Résultats.....	25
	Cas 1-1-1 : Avant 1948 / Zone climatique H1 / Pollution Urbaine.....	25
	Cas 1-1-2 : Avant 1948 / Zone climatique H1 / Pollution Péri-urbaine.....	25
	Cas 1-1-3 : Avant 1948 / Zone climatique H1 / Pollution Rurale.....	26
	Cas 1-2-1 : Avant 1948 / Zone climatique H2 / Pollution Urbaine.....	26
	Cas 1-2-2 : Avant 1948 / Zone climatique H2 / Pollution Péri-urbaine.....	27
	Cas 1-2-3 : Avant 1948 / Zone climatique H2 / Pollution Rurale.....	27
	Cas 1-3-1 : Avant 1948 / Zone climatique H3 / Pollution Urbaine.....	28
	Cas 1-3-2 : Avant 1948 / Zone climatique H3 / Pollution Péri-urbaine.....	28
	Cas 1-3-3 : Avant 1948 / Zone climatique H3 / Pollution Rurale.....	29
	Cas 2-1-1 : Entre 1949 et 1974 / Zone climatique H1 / Pollution Urbaine.....	29
	Cas 2-1-2 : Entre 1949 et 1974 / Zone climatique H1 / Pollution Péri-urbaine.....	30
	Cas 2-1-3 : Entre 1949 et 1974 / Zone climatique H1 / Pollution Rurale.....	30
	Cas 2-2-1 : Entre 1949 et 1974 / Zone climatique H2 / Pollution Urbaine.....	31
	Cas 2-2-2 : Entre 1949 et 1974 / Zone climatique H2 / Pollution Péri-urbaine.....	31
	Cas 2-2-3 : Entre 1949 et 1974 / Zone climatique H2 / Pollution Rurale.....	32
	Cas 2-3-1 : Entre 1949 et 1974 / Zone climatique H3 / Pollution Urbaine.....	32
	Cas 2-3-2 : Entre 1949 et 1974 / Zone climatique H3 / Pollution Péri-urbaine.....	33
	Cas 2-3-3 : Entre 1949 et 1974 / Zone climatique H3 / Pollution Rurale.....	33
	Cas 3-1-1 : Après 1975 / Zone climatique H1 / Pollution Urbaine.....	34
	Cas 3-1-2 : Après 1975 / Zone climatique H1 / Pollution Péri-urbaine.....	34
	Cas 3-1-3 : Après 1975 / Zone climatique H1 / Pollution Rurale.....	35

Cas 3-2-1 : Après 1975 / Zone climatique H2 / Pollution Urbaine .....	35
Cas 3-2-2 : Après 1975 / Zone climatique H2 / Pollution Péri-urbaine .....	36
Cas 3-2-3 : Après 1975 / Zone climatique H2 / Pollution Rurale.....	36
Cas 3-3-1 Après 1975 / Zone climatique H3 / Pollution Urbaine .....	37
Cas 3-3-2 : Après 1975 / Zone climatique H3 / Pollution Péri-urbaine .....	37
Cas 3-3-3 : Après 1975 / Zone climatique H3 / Pollution Rurale.....	38
Annexe B : Diaporama de restitution de l'étude numérique.....	39

# 1 Introduction

Ce livrable intitulé « Analyse du gain de confort et de la Qualité de l’Air Intérieur (QAI) » représente l’aboutissement des travaux effectués dans le cadre du Volet 3 « Valoriser le confort » du programme Smart-Réno « Fiabiliser, Professionnaliser, Valoriser la Rénovation Énergétique ». L’objectif est de quantifier les effets de la rénovation énergétique des maisons individuelles sur le confort hygrothermique et la QAI. Cette analyse repose sur l’ensemble de travaux préliminaires suivants :

- Tâche 3.1 : Analyse du parc des bâtiments existants dans laquelle les caractéristiques relatives à l’étude thermique et de QAI des maisons individuelles ont été listés (Livrable 3.1).
- Tâche 3.2 : Analyse des opérations de rénovation par type et âge des bâtiments qui a permis de lister et classer selon leurs occurrences les actions de rénovation effectivement mises en œuvre sur le terrain (Livrable 3.2).
- Tâche 3.3 : Définition des indicateurs de confort et plus généralement sur les principes de bases, expressions mathématiques et indicateurs adaptés à la Qualité Environnementale Intérieure regroupant le confort hygrothermique, la QAI, l’acoustique, l’éclairage et l’environnement électromagnétique. Ce livrable (3.3) riche en informations a permis en particulier de mettre en relation les interactions entre les actions de rénovation énergétique et les variables d’environnements et ainsi mettre en relief les interactions entre les opérations de rénovation et les différents indicateurs.
- Tâche 3.4 : Mise en œuvre de la méthodologie proposée par simulations numériques (Livrable 3.4) qui a permis de construire les environnements de simulation afin de produire les résultats analysés dans le présent livrable. Ce travail de plus d’un an a consisté à la construction des différents cas de références et en particulier à la définition et la bonne implémentation des données d’entrées. Le parti pris d’utiliser deux environnements de simulations par deux équipes distinctes a permis de s’assurer de la qualité de la méthodologie par inter comparaisons successives et de complexité croissante des résultats sur un cas de référence.

Les figures suivantes illustrent ces quatre étapes de développement ; les informations complémentaires relatives à celles-ci sont disponibles dans les livrables d’origine.

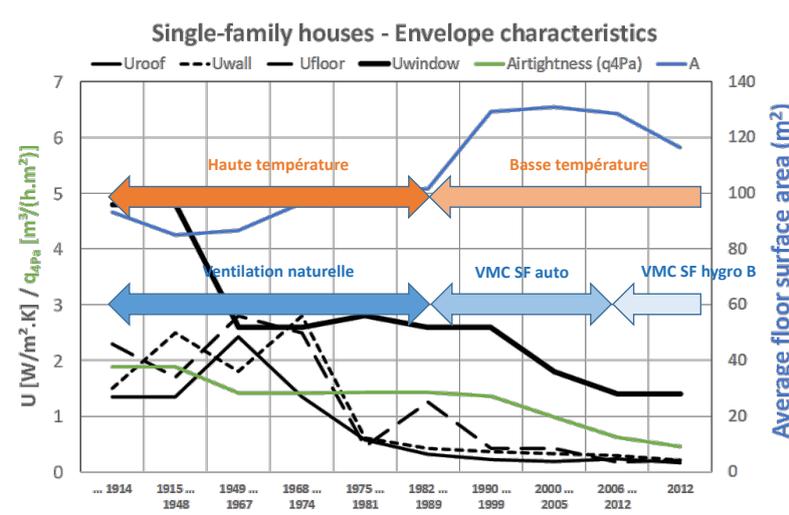


Figure 1 : Tâche 3.1 – Propriété thermique et étanchéité à l’air de l’enveloppe, surface de plancher, système de chauffage et de ventilation des maisons individuelles selon l’année de construction.

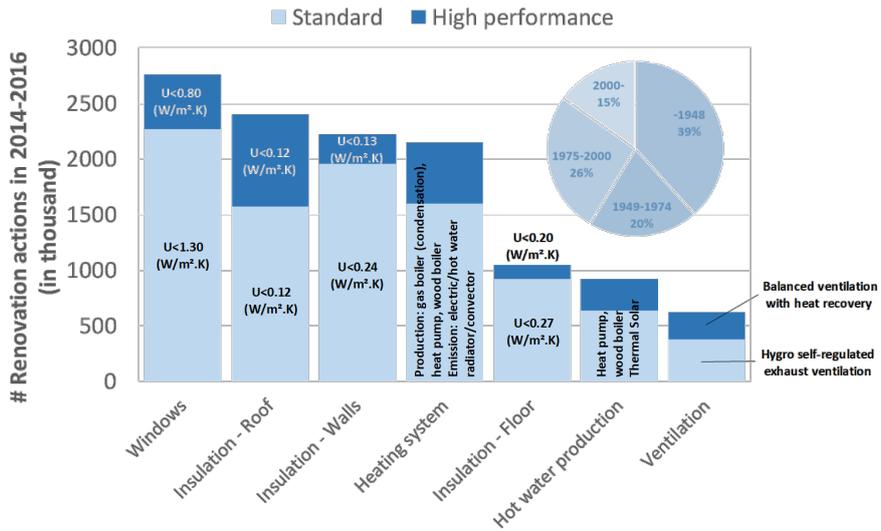
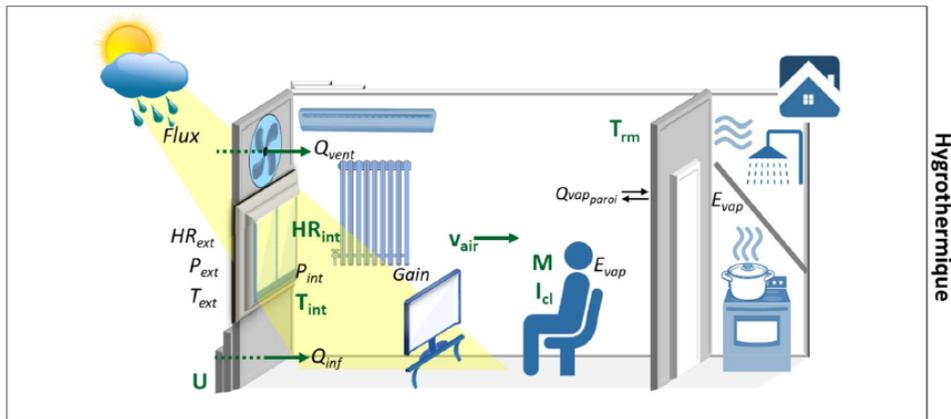
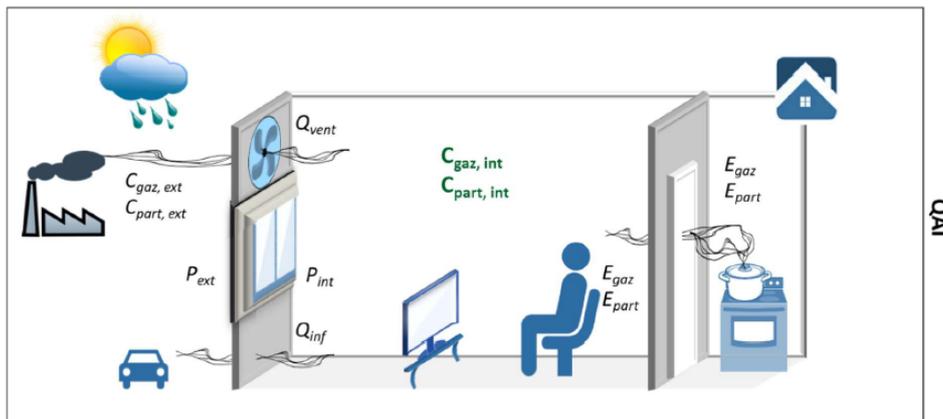


Figure 2 : Tâche 3.2 – Nombre d'actions de rénovation énergétique pour la période 2014-2015.



$T_{int/ext}$  : température de l'air intérieur/extérieur (K), HR : humidité relative (%),  $T_{rm}$  : température radiante moyenne (K),  $Q_{vent}$  : débit d'air de ventilation ( $m^3.s^{-1}$ ),  $Q_{inf}$  : débit d'air d'infiltration ( $m^3.s^{-1}$ ),  $Q_{vap,paroi}$  : flux de vapeur échangé avec les parois ( $kg.s^{-1}$ ),  $P_{int/ext}$  : pression intérieure/extérieure (Pa), M : production de chaleur métabolique ( $W.m^{-2}$ ),  $I_{cl}$  : isolation thermique des vêtements ( $m^2.K.W^{-1}$ ),  $E_{vap}$  : émissions de vapeur ( $kg.s^{-1}$ ).



$Q_{vent}$  : débit d'air de ventilation ( $m^3.s^{-1}$ ),  $Q_{inf}$  : débit d'air d'infiltration ( $m^3.s^{-1}$ ),  $P_{int}$  : pression intérieure et  $P_{ext}$  : pression extérieure (Pa),  $C_{gaz}$  : concentrations des polluants gazeux ( $kg.m^{-3}$ ),  $C_{part}$  : concentrations des polluants particulaires ( $kg.m^{-3}$ ), E : taux d'émissions de polluants ( $kg.s^{-1}$ ).

Figure 3 : Tâche 3.3 – Illustrations des variables relatives au confort hygrothermique (en haut) et à la QAI (en bas).

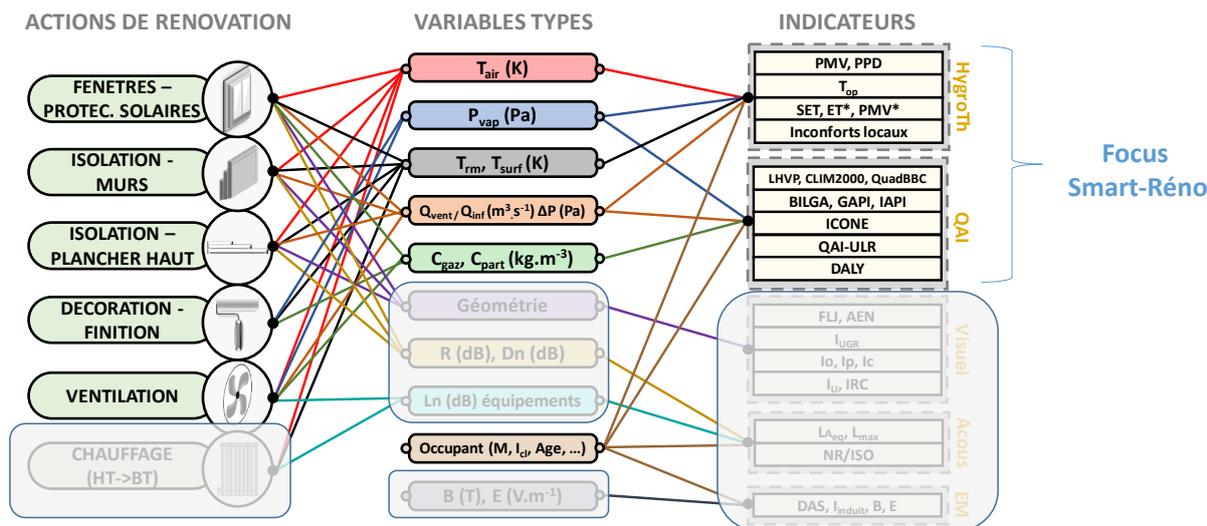


Figure 4 : Tâche 3.3 – Relations entre actions de rénovation et variables/indicateurs relatifs au confort hygrothermique (en haut) et à la QAI (en bas).

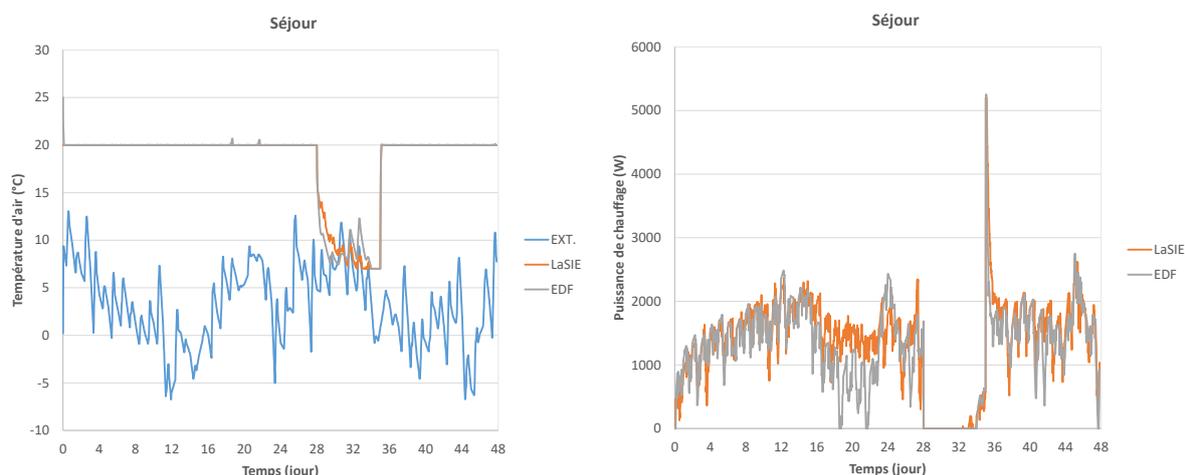


Figure 5 : Tâche 3.4 – Comparaison des résultats entre deux outils de simulation numérique utilisés par le LaSIE et EDF ; Températures d'air et de puissance de chauffage pour le séjour et la période du début de l'année.

Le présent livrable est constitué de deux parties. La première vise à présenter la méthodologie d'analyse des résultats de simulation issus de la tâche 3.4 et en particulier la définition de l'indicateur global Smart-Réno et de ses sous-indicateurs nécessaires à l'évaluation des effets des actions de rénovations. La deuxième partie présente quant à elle les résultats des analyses concernant les effets des actions de rénovation en fonction de l'année de construction et de la situation géographique (climat et pollution) des maisons individuelles sur le confort hygrothermique et la QAI. L'ensemble des résultats est présenté dans l'Annexe A. Le diaporama présenté lors du colloque de restitution du programme Smart-Réno intitulé « Rénovation énergétique : innover motiver massifier » (24/11/2021, La Rochelle) qui constitue un résumé du travail réalisé est reproduit dans l'Annexe B.

## 2 Méthodologie

Ce chapitre décrit la méthodologie appliquée dans le cadre de ce programme pour quantifier les effets des actions de rénovation sur le confort et la santé au moyen d'indicateurs agrégés. La première partie de ce chapitre rappelle les configurations et données de sortie des simulations numériques effectuées au cours de la tâche 3.4 ; données qui sont à la base du calcul des sous-indicateurs de confort et de QAI. La seconde partie présente la méthode d'agrégation de ces résultats et la représentation graphique de ceux-ci afin de permettre l'analyse des effets des actions de rénovation.

### 2.1 Configurations et données de sortie des simulations

Afin de mener à bien l'objectif du volet 3 c'est-à-dire la quantification des actions de rénovation sur le confort et la santé, les différents cas à simuler ont été définis afin de représenter le plus large spectre de possibilités. Ainsi, les paramètres suivants ont été considérés :

- Période de construction de la maison individuelle : avant 1948, entre 1949 et 1974 et après 1975 ;
- Localisation géographique : zone climatique H1, H2 et H3 ;
- Niveau de pollution extérieure : pollution urbaine, périurbaine et rurale ;
- Action de rénovation énergétique :
  - Etat Initial
  - #1 Remplacement des ouvrants
  - #2 Isolation des parois verticales
  - #3 Isolation des combles perdues
  - #4 Décoration - Finitions
  - #5 Ventilation
  - Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4
  - Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4 + #5

Un total de 216 configurations (3 périodes de construction × 3 localisations géographiques × 3 niveaux de pollution × 8 niveaux énergétiques) a été ainsi défini.

Chaque simulation numérique a été effectuée sur l'année avec un pas de temps de restitution de 30 minutes. Les variables de sortie ont concerné les températures et humidités relatives d'air, les températures opératives et radiantes moyennes, les températures de surface des parois, les besoins de chauffage, les pressions relatives, les taux de renouvellement d'air et les concentrations en PM<sub>2,5</sub>, NO<sub>2</sub>, benzène, toluène, formaldéhyde et CO<sub>2</sub>. Toutes ces variables ont été sauvegardées pour l'ensemble des pièces du logement.

A partir de ces variables, un ensemble de sous-indicateurs relatifs au confort hygrothermique et à la QAI a été calculé :

- PPD (Fanger, 1970) : le PMV (Predicted Mean Vote) permet de calculer la sensation thermique ressentie par les occupants soumis à des conditions environnementales (températures d'air et radiante, humidité relative, ...) stables dans le temps c'est-à-dire dans les ambiances climatisées. Pour notre cas, cet indicateur peut donc être utilisé pendant la période de chauffage uniquement. Le PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) traduit le pourcentage de personnes insatisfaites à partir du PMV (l'inconfort) et varie de 5 à 100%.
- PMV\*-PPD\* : c'est une adaptation du PMV-PPD qui inclue une meilleure sensibilité aux fortes humidités relatives mais surtout qui prend en compte la réponse du corps humain à une variation dynamique des conditions environnementales (Gagge et al., 1971 ; Gagge 1973 ;

Gagge, 1986). Cet indicateur peut donc être utilisé hors période de chauffage (au printemps et en automne dans notre cas). Le PPD\* varie également de 5 à 100%.

- $DH_{\text{inconfort}}$  (Degrés-heure d'inconfort) : il est calculé en fonction de la droite optimale donnée par le principe de confort adaptatif (de Dear et Brager, 1998) qui permet de prendre en compte l'adaptabilité des occupants aux conditions intérieures par rapport aux niveaux de température extérieure. Il permet ainsi de quantifier l'inconfort thermique d'été et n'est pas borné puisqu'il représente l'accumulation de l'écart de la température intérieure par rapport à la température de confort optimale sur une période donnée.
- $PPD_{\text{asymétrie}}$  (Asymétrie de rayonnement) : c'est un critère permettant d'évaluer l'inconfort induit par une paroi froide ou chaude dans une ambiance intérieure (ISO 7730, 2005). Cet inconfort s'exprime en PPD et varie de 0 à 100%.
- ULR-QAI (Cony Renaud-Salis, 2019) : c'est un indicateur de pollution de l'air intérieur multi-polluants qui est basée sur la concentration moyenne de chaque polluant sur une période donnée et qui fait intervenir les Valeurs Guides de l'Air Intérieur (VGAI) définies par l'ANSES (2018). Son échelle varie de 0 (pollution limitée car toutes les concentrations des polluants sont en dessous des VGAI) à 10 (au moins un des polluants voit sa concentration moyenne supérieure à la VGAI à court terme).
- DALY (Logue et al., 2011) : le DALY (Disability Adjusted Life Years) est un indicateur quantifiant le nombre d'années de vie en bonne santé perdues à cause de l'exposition à des polluants. Son échelle n'est pas bornée puisqu'il dépend des niveaux de concentration des polluants pris en compte.

Le Tableau 1 synthétise l'ensemble des cas à analyser.

Tableau 1 : Liste des paramètres (année de construction, localisation géographique et pollution extérieure), des actions de rénovation, des périodes et des indices de confort hygrothermique et de QAI.

Date de construction	Localisation géographique (Zone climatique)	Pollution extérieure	Rénovation Energétique	Période de temps	Indicateurs
Avant 1948	H1	Urbaine	#0 Etat Initial	Année	PPD
Entre 1949 et 1974	H2	Péri-urbaine	#1 Remplacement des ouvrants	Hiver	DH inconfort
Après 1975	H3	Rurale	#2 Isolation des parois verticales	Printemps	PPD*
			#3 Isolation des combles perdues	Eté	PPD asymétrie
			#4 Décoration - Finitions	Automne	ULR-QAI
			#5 Ventilation mécanique Hygro.		DALY
			Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4		
			Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4 + #5		

## 2.2 Définition de l'indicateur Smart-Réno

L'indicateur Smart-Réno construit pour l'analyse des effets des actions de rénovation sur le confort hygrothermique et la QAI repose sur plusieurs éléments :

- Périodes considérées : **année et saisons**. En effet, comme précisé dans la section précédente pour le confort hygrothermique, certains sous-indicateurs sont utilisables sous certaines conditions environnementales. Ainsi, le PPD est dédié à la période de chauffage, le PPD\* au printemps et à l'automne, le  $DH_{\text{inconfort}}$  à l'été et le  $PPD_{\text{asymétrie}}$  à toutes les saisons. Les valeurs moyennes des sous-indicateurs pour chaque saison et pour l'année complète seront donc considérées.

- Pièces du logement considérées : **chambre et séjour**. On s'intéresse ici à ce qui est appelé le budget espace-temps. Cela consiste à déterminer les conditions environnementales de l'occupant en fonction de sa localisation dans le logement. On considèrera ici un occupant présent 24h/24h dans le logement et qui est localisé dans une chambre pendant la période de nuit et dans le séjour pendant la période de jour.
- **Normalisation des sous-indicateurs**. Les six sous-indicateurs définis précédemment devront être agrégés afin d'une part d'obtenir des sous-indicateurs annuels de confort et de QAI à partir des résultats par saisons et, d'autre part, un indicateur unique (indicateur Smart-Réno) caractérisant à la fois le confort et la QAI. Aussi, il paraît primordial de disposer de sous-indicateurs variant sur une même échelle. Trois sous-indicateurs de confort thermique varient déjà selon la même échelle à savoir PPD, PPD\* et PPD<sub>asymétrie</sub>. En ce qui concerne le DH<sub>inconfort</sub>, nous proposons de l'adimensionnaliser à partir du critère du projet pour la RE2020 récemment établi (RE2020, 2021) qui fixe le nombre de DH<sub>inconfort</sub> à 1250°C.h pour les maisons individuelles et de l'exprimer en %. L'ULR-QAI varie quant à lui de 0 à 10 et sera divisé par 10 et également exprimé en %. Enfin, la normalisation du nombre de DALY est plus complexe. Notons que l'extrême majorité des DALY imputables aux polluants de l'air intérieur sont dus aux particules (PM<sub>2,5</sub>) ; aussi, il nous paraît justifié de prendre ce polluant comme référence dans notre normalisation. Nous proposons ainsi de normaliser les DALY selon une formulation considérant le nombre de DALY induits par des concentrations de PM<sub>2,5</sub> aux niveaux des VGAI à court (CT) et long termes (LT), soit :

$$DALY_{adim} = \frac{DALY_{origine} - DALY(VGAI_{LT-PM2,5})}{DALY(VGAI_{CT-PM2,5}) - DALY(VGAI_{LT-PM2,5})} = \frac{DALY_{origine} - 750}{1500 - 750}$$

Les valeurs seront limitées à l'intervalle [0% ; 100%].

- **Inversion d'échelle** pour les sous-indicateurs : tels que définis, les sous-indicateurs de confort et de QAI sont en fait des sous-indicateurs d'inconfort et de pollution qui voient leurs valeurs augmentées quand les conditions environnementales deviennent moins favorables. Nous choisissons donc de considérer au final le complémentaire de ces sous-indicateurs (100%-valeur en %) afin d'obtenir des évaluations de 0% à 100% avec 100% représentant les meilleures conditions environnementales possibles en termes de confort hygrothermique et de QAI.

La Figure 6 présente finalement la représentation finale de l'évaluation du confort hygrothermique et de QAI pour une situation énergétique donnée. Tout d'abord, un code couleur simple est utilisé : rouge (0%) représente la pire des situations et vert (100%) identifie les confort et QAI optimaux. L'indicateur Smart-Réno (1<sup>ère</sup> case à gauche) représente la note attribuée à l'évaluation prenant en compte à la fois le confort et la QAI. La problématique de l'agrégation de sous-indicateurs (comme ici confort et QAI) a été étudiée récemment par Abadie et Wargocki (2017). Il ressort de cette étude que la valeur la moins favorable des sous-indicateurs devrait être gardée comme valeur de l'indicateur global afin de ne pas amoindrir les situations sévères, fortement défavorable. Le contexte de l'étude de Smart-Réno est ici quelque peu différent puisque celle-ci vise à comparer des situations avant et après rénovations qui sont a priori non extrêmes, ni en termes de confort thermique, ni en QAI. Aussi, afin de mieux mettre en valeur les effets induits par les actions de rénovation, **la moyenne des sous-indicateurs annuels de confort thermique et de QAI sera ici utilisée comme résultat pour l'indicateur smart-réno**.

Ces deux sous-indicateurs annuels de confort et de QAI sont également affichés en 2<sup>ème</sup> colonne, respectivement en haut et en bas. Ces deux notes annuelles sont quant à elles calculées comme les

valeurs moyennes saisonnières pour le confort d'une part et pour la QAI d'autre part (colonnes suivantes).

L'exemple de la Figure 6, qui ne reproduit pas de données réelles, montre ainsi un niveau global de 32/100 qui est égal à la moyenne du confort hygrothermique de 56/100 et de la QAI qui est égal à 8/100. La période pendant laquelle apparait le plus grand inconfort est ici l'hiver avec 28/100. On peut également observer que le confort est très bon au printemps et en été (respectivement 70/100 et 74/100) et juste moyen en automne (53/100). Enfin, la QAI est mauvaise avec 12/100 en hiver, 8/100 au printemps, 2/100 en été et 8/100 en automne.

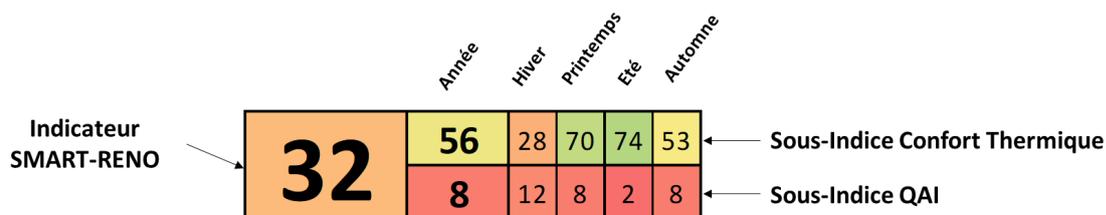


Figure 6 : Indicateur Smart-Réno – Valeurs fictives et uniquement illustratives.

La Figure 7 présente la manière de comparer les effets d'une action de rénovation sur le confort et la QAI. Les cadrans de gauche présentent l'état initial avant rénovation (en haut) et les notes obtenues après une action de rénovation (en bas). Le cadran de droite est obtenu en soustrayant les notes de l'état initial à celles obtenues après rénovation. Ainsi, une valeur positive (en vert) traduit une amélioration des indicateurs grâce à l'action de rénovation alors qu'une valeur négative (en rouge) sanctionne une dégradation. Dans cette illustration, l'indicateur augmente de 4 points induit par une diminution du confort de 8 points mais une amélioration de la QAI de 16 points. On remarque que cette action de rénovation n'a pas d'effet sur les conditions de confort en hiver et en été mais dégrade le confort au printemps et en automne. La QAI est généralement améliorée (+20 points) sauf en hiver où il n'y a aucun effet (proche de 0).

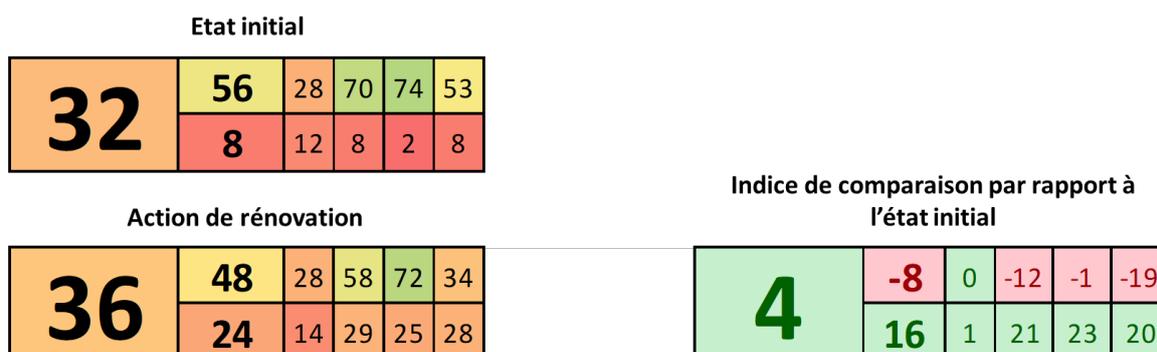


Figure 7 : Principe de comparaison des indicateurs entre l'état initial et une action de rénovation – Valeurs fictives et uniquement illustratives.

Les résultats des simulations seront donc présentés par des planches pour chaque configuration « date de construction / localisation géographique / pollution extérieure » comme illustrées par la Figure 8. Cette représentation facilitera ainsi l'analyse des actions de rénovations. Pour l'exemple de cette figure, il pourrait être conclu que les bouquets de rénovation permettent une réelle plus-value faisant passer la note « Smart-Réno » de 32/100 à 53/100 avec néanmoins une forte influence de l'action de rénovation « décoration – finitions » avec une note de 51/100. Cette influence provient de l'état initial qui présente de fortes émissions intérieures de polluant gazeux dont la solution de remédiation est

l'enlèvement/encapsulation des sources par leur remplacement par des matériaux peu émissifs et/ou par l'application d'une peinture peu émissive et imperméable qui réduirait l'émission des matériaux.

Après 1975	Etat Initial	<b>32</b>	<table border="1"><tr><td>56</td><td>28</td><td>70</td><td>74</td><td>53</td></tr><tr><td>8</td><td>12</td><td>8</td><td>2</td><td>8</td></tr></table>	56	28	70	74	53	8	12	8	2	8	
56	28	70	74	53										
8	12	8	2	8										
Zone climatique H1														
Urbaine														
	Remplacement des ouvrants	<b>31</b>	<table border="1"><tr><td>56</td><td>28</td><td>67</td><td>79</td><td>49</td></tr><tr><td>7</td><td>11</td><td>8</td><td>2</td><td>8</td></tr></table>	56	28	67	79	49	7	11	8	2	8	<b>0</b>
56	28	67	79	49										
7	11	8	2	8										
	Isolation des parois verticales	<b>33</b>	<table border="1"><tr><td>58</td><td>30</td><td>75</td><td>68</td><td>60</td></tr><tr><td>7</td><td>11</td><td>7</td><td>2</td><td>7</td></tr></table>	58	30	75	68	60	7	11	7	2	7	<b>1</b>
58	30	75	68	60										
7	11	7	2	7										
	Isolation des combles perdus	<b>32</b>	<table border="1"><tr><td>57</td><td>29</td><td>73</td><td>72</td><td>57</td></tr><tr><td>7</td><td>11</td><td>8</td><td>2</td><td>8</td></tr></table>	57	29	73	72	57	7	11	8	2	8	<b>0</b>
57	29	73	72	57										
7	11	8	2	8										
	Décoration - Finitions	<b>51</b>	<table border="1"><tr><td>56</td><td>28</td><td>70</td><td>74</td><td>53</td></tr><tr><td>46</td><td>29</td><td>57</td><td>55</td><td>42</td></tr></table>	56	28	70	74	53	46	29	57	55	42	<b>19</b>
56	28	70	74	53										
46	29	57	55	42										
	Ventilation	<b>36</b>	<table border="1"><tr><td>48</td><td>28</td><td>58</td><td>72</td><td>34</td></tr><tr><td>24</td><td>14</td><td>29</td><td>25</td><td>28</td></tr></table>	48	28	58	72	34	24	14	29	25	28	<b>4</b>
48	28	58	72	34										
24	14	29	25	28										
	Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4	<b>53</b>	<table border="1"><tr><td>61</td><td>34</td><td>75</td><td>77</td><td>58</td></tr><tr><td>46</td><td>29</td><td>57</td><td>55</td><td>42</td></tr></table>	61	34	75	77	58	46	29	57	55	42	<b>22</b>
61	34	75	77	58										
46	29	57	55	42										
	Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4 + #5	<b>52</b>	<table border="1"><tr><td>58</td><td>35</td><td>72</td><td>79</td><td>47</td></tr><tr><td>46</td><td>29</td><td>58</td><td>61</td><td>36</td></tr></table>	58	35	72	79	47	46	29	58	61	36	<b>20</b>
58	35	72	79	47										
46	29	58	61	36										



Figure 8 : Illustration de l'effet des actions de rénovation sur le confort hygrothermique et la QAI pour une maison individuelle construite après 1975, localisée en zone climatique H1 et située en zone urbaine – Valeurs, ici, fictives et uniquement illustratives.

### 3 Synthèse des résultats

Cette section présente les principaux résultats qui découlent des simulations effectuées au cours de cette étude. L'ensemble des résultats, c'est-à-dire les planches pour chaque configuration, est présenté en annexe.

#### 3.1 Résultats principaux

Les trois figures suivantes regroupent l'ensemble des résultats, soit 9 simulations (3 zones climatiques × 3 niveaux de pollution extérieure) par configuration (état initial et actions de rénovation) pour chaque période de construction des maisons considérées dans cette étude. Ainsi, pour les maisons les plus anciennes dans leur état initial (Figure 9), l'indice Smart-Réno est compris entre 35 et 52 points sur 100. Rappelons que les caractéristiques principales de l'état initial, considéré pour cette époque de construction, sont une maison comportant un RDC et un étage, une étanchéité d'enveloppe faible, un système de chauffage légèrement sous-dimensionné et une absence de système de ventilation (le renouvellement d'air étant ici assuré par les infiltrations d'air induit par le tirage thermique et le vent). On remarque que les 3 premières actions de rénovation (changement des ouvrants et isolation thermique des murs et des combles) ont peu d'influence sur l'indice. En effet les quelques gains sur le confort thermique sont contrebalancés par une dégradation de la QAI due à la meilleure étanchéité de l'enveloppe, diminuant le renouvellement de l'air en ventilation naturelle. A l'inverse, la diminution de l'émission des sources intérieures (action #4) ou la mise en place d'une ventilation mécanique hygroréglable (ventilation assurée uniquement par les infiltrations à travers l'enveloppe initialement) permet de gagner quelques points. Ainsi les bouquets de rénovation permettent d'assurer une amélioration de l'indice de 20 points.

En ce qui concerne les maisons construites entre 1949 et 1974 (maison de plain-pied, système de chauffage bien dimensionné, ventilation naturelle par conduits d'extraction dans les pièces de services), on note une légère dégradation de l'indice suite aux 3 premières actions. Celle-ci est induite essentiellement par une diminution de la ventilation (naturelle par conduit dans le cas présent) suite à l'augmentation de l'étanchéité de l'enveloppe et donc une dégradation de la QAI mais également du confort thermique en été. Le remplacement des matériaux intérieurs très émissifs en polluants et le remplacement de la ventilation naturelle par une ventilation mécanique hygroréglable permet d'améliorer considérablement la situation. Ainsi les bouquets permettent une augmentation de l'indice Smart-Réno jusqu'à près de 20 points.

Enfin, pour les maisons les plus récentes (maison de plain-pied, système de chauffage bien dimensionné, ventilation mécanique autoréglable), et contrairement aux autres cas, on note une nette dégradation de l'indice par le remplacement de la ventilation mécanique autoréglable par une hygroréglable. Cette dégradation est expliquée par une moins bonne évacuation des émissions de Composés Organiques Volatils (COVs) émis par les surfaces du fait de cette action, motivée par des gains énergétiques. Pour ce dernier cas, les bouquets d'actions permettent néanmoins d'assurer une amélioration de l'indice de 10 à 15 points. En effet, une diminution des émissions surfaciques de COVs (action #4) permet de mitiger la baisse globale de renouvellement de l'air due au passage à un mode de ventilation hygroréglable (action #5) ; réaliser ces actions conjointement semble donc présenter, sous ces hypothèses, un réel intérêt.

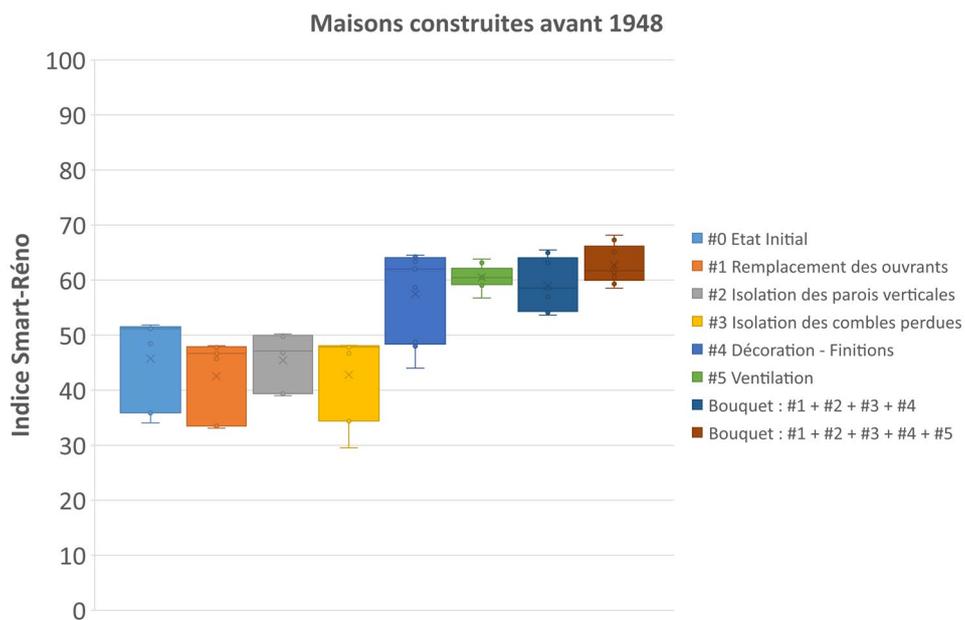


Figure 9 : Indicateur Smart-Réno pour les maisons individuelles construites avant 1948.

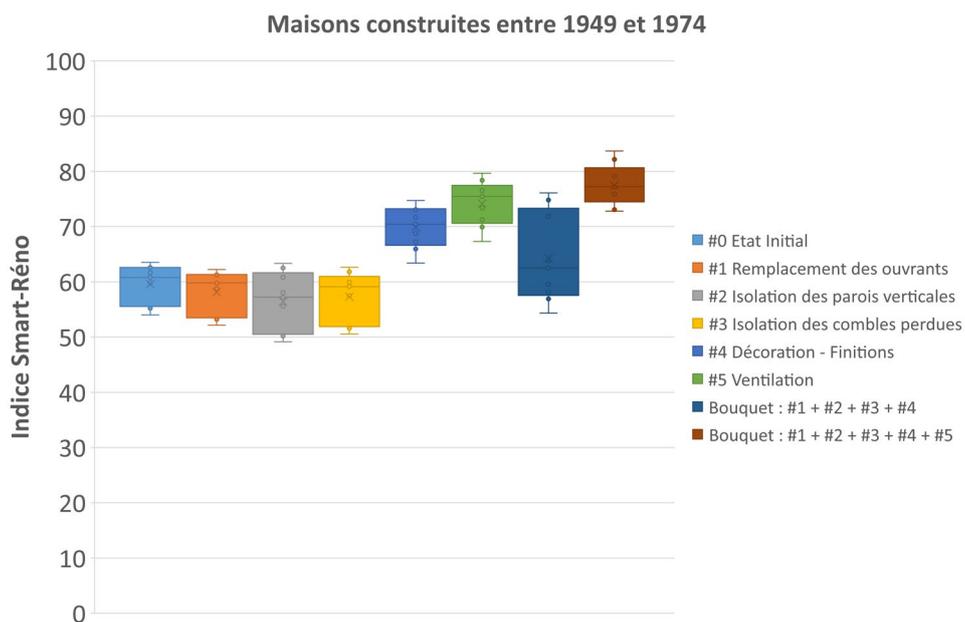


Figure 10 : Indicateur Smart-Réno pour les maisons individuelles construites entre 1949 et 1974.

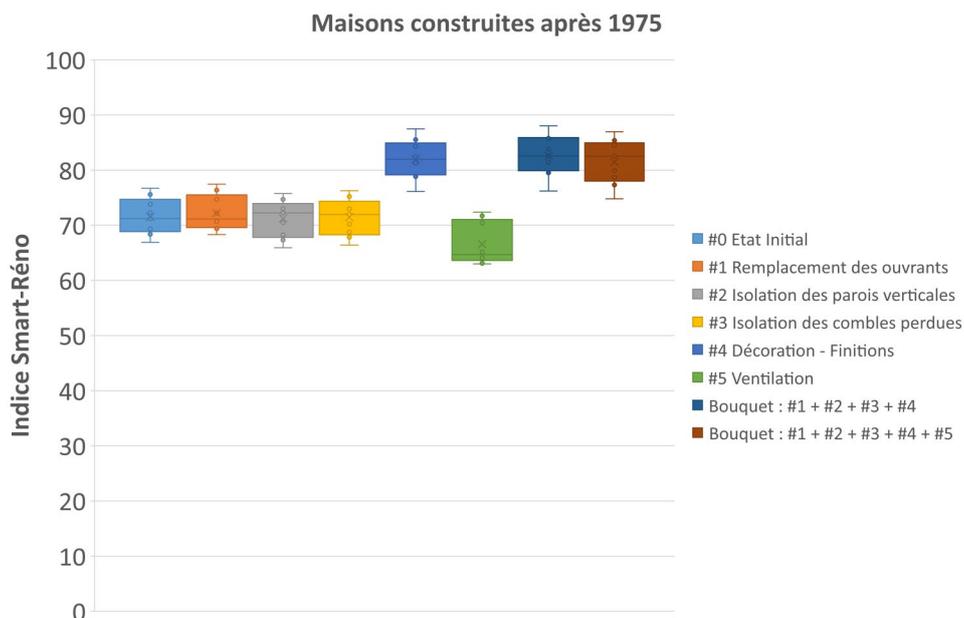


Figure 11 : Indicateur Smart-Réno pour les maisons individuelles construites après 1975.

### 3.2 Influence de la date de construction de la maison individuelle

La Figure 12 présente l'influence de la date de construction de la maison individuelle (son état initial) sur les effets positifs (bonus) ou négatifs (malus) des actions de rénovation sur l'indice Smart-Réno. Le remplacement des ouvrants est ainsi négatif pour les maisons les plus anciennes et légèrement positif pour les plus récentes qui sont les seuls à posséder un système de ventilation mécanique pour compenser la diminution des infiltrations parasites et donc de prévenir une dégradation de la QAI. L'effet d'isoler les combles s'expliquent de manière similaire. L'isolation des parois verticales pour les maisons les plus anciennes tend paradoxalement à augmenter les infiltrations par une augmentation de la température intérieure en hiver et donc du tirage thermique induit par la hauteur de la maison (à étage). La réduction des émissions intérieures en polluants (action #4) agit de manière similaire selon les différentes périodes de construction (bonus de 10 points). Comme présenté dans le chapitre précédent, le passage à une ventilation mécanique hygroréglable est positif pour les maisons d'avant 1974 (jusqu'à +20 points) alors qu'un malus de -5 points est calculé pour les maisons les plus récentes. Les bouquets de rénovation permettent d'assurer un résultat positif pour toutes les périodes de construction considérées.

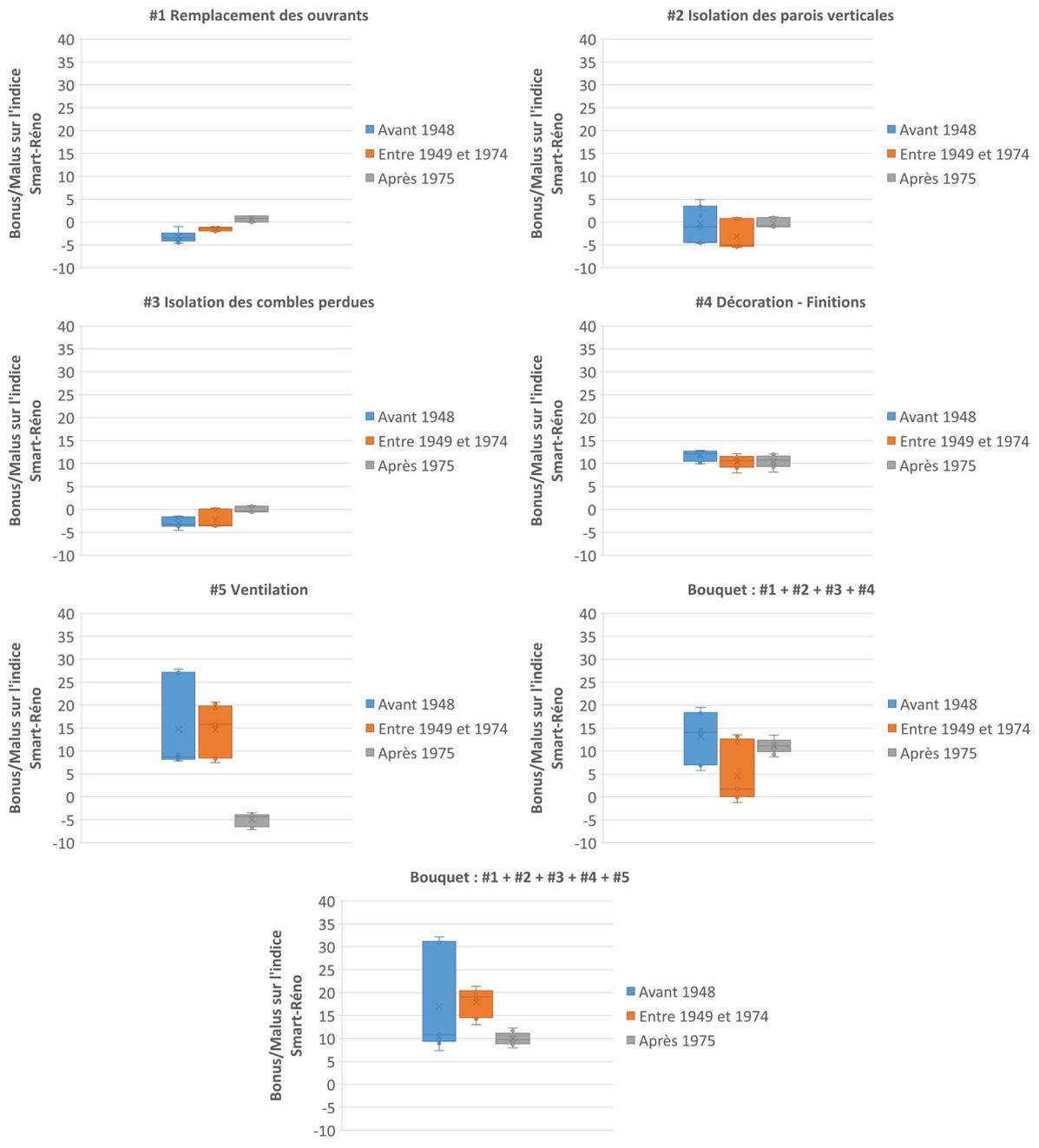


Figure 12 : Influence de la date de construction de la maison individuelle sur le niveau de confort thermique et de QAI.

### 3.3 Influence de zone climatique

De manière similaire au paragraphe précédent, la Figure 13 présente les effets des différentes actions de rénovation en fonction des zones climatiques. Le remplacement des ouvrants reste plutôt neutre avec une variabilité plus importante (en positif et négatif) pour les zones H2 et H3. L'isolation des parois verticales et des combles n'est positive que pour la zone H1 et négative pour les deux autres mais reste néanmoins faible. L'effet de diminuer les émissions de polluants par les parois intérieures (action #4) reste le même pour les 3 zones climatiques. Le changement de ventilation montre la plus grande variabilité des effets d'environ 20-25 points mais est finalement indépendante de la zone climatique, car la variation est régie par le gain en QAI. Les effets des bouquets dépendent clairement de la zone climatique, avec des bonus plus élevés pour les régions les plus froides.

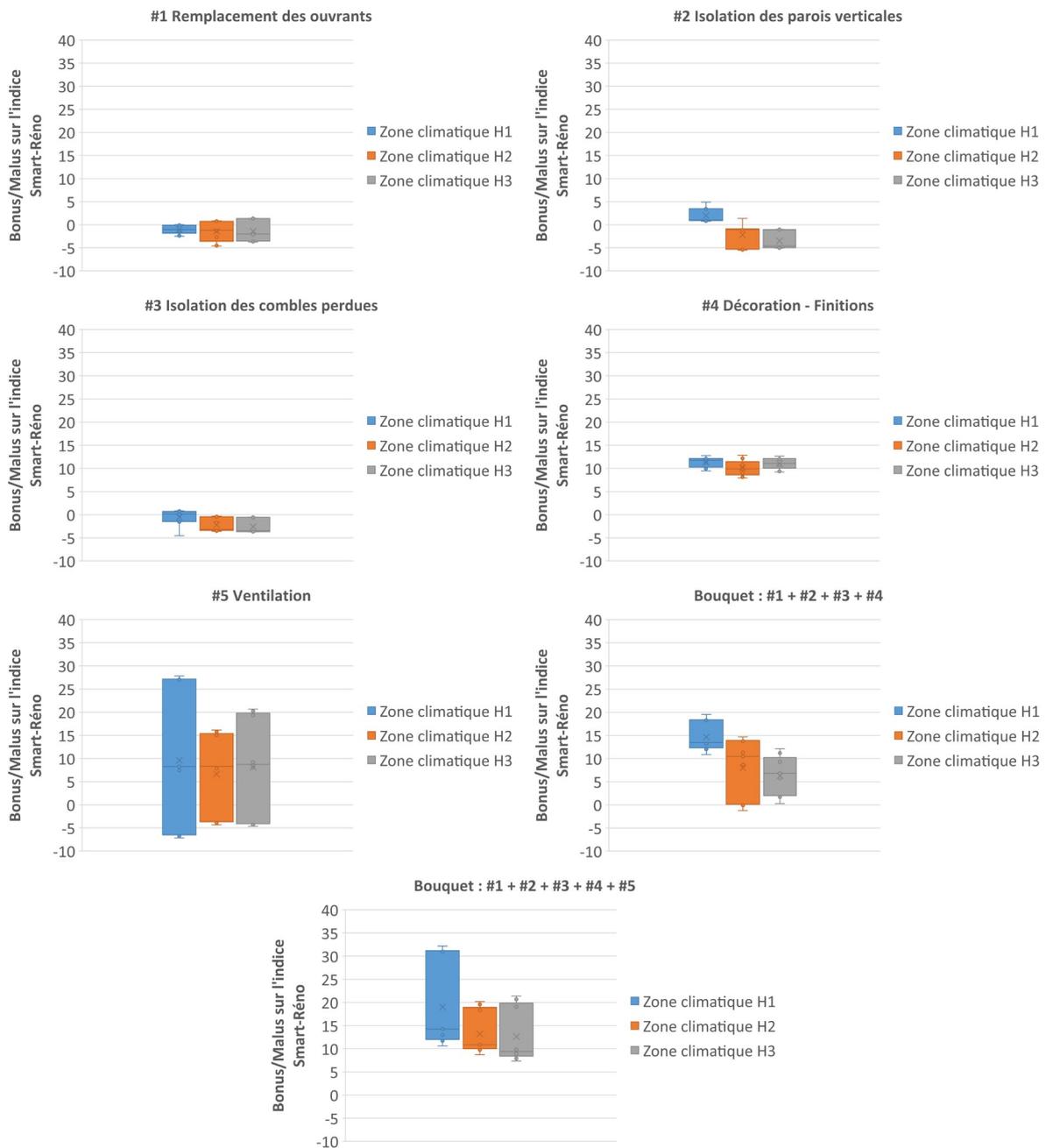


Figure 13 : Influence de la zone climatique sur le niveau de confort thermique et de QAI.

### 3.4 Influence de la pollution extérieure

Enfin, la Figure 14 présente les effets des actions de rénovation en fonction de la pollution extérieure. Les effets des 3 premières actions et la ventilation sont indépendantes de la pollution extérieure. Seule, l'action #4 de réduction des émissions de polluants intérieurs (et donc les deux bouquets qui incluent cette action) a ses effets qui dépendent de la pollution extérieure avec une augmentation de ses effets positifs en fonction de la diminution du niveau de pollution extérieure.

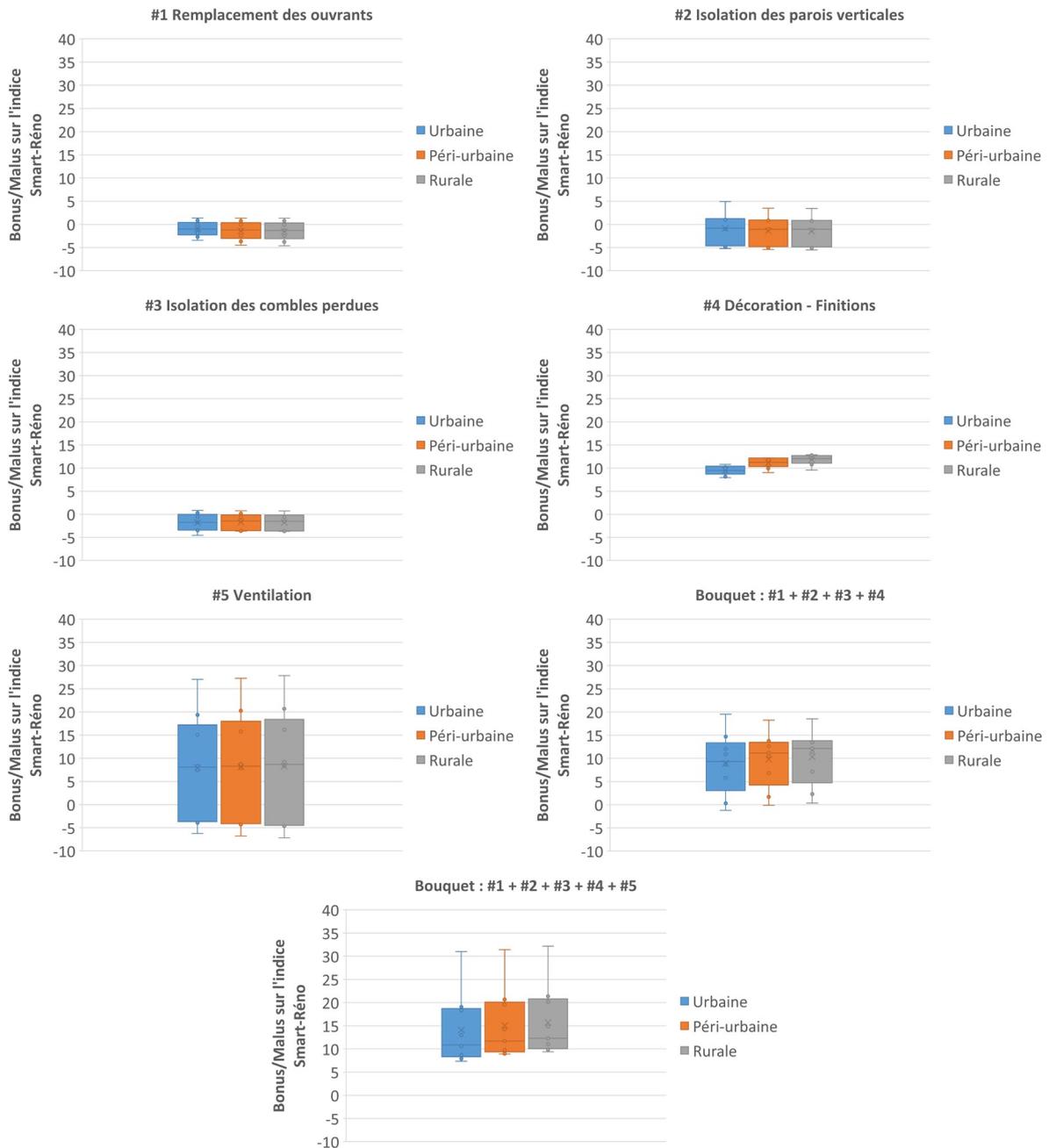


Figure 14 : Influence de la pollution extérieure sur le niveau de confort thermique et de QAI.

### 3.5 Classification des actions de rénovation par rapport à la qualité de l'environnement intérieur

Ce paragraphe présente les effets des actions de rénovation sur le confort thermique et sur la QAI de manière séparée et non plus à travers l'indice global Smart-Réno. La Figure 15 présente les effets sur le confort thermique pour les maisons les plus anciennes. Les effets des différentes actions sur le confort thermique sont nuls ou légèrement positifs à part la mise en place d'une ventilation mécanique hygroréglable (et le bouquet associé) qui montre un malus de près de 20 points sur le confort thermique. Ces effets négatifs sont en fait observés au printemps, été et automne (fiches en Annexe) ; l'augmentation du débit d'air induisant un inconfort froid. Pour les maisons construites entre 1945 et 1974 (Figure 16), l'isolation thermique (action #2 et #3) induit des surchauffes en été. Alors que le changement de système de ventilation permet plutôt d'éliminer les surchauffes existant dans l'état initial. La Figure 17 présente les résultats pour les maisons les plus récentes. Les effets sur le confort thermique sont ici bien inférieurs aux deux cas précédents.

En ce qui concerne les effets des actions sur la QAI (Figure 18, Figure 19 et Figure 20), on observe que la diminution de l'étanchéité de l'enveloppe suites aux actions #1, #2 et #3 induit un léger malus pour les maisons reposant sur la ventilation naturelle alors qu'elle n'a finalement aucun effet pour les maisons les plus récentes qui sont équipées d'un système de ventilation mécanique. Comme remarqué précédemment, le passage à un système de ventilation mécanique hygroréglable est pénalisant pour les maisons les plus récentes et plutôt positif pour les autres. L'action #4 de réduction des sources internes a un effet très positif pour l'ensemble des cas. Enfin, les bouquets de rénovations sont toujours positifs par rapport à la QAI.

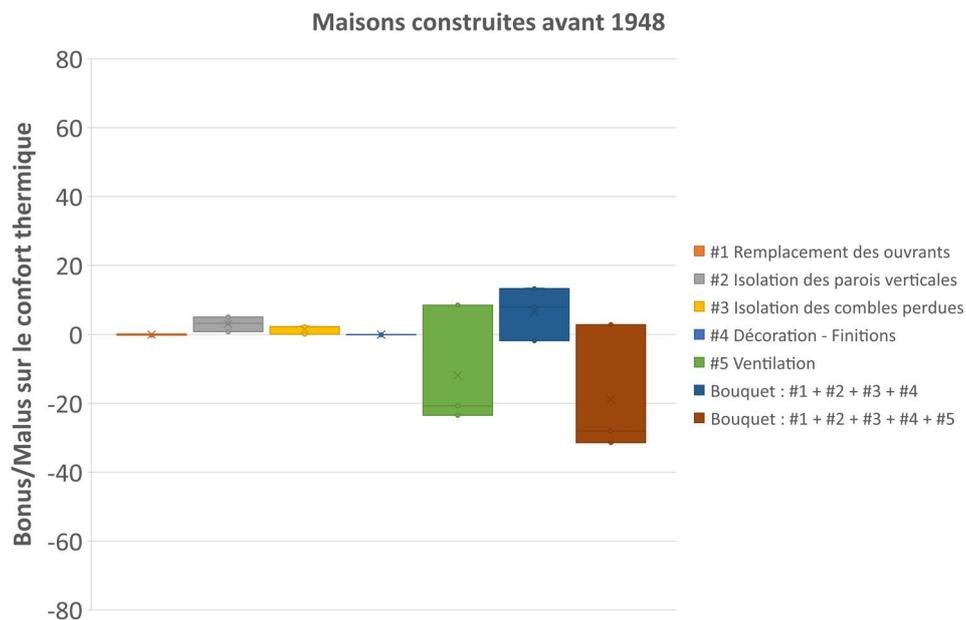


Figure 15 : Influence de la rénovation sur le confort thermique pour les maisons individuelles construites avant 1948.

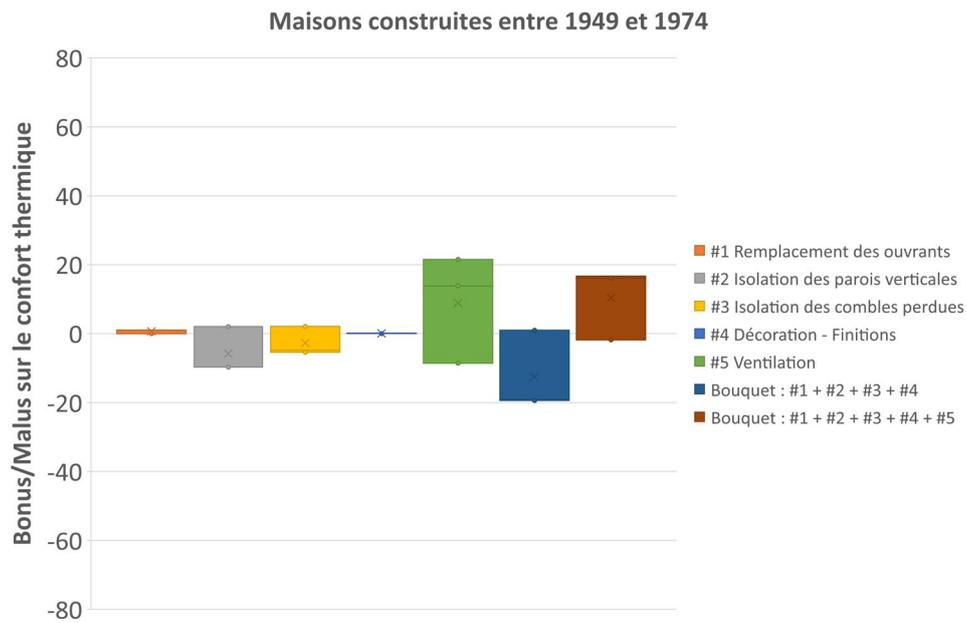


Figure 16 : Influence de la rénovation sur le confort thermique pour les maisons individuelles construites entre 1949 et 1974.

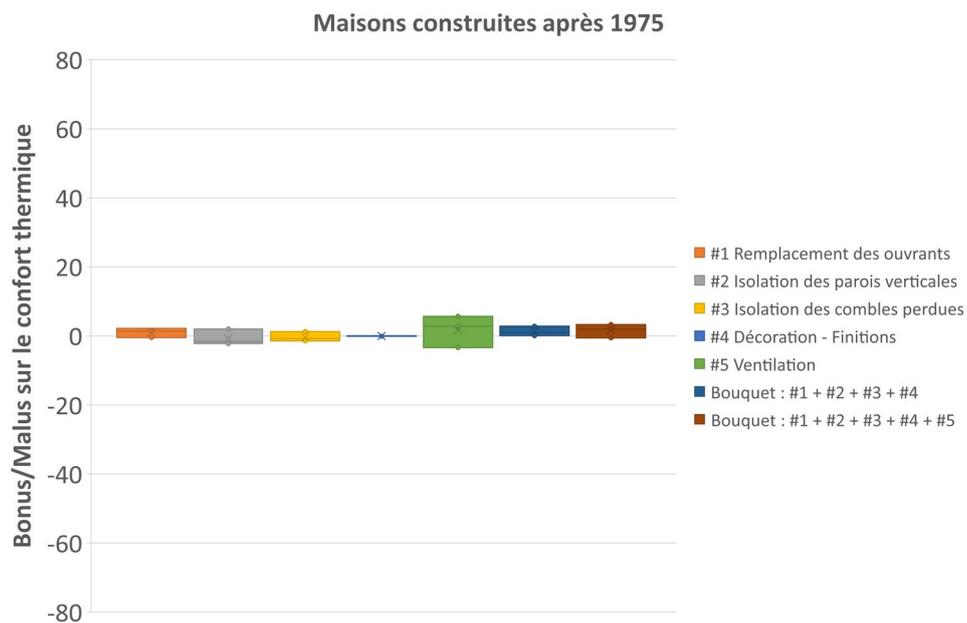


Figure 17 : Influence de la rénovation sur le confort thermique pour les maisons individuelles construites après 1975.

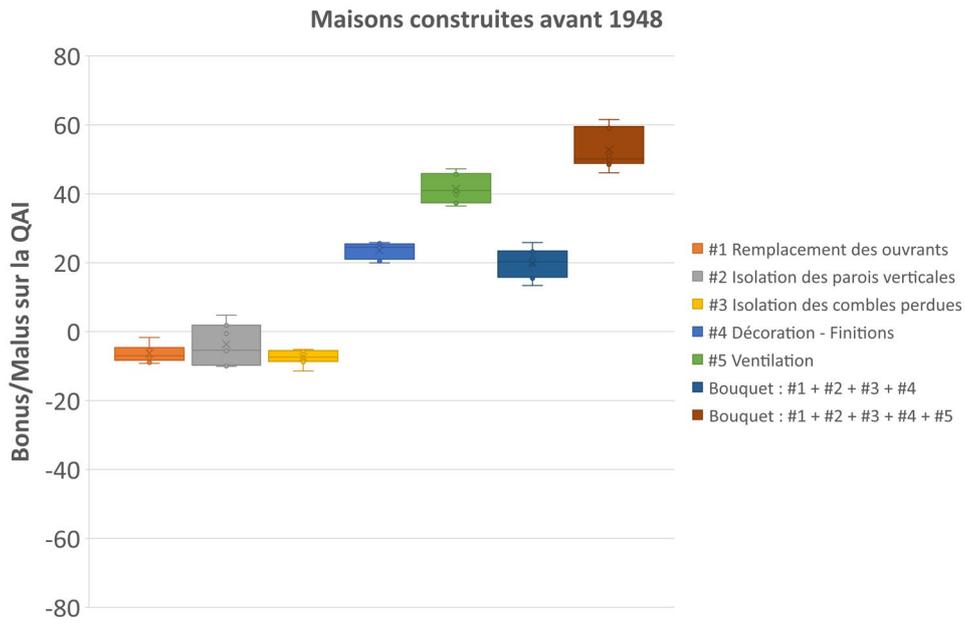


Figure 18 : Influence de la rénovation sur la QAI pour les maisons individuelles construites avant 1948.

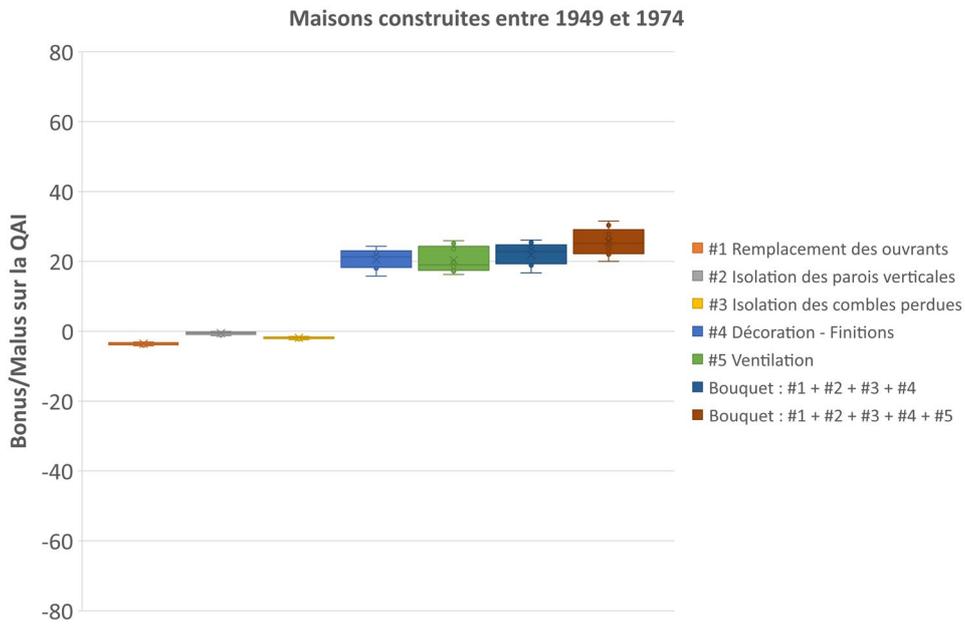


Figure 19 : Influence de la rénovation sur la QAI pour les maisons individuelles construites entre 1949 et 1974.

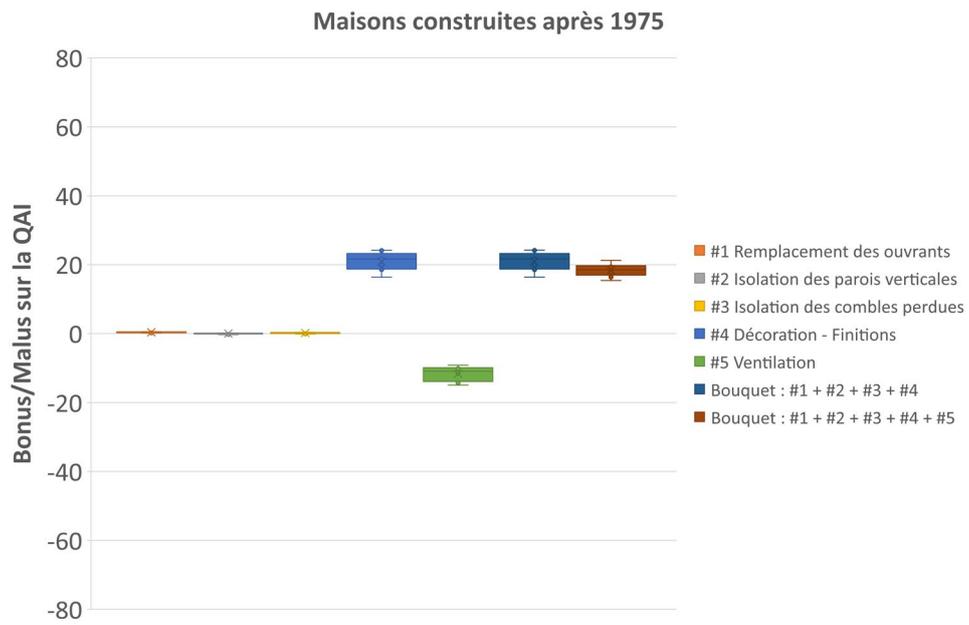


Figure 20 : Influence de la rénovation sur la QAI pour les maisons individuelles construites après 1975.

## 4 Conclusions

Ce livrable résume, au travers du calcul de l'indicateur global Smart-Réno et de ses sous-indicateurs, les résultats des simulations numériques effectuées afin d'analyser les effets des actions de rénovation sur le confort thermique et la QAI en fonction de l'âge de la construction et de la situation géographique en termes de zone climatique et de pollution de l'air extérieur.

D'une manière générale, comme illustré par la Figure 21, on peut conclure que les effets sur le confort thermique des trois premières actions (remplacement des ouvrants, isolation thermique des parois verticales et des combles) sont négligeables. Seules les actions de piégeage des sources intérieures de polluants (action #4) et le remplacement de la ventilation (action #5) ont un effet notable sur les conditions de confort thermique mais surtout sur la QAI. Les bouquets d'actions sont ici également toujours bénéfiques puisqu'elles intègrent l'action #4 pour le premier bouquet et #4 et #5 pour le second.

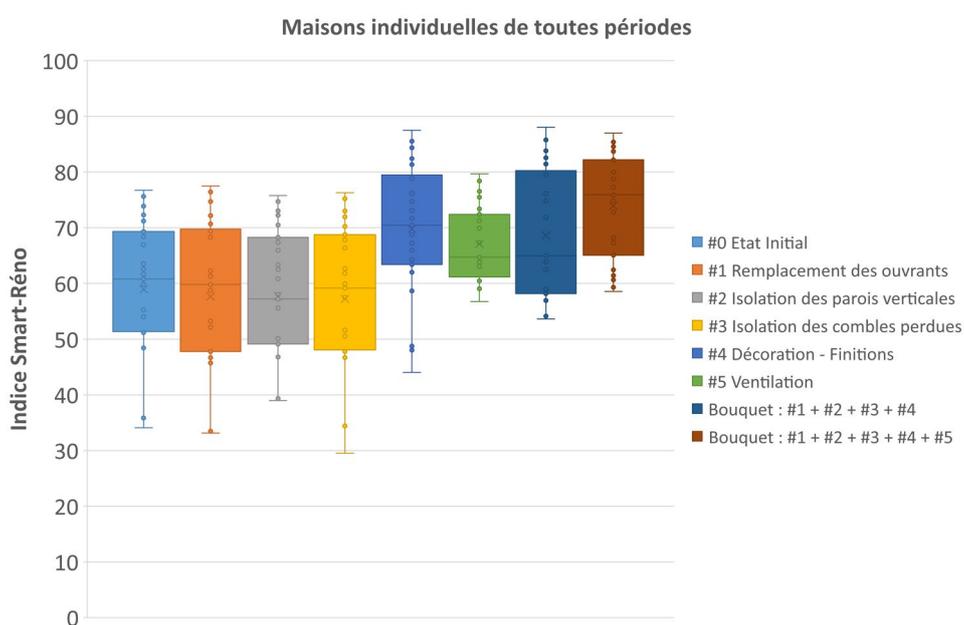


Figure 21 : Influence de la rénovation sur le confort thermique et la QAI pour l'ensemble des maisons individuelles considérées dans l'étude.

Notons cependant que ces résultats globaux, s'ils donnent bien une tendance générale sur l'ensemble des cas considérés, sont à considérer avec prudence et qu'il est préférable de se reporter à chacun des cas indépendamment les uns des autres pour en tirer les bonnes conclusions. On a vu par exemple que le passage à une ventilation mécanique hygroréglable était bénéfique pour les cas initialement sans systèmes de ventilation mécanique mais nuisible pour les cas possédant un système mécanique adéquat. Aussi, on se reportera aux fiches de résultats de l'Annexe afin d'évaluer les effets des actions de rénovation pour une configuration donnée.

Enfin, rappelons que les conclusions présentées ici sont obtenues à partir de l'analyse des résultats des simulations numériques dont les données d'entrées et hypothèses sont consignées dans le livrable relatif à la tâche 4 de ce programme.

## 5 Références

- Abadie M.O., Wargocki P. 2017. IEA EBC Annex 68, IAQ - indoor air quality, IAQ metrics. AIVC Contributed Report 17, 116p.
- ANSES 2018. Liste des Valeurs guides de qualité d'air intérieur de l'Anses ([www.anses.fr/fr/system/files/Tableau\\_VGAI\\_Juillet%202018.pdf](http://www.anses.fr/fr/system/files/Tableau_VGAI_Juillet%202018.pdf)).
- Cony Renaud-Salis L., Ramalho O., Abadie M. 2019. Towards the definition of an indoor air quality index for residential buildings based on long-and short-term exposure limit values. *International journal of ventilation* 19, 189–200.
- De Dear R.J., Brager G.S. , 1998. Developing an adaptive model to thermal comfort and preference. *ASHRAE transactions*, 1998, vol. 104, Part 1A, pp. 145-167.
- Fanger, P. O. 1970. *Thermal comfort*. Copenhagen, Denmark: Danish Technical Press 244 p.
- Gagge A.P, Stolwijk J.A, Nishi Y. 1971. An effective temperature scale based on a simple model of human physiological regulatory response. *ASHRAE Transactions*, 77, pp. 247-257.
- Gagge A.P. 1973. Rational indices of man's thermal environment and their use with a 2-node model of his temperature regulation. *Fed. Proc.*, 32, 1572-1982.
- Gagge A.P. 1986. A standard predictive index of human response to the thermal environment. *ASHRAE transactions*, vol. 92, Part 2B, pp. 709-731.
- ISO 7730. 2005. Ergonomie des ambiances thermiques — Détermination analytique et interprétation du confort thermique par le calcul des indices PMV et PPD et par des critères de confort thermique local.
- Logue JM, Price PN, Sherman MH, Singer BC. 2011. A Method to Estimate the Chronic Health Impact of Air Pollutants in U.S. Residences. *Environmental Health Perspectives*, 120 (2), 216–222.
- RE2020. 2021. Projets de décret et arrêtés relatifs aux exigences de performance énergétique et environnementale, et à la méthode de calcul associée, pour la réglementation environnementale 2020 (RE2020). Version du 23/03/2021. ([http://www.consultations-publiques.developpement-durable.gouv.fr/spip.php?page=article&id\\_article=2330](http://www.consultations-publiques.developpement-durable.gouv.fr/spip.php?page=article&id_article=2330)).

## Annexe A : Résultats

Cette section présente l'ensemble des résultats des simulations effectuées au cours de cette étude.

### Cas 1-1-1 : Avant 1948 / Zone climatique H1 / Pollution Urbaine

Avant 1948	#0 Etat Initial	Indicateur	Confort	QAI
Zone climatique H1	<b>34</b>	53 40 45 100 26 15 23 15 5 19		
Urbaine	<b>#1 Remplacement des ouvrants</b>	<b>33</b>	53 41 44 100 26 14 38 7 1 8	<b>-1</b> 0 0 -1 0 -1 -2 15 -8 -3 -10
	<b>#2 Isolation des parois verticales</b>	<b>39</b>	58 51 50 99 31 20 63 8 2 9	<b>5</b> 5 10 6 -1 5 5 40 8 -3 -10
	<b>#3 Isolation des combles perdus</b>	<b>30</b>	55 42 49 99 30 4 0 6 2 8	<b>-5</b> 2 1 4 -1 4 -11 -23 -9 -3 -11
	<b>#4 Décoration - Finitions</b>	<b>44</b>	53 40 45 100 26 35 31 41 27 42	<b>10</b> 0 0 0 0 0 20 9 26 22 23
	<b>#5 Ventilation</b>	<b>52</b>	43 8 54 42 66 61 60 64 61 60	<b>18</b> -10 -32 9 -58 40 46 37 48 57 41
	<b>Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4</b>	<b>54</b>	66 56 66 95 48 41 68 34 27 36	<b>20</b> 13 15 21 -5 21 26 46 18 22 18
	<b>Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4 + #5</b>	<b>59</b>	43 36 38 42 57 74 80 76 77 66	<b>25</b> -10 -5 -7 -58 31 59 57 61 72 47

Figure 22 : Effet des actions de rénovation sur le confort hygrothermique et la QAI pour une maison individuelle construite avant 1948, localisée en zone climatique H1 et située en zone urbaine.

### Cas 1-1-2 : Avant 1948 / Zone climatique H1 / Pollution Péri-urbaine

Avant 1948	#0 Etat Initial	Indicateur	Confort	QAI
Zone climatique H1	<b>36</b>	53 40 45 100 26 19 32 15 5 24		
Péri-urbaine	<b>#1 Remplacement des ouvrants</b>	<b>33</b>	53 41 44 100 26 14 38 7 1 11	<b>-2</b> 0 0 -1 0 -1 -5 6 -8 -3 -13
	<b>#2 Isolation des parois verticales</b>	<b>39</b>	58 51 50 99 31 21 63 7 2 12	<b>3</b> 5 10 6 -1 5 2 31 -7 -3 -12
	<b>#3 Isolation des combles perdus</b>	<b>34</b>	55 42 49 99 30 14 34 8 2 12	<b>-1</b> 2 1 4 -1 4 -5 1 -7 -3 -12
	<b>#4 Décoration - Finitions</b>	<b>48</b>	53 40 45 100 26 43 50 42 27 54	<b>12</b> 0 0 0 0 0 24 18 28 22 30
	<b>#5 Ventilation</b>	<b>54</b>	43 8 54 42 66 65 68 61 62 70	<b>18</b> -10 -32 9 -58 40 46 36 46 57 46
	<b>Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4</b>	<b>54</b>	66 56 66 95 48 42 70 31 24 42	<b>18</b> 13 15 22 -5 22 23 38 17 19 18
	<b>Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4 + #5</b>	<b>61</b>	43 36 38 42 57 79 84 75 77 79	<b>25</b> -10 -5 -7 -58 31 60 52 60 72 55

Figure 23 : Effet des actions de rénovation sur le confort hygrothermique et la QAI pour une maison individuelle construite avant 1948, localisée en zone climatique H1 et située en zone péri-urbaine.

### Cas 1-1-3 : Avant 1948 / Zone climatique H1 / Pollution Rurale

Avant 1948	#0 Etat Initial	<b>36</b>	53 19	40 32	45 16	100 5	26 24	Indicateur Année Hiver Printemps Eté Automne	Confort QAI
Zone climatique H1	#1 Remplacement des ouvrants	<b>34</b>	53 14	41 38	44 7	100 1	26 11		-2 0 0 0 0 -1 -5 6 8 -3 -13
Rurale	#2 Isolation des parois verticales	<b>39</b>	58 21	51 63	50 8	99 2	31 12		3 5 10 6 -1 5 2 31 -8 -3 -12
	#3 Isolation des combles perdus	<b>34</b>	55 14	42 34	49 8	99 2	30 12		-2 2 1 1 -1 4 -5 1 8 -3 -12
	#4 Décoration - Finitions	<b>49</b>	53 45	40 53	45 45	100 27	26 54		13 0 0 0 0 0 26 21 29 22 30
	#5 Ventilation	<b>55</b>	43 66	8 69	54 64	42 62	66 70		19 -10 -32 9 -58 40 47 37 49 57 46
	Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4	<b>54</b>	66 43	56 71	66 33	95 25	48 43		18 13 15 22 -5 22 24 39 17 20 19
	Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4 + #5	<b>62</b>	43 81	36 86	38 79	42 78	57 80		26 -10 -5 -7 -58 31 62 54 63 73 56

Figure 24 : Effet des actions de rénovation sur le confort hygrothermique et la QAI pour une maison individuelle construite avant 1948, localisée en zone climatique H1 et située en zone rurale.

### Cas 1-2-1 : Avant 1948 / Zone climatique H2 / Pollution Urbaine

Avant 1948	#0 Etat Initial	<b>48</b>	72 25	39 28	78 26	98 27	72 19	Indicateur Année Hiver Printemps Eté Automne	Confort QAI
Zone climatique H2	#1 Remplacement des ouvrants	<b>46</b>	72 20	39 40	77 16	99 15	72 9		-3 0 0 0 0 0 -5 12 -11 -13 -11
Urbaine	#2 Isolation des parois verticales	<b>50</b>	75 25	48 57	79 16	96 15	77 9		1 3 9 1 -2 4 -1 29 -10 -12 -10
	#3 Isolation des combles perdus	<b>47</b>	74 19	40 36	82 17	97 16	77 10		-2 2 2 5 -2 5 -6 8 9 -12 -10
	#4 Décoration - Finitions	<b>59</b>	72 46	39 33	78 54	98 54	72 42		10 0 0 0 0 0 20 5 28 27 22
	#5 Ventilation	<b>48</b>	34 63	10 52	30 68	42 70	53 60		0 -38 -28 -47 -56 -20 37 24 42 43 41
	Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4	<b>63</b>	80 47	52 65	90 42	89 46	88 33		15 8 14 12 -10 16 21 37 16 18 14
	Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4 + #5	<b>54</b>	32 75	38 77	17 77	42 79	32 66		5 -39 0 -60 -56 -40 50 50 51 52 47

Figure 25 : Effet des actions de rénovation sur le confort hygrothermique et la QAI pour une maison individuelle construite avant 1948, localisée en zone climatique H2 et située en zone urbaine.

## Cas 1-2-2 : Avant 1948 / Zone climatique H2 / Pollution Péri-urbaine

Avant 1948	#0 Etat Initial	<b>51</b>	72 31	39 45	78 26	98 28	72 24	Indicateur	Confort QAI				
Zone climatique H2	#1 Remplacement des ouvrants	<b>47</b>	72 22	39 45	77 15	99 12	72 12	-4	0 -9	0 1	0 -11	0 -13	0 -13
Péri-urbaine	#2 Isolation des parois verticales	<b>50</b>	75 25	48 57	79 16	96 12	77 12	-1	3 -5	9 13	1 -10	-2 -12	4 -12
	#3 Isolation des combles perdus	<b>48</b>	74 22	40 43	82 17	97 13	77 13	-3	2 -9	2 -1	5 -9	-2 -12	5 -12
	#4 Décoration - Finitions	<b>63</b>	72 55	39 56	78 55	98 54	72 54	12	0 24	0 12	0 29	0 27	0 30
	#5 Ventilation	<b>51</b>	34 67	30 61	30 65	42 71	53 71	-1	-38 36	-28 17	-47 40	-56 43	-20 46
	Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4	<b>65</b>	80 50	52 67	90 44	89 47	88 44	14	8 20	14 22	12 18	-10 19	16 19
	Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4 + #5	<b>56</b>	32 79	38 81	17 76	42 80	32 80	5	-39 48	0 36	-60 50	-56 53	-40 55

Figure 26 : Effet des actions de rénovation sur le confort hygrothermique et la QAI pour une maison individuelle construite avant 1948, localisée en zone climatique H2 et située en zone péri-urbaine.

## Cas 1-2-3 : Avant 1948 / Zone climatique H2 / Pollution Rurale

Avant 1948	#0 Etat Initial	<b>51</b>	72 31	39 45	78 27	98 28	72 24	Indicateur	Confort QAI				
Zone climatique H2	#1 Remplacement des ouvrants	<b>47</b>	72 22	39 45	77 16	99 12	72 12	-5	0 -9	0 1	0 -11	0 -13	0 -13
Rurale	#2 Isolation des parois verticales	<b>50</b>	75 26	48 58	79 16	96 12	77 12	-1	3 -6	9 13	1 -11	-2 -12	4 -12
	#3 Isolation des combles perdus	<b>48</b>	74 22	40 43	82 17	97 13	77 13	-3	2 -9	2 -1	5 -10	-2 -12	5 -12
	#4 Décoration - Finitions	<b>64</b>	72 57	39 59	78 59	98 55	72 55	13	0 26	0 14	0 31	0 28	0 30
	#5 Ventilation	<b>51</b>	34 68	30 62	30 69	42 71	53 71	0	-38 37	-28 17	-47 42	-56 44	-20 47
	Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4	<b>65</b>	80 51	52 68	90 46	89 47	88 44	14	8 20	14 24	12 19	-10 19	16 19
	Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4 + #5	<b>57</b>	32 81	38 83	17 80	42 81	32 81	5	-39 50	0 38	-60 53	-56 53	-40 56

Figure 27 : Effet des actions de rénovation sur le confort hygrothermique et la QAI pour une maison individuelle construite avant 1948, localisée en zone climatique H2 et située en zone rurale.

### Cas 1-3-1 : Avant 1948 / Zone climatique H3 / Pollution Urbaine

<div style="background-color: #003366; color: white; padding: 5px; text-align: center;">Avant 1948</div> <div style="background-color: #003366; color: white; padding: 5px; text-align: center;">Zone climatique H3</div> <div style="background-color: #006699; color: white; padding: 5px; text-align: center;">Urbaine</div> 	#0 Etat Initial	<b>51</b>	74 29	36 63	83 20	87 20	88 13													
	#1 Remplacement des ouvrants	<b>48</b>	74 22	36 62	83 10	88 10	88 5	<table border="1"> <tr><td>-3</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>-7</td><td>-1</td><td>-10</td><td>-9</td><td>-7</td><td>-7</td></tr> </table>	-3	0	0	0	1	0	-7	-1	-10	-9	-7	-7
	-3	0	0	0	1	0														
	-7	-1	-10	-9	-7	-7														
	#2 Isolation des parois verticales	<b>47</b>	74 19	44 51	83 10	81 11	89 6	<table border="1"> <tr><td>-4</td><td>1</td><td>8</td><td>1</td><td>-6</td><td>1</td></tr> <tr><td>-10</td><td>-12</td><td>-10</td><td>-9</td><td>-7</td><td>-7</td></tr> </table>	-4	1	8	1	-6	1	-10	-12	-10	-9	-7	-7
	-4	1	8	1	-6	1														
	-10	-12	-10	-9	-7	-7														
	#3 Isolation des combles perdues	<b>48</b>	74 22	38 61	87 10	79 11	90 6	<table border="1"> <tr><td>-3</td><td>0</td><td>2</td><td>4</td><td>-8</td><td>2</td></tr> <tr><td>-7</td><td>-2</td><td>-9</td><td>-9</td><td>-9</td><td>-7</td></tr> </table>	-3	0	2	4	-8	2	-7	-2	-9	-9	-9	-7
-3	0	2	4	-8	2															
-7	-2	-9	-9	-9	-7															
#4 Décoration - Finitions	<b>62</b>	74 50	36 68	83 47	87 50	88 37	<table border="1"> <tr><td>11</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>22</td><td>5</td><td>27</td><td>30</td><td>25</td><td>25</td></tr> </table>	11	0	0	0	0	0	22	5	27	30	25	25	
11	0	0	0	0	0															
22	5	27	30	25	25															
#5 Ventilation	<b>51</b>	34 69	34 79	30 67	42 68	48 59	<table border="1"> <tr><td>0</td><td>-40</td><td>-22</td><td>-53</td><td>-45</td><td>-40</td></tr> <tr><td>40</td><td>16</td><td>47</td><td>49</td><td>47</td><td>47</td></tr> </table>	0	-40	-22	-53	-45	-40	40	16	47	49	47	47	
0	-40	-22	-53	-45	-40															
40	16	47	49	47	47															
Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4	<b>57</b>	72 42	48 62	92 37	59 41	89 30	<table border="1"> <tr><td>6</td><td>-2</td><td>11</td><td>9</td><td>-29</td><td>1</td></tr> <tr><td>13</td><td>-2</td><td>17</td><td>21</td><td>17</td><td>17</td></tr> </table>	6	-2	11	9	-29	1	13	-2	17	21	17	17	
6	-2	11	9	-29	1															
13	-2	17	21	17	17															
Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4 + #5	<b>53</b>	31 75	40 77	17 78	42 79	24 66	<table border="1"> <tr><td>2</td><td>-42</td><td>4</td><td>65</td><td>-45</td><td>-64</td></tr> <tr><td>46</td><td>14</td><td>58</td><td>59</td><td>54</td><td>54</td></tr> </table>	2	-42	4	65	-45	-64	46	14	58	59	54	54	
2	-42	4	65	-45	-64															
46	14	58	59	54	54															

Figure 28 : Effet des actions de rénovation sur le confort hygrothermique et la QAI pour une maison individuelle construite avant 1948, localisée en zone climatique H3 et située en zone urbaine.

### Cas 1-3-2 : Avant 1948 / Zone climatique H3 / Pollution Péri-urbaine

<div style="background-color: #003366; color: white; padding: 5px; text-align: center;">Avant 1948</div> <div style="background-color: #003366; color: white; padding: 5px; text-align: center;">Zone climatique H3</div> <div style="background-color: #006699; color: white; padding: 5px; text-align: center;">Péri-urbaine</div> 	#0 Etat Initial	<b>52</b>	74 30	36 63	83 20	87 20	88 17													
	#1 Remplacement des ouvrants	<b>48</b>	74 22	36 62	83 10	88 11	88 7	<table border="1"> <tr><td>-4</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>-7</td><td>-1</td><td>-10</td><td>-10</td><td>-9</td><td>-9</td></tr> </table>	-4	0	0	0	1	0	-7	-1	-10	-10	-9	-9
	-4	0	0	0	1	0														
	-7	-1	-10	-10	-9	-9														
	#2 Isolation des parois verticales	<b>47</b>	74 20	44 51	83 10	81 11	89 8	<table border="1"> <tr><td>-5</td><td>1</td><td>8</td><td>1</td><td>-6</td><td>1</td></tr> <tr><td>-10</td><td>-12</td><td>-10</td><td>-9</td><td>-9</td><td>-9</td></tr> </table>	-5	1	8	1	-6	1	-10	-12	-10	-9	-9	-9
	-5	1	8	1	-6	1														
	-10	-12	-10	-9	-9	-9														
	#3 Isolation des combles perdues	<b>48</b>	74 23	38 61	87 10	79 11	90 8	<table border="1"> <tr><td>-4</td><td>0</td><td>2</td><td>4</td><td>-8</td><td>2</td></tr> <tr><td>-7</td><td>-2</td><td>-9</td><td>-9</td><td>-9</td><td>-7</td></tr> </table>	-4	0	2	4	-8	2	-7	-2	-9	-9	-9	-7
-4	0	2	4	-8	2															
-7	-2	-9	-9	-9	-7															
#4 Décoration - Finitions	<b>64</b>	74 54	36 71	83 48	87 50	88 48	<table border="1"> <tr><td>12</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>24</td><td>8</td><td>28</td><td>30</td><td>32</td><td>32</td></tr> </table>	12	0	0	0	0	0	24	8	28	30	32	32	
12	0	0	0	0	0															
24	8	28	30	32	32															
#5 Ventilation	<b>52</b>	34 71	34 80	30 66	42 69	48 69	<table border="1"> <tr><td>1</td><td>-40</td><td>-22</td><td>-53</td><td>-45</td><td>-40</td></tr> <tr><td>41</td><td>17</td><td>46</td><td>49</td><td>52</td><td>52</td></tr> </table>	1	-40	-22	-53	-45	-40	41	17	46	49	52	52	
1	-40	-22	-53	-45	-40															
41	17	46	49	52	52															
Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4	<b>59</b>	72 45	48 63	92 38	59 41	89 39	<table border="1"> <tr><td>7</td><td>-2</td><td>11</td><td>9</td><td>-29</td><td>1</td></tr> <tr><td>15</td><td>0</td><td>18</td><td>21</td><td>23</td><td>23</td></tr> </table>	7	-2	11	9	-29	1	15	0	18	21	23	23	
7	-2	11	9	-29	1															
15	0	18	21	23	23															
Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4 + #5	<b>55</b>	31 79	40 80	17 77	42 80	24 80	<table border="1"> <tr><td>3</td><td>-42</td><td>4</td><td>65</td><td>-45</td><td>-64</td></tr> <tr><td>49</td><td>17</td><td>57</td><td>60</td><td>63</td><td>63</td></tr> </table>	3	-42	4	65	-45	-64	49	17	57	60	63	63	
3	-42	4	65	-45	-64															
49	17	57	60	63	63															

Figure 29 : Effet des actions de rénovation sur le confort hygrothermique et la QAI pour une maison individuelle construite avant 1948, localisée en zone climatique H3 et située en zone péri-urbaine.

### Cas 1-3-3 : Avant 1948 / Zone climatique H3 / Pollution Rurale

Avant 1948	#0 Etat Initial	<b>52</b> <table border="1"><tr><td>74</td><td>36</td><td>83</td><td>87</td><td>88</td></tr><tr><td>30</td><td>64</td><td>20</td><td>20</td><td>17</td></tr></table>	74	36	83	87	88	30	64	20	20	17											
74	36	83	87	88																			
30	64	20	20	17																			
Zone climatique H3	#1 Remplacement des ouvrants	<b>48</b> <table border="1"><tr><td>74</td><td>36</td><td>83</td><td>88</td><td>88</td></tr><tr><td>23</td><td>62</td><td>10</td><td>11</td><td>7</td></tr></table>	74	36	83	88	88	23	62	10	11	7	<b>-4</b> <table border="1"><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>-8</td><td>-1</td><td>-10</td><td>-10</td><td>-9</td></tr></table>	0	0	0	1	0	-8	-1	-10	-10	-9
74	36	83	88	88																			
23	62	10	11	7																			
0	0	0	1	0																			
-8	-1	-10	-10	-9																			
Rurale	#2 Isolation des parois verticales	<b>47</b> <table border="1"><tr><td>74</td><td>44</td><td>83</td><td>81</td><td>89</td></tr><tr><td>20</td><td>52</td><td>10</td><td>11</td><td>8</td></tr></table>	74	44	83	81	89	20	52	10	11	8	<b>-5</b> <table border="1"><tr><td>1</td><td>8</td><td>1</td><td>-6</td><td>1</td></tr><tr><td>-10</td><td>-12</td><td>-10</td><td>-9</td><td>-9</td></tr></table>	1	8	1	-6	1	-10	-12	-10	-9	-9
74	44	83	81	89																			
20	52	10	11	8																			
1	8	1	-6	1																			
-10	-12	-10	-9	-9																			
	#3 Isolation des combles perdues	<b>48</b> <table border="1"><tr><td>74</td><td>38</td><td>87</td><td>79</td><td>90</td></tr><tr><td>23</td><td>61</td><td>11</td><td>11</td><td>8</td></tr></table>	74	38	87	79	90	23	61	11	11	8	<b>-4</b> <table border="1"><tr><td>0</td><td>2</td><td>4</td><td>-8</td><td>2</td></tr><tr><td>-7</td><td>-3</td><td>-10</td><td>-9</td><td>-9</td></tr></table>	0	2	4	-8	2	-7	-3	-10	-9	-9
74	38	87	79	90																			
23	61	11	11	8																			
0	2	4	-8	2																			
-7	-3	-10	-9	-9																			
	#4 Décoration - Finitions	<b>64</b> <table border="1"><tr><td>74</td><td>36</td><td>83</td><td>87</td><td>88</td></tr><tr><td>55</td><td>73</td><td>50</td><td>51</td><td>49</td></tr></table>	74	36	83	87	88	55	73	50	51	49	<b>13</b> <table border="1"><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>25</td><td>9</td><td>29</td><td>30</td><td>32</td></tr></table>	0	0	0	0	0	25	9	29	30	32
74	36	83	87	88																			
55	73	50	51	49																			
0	0	0	0	0																			
25	9	29	30	32																			
	#5 Ventilation	<b>53</b> <table border="1"><tr><td>34</td><td>14</td><td>30</td><td>42</td><td>48</td></tr><tr><td>72</td><td>82</td><td>68</td><td>69</td><td>69</td></tr></table>	34	14	30	42	48	72	82	68	69	69	<b>1</b> <table border="1"><tr><td>-40</td><td>-22</td><td>-53</td><td>-45</td><td>-40</td></tr><tr><td>42</td><td>18</td><td>48</td><td>49</td><td>52</td></tr></table>	-40	-22	-53	-45	-40	42	18	48	49	52
34	14	30	42	48																			
72	82	68	69	69																			
-40	-22	-53	-45	-40																			
42	18	48	49	52																			
	Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4	<b>59</b> <table border="1"><tr><td>72</td><td>48</td><td>92</td><td>59</td><td>89</td></tr><tr><td>46</td><td>65</td><td>39</td><td>42</td><td>40</td></tr></table>	72	48	92	59	89	46	65	39	42	40	<b>7</b> <table border="1"><tr><td>-2</td><td>11</td><td>9</td><td>-29</td><td>1</td></tr><tr><td>16</td><td>1</td><td>19</td><td>22</td><td>23</td></tr></table>	-2	11	9	-29	1	16	1	19	22	23
72	48	92	59	89																			
46	65	39	42	40																			
-2	11	9	-29	1																			
16	1	19	22	23																			
	Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4 + #5	<b>56</b> <table border="1"><tr><td>31</td><td>40</td><td>17</td><td>42</td><td>24</td></tr><tr><td>81</td><td>84</td><td>80</td><td>80</td><td>80</td></tr></table>	31	40	17	42	24	81	84	80	80	80	<b>4</b> <table border="1"><tr><td>-42</td><td>6</td><td>65</td><td>-45</td><td>-64</td></tr><tr><td>51</td><td>20</td><td>60</td><td>60</td><td>64</td></tr></table>	-42	6	65	-45	-64	51	20	60	60	64
31	40	17	42	24																			
81	84	80	80	80																			
-42	6	65	-45	-64																			
51	20	60	60	64																			

Figure 30 : Effet des actions de rénovation sur le confort hygrothermique et la QAI pour une maison individuelle construite avant 1948, localisée en zone climatique H3 et située en zone rurale.

### Cas 2-1-1 : Entre 1949 et 1974 / Zone climatique H1 / Pollution Urbaine

Entre 1949 et 1974	#0 Etat Initial	<b>60</b> <table border="1"><tr><td>73</td><td>65</td><td>81</td><td>75</td><td>70</td></tr><tr><td>47</td><td>61</td><td>44</td><td>38</td><td>44</td></tr></table>	73	65	81	75	70	47	61	44	38	44											
73	65	81	75	70																			
47	61	44	38	44																			
Zone climatique H1	#1 Remplacement des ouvrants	<b>59</b> <table border="1"><tr><td>74</td><td>65</td><td>83</td><td>74</td><td>72</td></tr><tr><td>44</td><td>60</td><td>41</td><td>33</td><td>42</td></tr></table>	74	65	83	74	72	44	60	41	33	42	<b>-1</b> <table border="1"><tr><td>1</td><td>0</td><td>2</td><td>-1</td><td>2</td></tr><tr><td>-3</td><td>-1</td><td>-4</td><td>-5</td><td>-2</td></tr></table>	1	0	2	-1	2	-3	-1	-4	-5	-2
74	65	83	74	72																			
44	60	41	33	42																			
1	0	2	-1	2																			
-3	-1	-4	-5	-2																			
Urbaine	#2 Isolation des parois verticales	<b>61</b> <table border="1"><tr><td>75</td><td>66</td><td>87</td><td>64</td><td>83</td></tr><tr><td>47</td><td>60</td><td>43</td><td>40</td><td>45</td></tr></table>	75	66	87	64	83	47	60	43	40	45	<b>1</b> <table border="1"><tr><td>2</td><td>1</td><td>6</td><td>-11</td><td>13</td></tr><tr><td>0</td><td>-1</td><td>-1</td><td>2</td><td>0</td></tr></table>	2	1	6	-11	13	0	-1	-1	2	0
75	66	87	64	83																			
47	60	43	40	45																			
2	1	6	-11	13																			
0	-1	-1	2	0																			
	#3 Isolation des combles perdues	<b>60</b> <table border="1"><tr><td>75</td><td>65</td><td>86</td><td>68</td><td>79</td></tr><tr><td>45</td><td>60</td><td>42</td><td>36</td><td>44</td></tr></table>	75	65	86	68	79	45	60	42	36	44	<b>0</b> <table border="1"><tr><td>2</td><td>0</td><td>6</td><td>-7</td><td>9</td></tr><tr><td>-1</td><td>-1</td><td>-2</td><td>-2</td><td>-3</td></tr></table>	2	0	6	-7	9	-1	-1	-2	-2	-3
75	65	86	68	79																			
45	60	42	36	44																			
2	0	6	-7	9																			
-1	-1	-2	-2	-3																			
	#4 Décoration - Finitions	<b>70</b> <table border="1"><tr><td>73</td><td>65</td><td>81</td><td>75</td><td>70</td></tr><tr><td>68</td><td>64</td><td>73</td><td>72</td><td>64</td></tr></table>	73	65	81	75	70	68	64	73	72	64	<b>11</b> <table border="1"><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>21</td><td>3</td><td>28</td><td>34</td><td>20</td></tr></table>	0	0	0	0	0	21	3	28	34	20
73	65	81	75	70																			
68	64	73	72	64																			
0	0	0	0	0																			
21	3	28	34	20																			
	#5 Ventilation	<b>67</b> <table border="1"><tr><td>64</td><td>54</td><td>62</td><td>99</td><td>42</td></tr><tr><td>70</td><td>64</td><td>77</td><td>73</td><td>68</td></tr></table>	64	54	62	99	42	70	64	77	73	68	<b>7</b> <table border="1"><tr><td>-9</td><td>-12</td><td>-19</td><td>24</td><td>-28</td></tr><tr><td>24</td><td>2</td><td>33</td><td>35</td><td>24</td></tr></table>	-9	-12	-19	24	-28	24	2	33	35	24
64	54	62	99	42																			
70	64	77	73	68																			
-9	-12	-19	24	-28																			
24	2	33	35	24																			
	Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4	<b>72</b> <table border="1"><tr><td>74</td><td>67</td><td>88</td><td>53</td><td>87</td></tr><tr><td>70</td><td>64</td><td>73</td><td>76</td><td>66</td></tr></table>	74	67	88	53	87	70	64	73	76	66	<b>12</b> <table border="1"><tr><td>1</td><td>1</td><td>7</td><td>-22</td><td>17</td></tr><tr><td>23</td><td>2</td><td>29</td><td>39</td><td>22</td></tr></table>	1	1	7	-22	17	23	2	29	39	22
74	67	88	53	87																			
70	64	73	76	66																			
1	1	7	-22	17																			
23	2	29	39	22																			
	Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4 + #5	<b>73</b> <table border="1"><tr><td>71</td><td>59</td><td>74</td><td>96</td><td>55</td></tr><tr><td>75</td><td>65</td><td>82</td><td>81</td><td>71</td></tr></table>	71	59	74	96	55	75	65	82	81	71	<b>13</b> <table border="1"><tr><td>-2</td><td>-6</td><td>-7</td><td>21</td><td>-15</td></tr><tr><td>28</td><td>3</td><td>38</td><td>44</td><td>26</td></tr></table>	-2	-6	-7	21	-15	28	3	38	44	26
71	59	74	96	55																			
75	65	82	81	71																			
-2	-6	-7	21	-15																			
28	3	38	44	26																			

Figure 31 : Effet des actions de rénovation sur le confort hygrothermique et la QAI pour une maison individuelle construite entre 1949 et 1974, localisée en zone climatique H1 et située en zone urbaine.

## Cas 2-1-2 : Entre 1949 et 1974 / Zone climatique H1 / Pollution Péri-urbaine

Entre 1949 et 1974	#0 Etat Initial	<b>62</b>	73 51	65 68	81 43	75 38	70 53	Indicateur Année Hiver Printemps Ete Automne	Confort QAI
Zone climatique H1	#1 Remplacement des ouvrants	<b>60</b>	74 47	65 66	83 40	74 33	72 50	<b>-1</b>	1 0 2 -1 2 -3 -2 -4 -5 -3
Péri-urbaine	#2 Isolation des parois verticales	<b>62</b>	75 50	66 66	87 42	64 40	83 53	<b>1</b>	2 1 6 -11 13 0 -2 -1 2 0
	#3 Isolation des combles perdues	<b>62</b>	75 49	65 66	86 41	68 36	79 52	<b>0</b>	2 0 6 -7 9 -2 -2 -2 -2 -1
	#4 Décoration - Finitions	<b>73</b>	73 74	65 74	81 73	75 72	70 77	<b>12</b>	0 0 0 0 0 24 6 29 35 24
	#5 Ventilation	<b>70</b>	64 76	54 73	62 75	99 73	42 81	<b>8</b>	-9 -12 -19 24 -28 25 5 31 35 28
	Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4	<b>75</b>	74 76	67 73	88 74	53 77	87 80	<b>13</b>	1 1 7 -22 17 25 5 30 39 26
	Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4 + #5	<b>76</b>	71 81	59 75	74 81	96 82	55 86	<b>14</b>	-2 -6 -7 21 -15 30 7 38 44 33

Figure 32 : Effet des actions de rénovation sur le confort hygrothermique et la QAI pour une maison individuelle construite entre 1949 et 1974, localisée en zone climatique H1 et située en zone péri-urbaine.

## Cas 2-1-3 : Entre 1949 et 1974 / Zone climatique H1 / Pollution Rurale

Entre 1949 et 1974	#0 Etat Initial	<b>63</b>	73 52	65 74	81 45	75 38	70 53	Indicateur Année Hiver Printemps Ete Automne	Confort QAI
Zone climatique H1	#1 Remplacement des ouvrants	<b>61</b>	74 49	65 71	83 41	74 33	72 51	<b>-1</b>	1 0 2 -1 2 -4 -3 -4 -5 -3
Rurale	#2 Isolation des parois verticales	<b>63</b>	75 52	66 71	87 44	64 40	83 53	<b>1</b>	2 1 6 -11 13 -1 -2 -1 2 0
	#3 Isolation des combles perdues	<b>63</b>	75 50	65 71	86 43	68 36	79 52	<b>0</b>	2 0 6 -7 9 -2 -3 -2 -2 -1
	#4 Décoration - Finitions	<b>75</b>	73 77	65 81	81 75	75 73	70 78	<b>12</b>	0 0 0 0 0 24 7 31 35 25
	#5 Ventilation	<b>71</b>	64 78	54 80	62 78	99 73	42 82	<b>9</b>	-9 -12 -19 24 -28 26 6 33 36 29
	Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4	<b>76</b>	74 79	67 80	88 76	53 78	87 80	<b>14</b>	1 1 7 -22 17 26 7 31 40 27
	Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4 + #5	<b>77</b>	71 84	59 82	74 85	96 82	55 87	<b>15</b>	-2 -6 -7 21 -15 32 8 40 44 33

Figure 33 : Effet des actions de rénovation sur le confort hygrothermique et la QAI pour une maison individuelle construite entre 1949 et 1974, localisée en zone climatique H1 et située en zone rurale.

## Cas 2-2-1 : Entre 1949 et 1974 / Zone climatique H2 / Pollution Urbaine

Entre 1949 et 1974	#0 Etat Initial	<b>61</b>	<b>66</b> 55	63 58	68 60	63 57	71 46	Indicateur Année Hiver Printemps Ete Automne	Confort QAI				
Zone climatique H2	#1 Remplacement des ouvrants	<b>60</b>	<b>67</b> 52	62 56	70 56	63 54	74 43	<b>-1</b>	<b>1</b> <b>-3</b>	<b>-1</b> <b>-2</b>	<b>2</b> <b>-3</b>	<b>-1</b> <b>-4</b>	<b>3</b> <b>-3</b>
Urbaine	#2 Isolation des parois verticales	<b>56</b>	<b>57</b> 55	63 56	53 59	49 57	60 46	<b>-5</b>	<b>-10</b> <b>-1</b>	<b>0</b> <b>-1</b>	<b>-15</b> <b>-1</b>	<b>-14</b> <b>0</b>	<b>-10</b> <b>0</b>
	#3 Isolation des combles perdues	<b>57</b>	<b>61</b> 54	62 56	63 57	53 56	68 45	<b>-3</b>	<b>-5</b> <b>-2</b>	<b>-1</b> <b>-2</b>	<b>-6</b> <b>-2</b>	<b>-10</b> <b>-2</b>	<b>-3</b> <b>-2</b>
	#4 Décoration - Finitions	<b>69</b>	<b>66</b> 71	63 64	68 78	63 78	71 65	<b>8</b>	<b>0</b> <b>16</b>	<b>0</b> <b>6</b>	<b>0</b> <b>18</b>	<b>0</b> <b>20</b>	<b>0</b> <b>19</b>
	#5 Ventilation	<b>76</b>	<b>80</b> 72	50 62	88 79	97 78	85 68	<b>15</b>	<b>14</b> <b>16</b>	<b>-33</b> <b>-4</b>	<b>20</b> <b>19</b>	<b>34</b> <b>21</b>	<b>14</b> <b>22</b>
	Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4	<b>60</b>	<b>47</b> 72	63 64	38 79	42 79	45 67	<b>-1</b>	<b>-19</b> <b>17</b>	<b>0</b> <b>6</b>	<b>-30</b> <b>19</b>	<b>-21</b> <b>22</b>	<b>-25</b> <b>20</b>
	Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4 + #5	<b>79</b>	<b>83</b> 75	55 65	93 83	92 84	91 71	<b>18</b>	<b>17</b> <b>20</b>	<b>-8</b> <b>7</b>	<b>25</b> <b>23</b>	<b>29</b> <b>26</b>	<b>21</b> <b>24</b>

Figure 34 : Effet des actions de rénovation sur le confort hygrothermique et la QAI pour une maison individuelle construite entre 1949 et 1974, localisée en zone climatique H2 et située en zone urbaine.

## Cas 2-2-2 : Entre 1949 et 1974 / Zone climatique H2 / Pollution Péri-urbaine

Entre 1949 et 1974	#0 Etat Initial	<b>63</b>	<b>66</b> 59	63 63	68 60	63 58	71 55	Indicateur Année Hiver Printemps Ete Automne	Confort QAI				
Zone climatique H2	#1 Remplacement des ouvrants	<b>61</b>	<b>67</b> 56	62 60	70 56	63 54	74 51	<b>-1</b>	<b>1</b> <b>-3</b>	<b>-1</b> <b>-3</b>	<b>2</b> <b>-3</b>	<b>-1</b> <b>-4</b>	<b>3</b> <b>-4</b>
Péri-urbaine	#2 Isolation des parois verticales	<b>57</b>	<b>57</b> 58	63 61	53 58	49 58	60 55	<b>-5</b>	<b>-10</b> <b>-1</b>	<b>0</b> <b>-2</b>	<b>-15</b> <b>-1</b>	<b>-14</b> <b>0</b>	<b>-10</b> <b>-1</b>
	#3 Isolation des combles perdues	<b>59</b>	<b>61</b> 57	62 60	63 57	53 56	68 53	<b>-3</b>	<b>-5</b> <b>-2</b>	<b>-1</b> <b>-2</b>	<b>-6</b> <b>-2</b>	<b>-10</b> <b>-2</b>	<b>-3</b> <b>-2</b>
	#4 Décoration - Finitions	<b>72</b>	<b>66</b> 77	63 73	68 78	63 79	71 78	<b>9</b>	<b>0</b> <b>18</b>	<b>0</b> <b>10</b>	<b>0</b> <b>19</b>	<b>0</b> <b>21</b>	<b>0</b> <b>23</b>
	#5 Ventilation	<b>78</b>	<b>80</b> 77	50 69	88 78	97 80	85 80	<b>16</b>	<b>14</b> <b>18</b>	<b>-33</b> <b>6</b>	<b>20</b> <b>18</b>	<b>34</b> <b>22</b>	<b>14</b> <b>25</b>
	Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4	<b>63</b>	<b>47</b> 78	63 72	38 79	42 81	45 80	<b>0</b>	<b>-19</b> <b>19</b>	<b>0</b> <b>9</b>	<b>-30</b> <b>19</b>	<b>-21</b> <b>22</b>	<b>-25</b> <b>25</b>
	Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4 + #5	<b>82</b>	<b>83</b> 81	55 74	93 82	92 85	91 85	<b>20</b>	<b>17</b> <b>22</b>	<b>-8</b> <b>11</b>	<b>25</b> <b>22</b>	<b>29</b> <b>27</b>	<b>21</b> <b>30</b>

Figure 35 : Effet des actions de rénovation sur le confort hygrothermique et la QAI pour une maison individuelle construite entre 1949 et 1974, localisée en zone climatique H2 et située en zone péri-urbaine.

## Cas 2-2-3 : Entre 1949 et 1974 / Zone climatique H2 / Pollution Rurale

Entre 1949 et 1974	#0 Etat Initial	<b>64</b>	66 61	63 67	68 62	63 58	71 56	Indicateur Année Hiver Printemps Ete Automne	Confort QAI				
Zone climatique H2	#1 Remplacement des ouvrants	<b>62</b>	67 57	62 64	70 58	63 54	74 51	<b>-1</b>	1 -4	-1 -3	2 -4	-1 -4	3 -8
Rurale	#2 Isolation des parois verticales	<b>58</b>	57 60	63 65	53 60	53 58	49 55	<b>-5</b>	-10 -1	0 -3	-15 -2	-14 0	-10 -1
	#3 Isolation des combles perdues	<b>60</b>	61 58	62 65	63 59	63 56	68 53	<b>-4</b>	-5 -2	-1 -3	-6 -3	-10 -2	-3 -2
	#4 Décoration - Finitions	<b>73</b>	66 80	63 79	68 82	63 79	71 79	<b>10</b>	0 19	0 12	0 20	0 21	0 23
	#5 Ventilation	<b>80</b>	80 79	50 75	88 81	97 80	85 81	<b>16</b>	14 18	-33 7	20 19	34 22	14 26
	Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4	<b>64</b>	47 81	63 79	38 82	42 81	45 81	<b>0</b>	-19 20	0 11	-30 20	-21 23	-25 25
	Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4 + #5	<b>84</b>	83 84	55 80	93 87	92 85	91 86	<b>20</b>	17 24	-8 13	25 24	29 27	21 30

Figure 36 : Effet des actions de rénovation sur le confort hygrothermique et la QAI pour une maison individuelle construite entre 1949 et 1974, localisée en zone climatique H2 et située en zone rurale.

## Cas 2-3-1 : Entre 1949 et 1974 / Zone climatique H3 / Pollution Urbaine

Entre 1949 et 1974	#0 Etat Initial	<b>54</b>	55 53	61 53	64 56	43 55	54 46	Indicateur Année Hiver Printemps Ete Automne	Confort QAI				
Zone climatique H3	#1 Remplacement des ouvrants	<b>52</b>	55 49	59 51	65 51	42 51	55 42	<b>-2</b>	0 -4	-2 -3	1 -4	0 -4	1 -4
Urbaine	#2 Isolation des parois verticales	<b>49</b>	46 52	61 51	46 56	42 55	34 47	<b>-5</b>	-10 0	0 -2	-18 0	-20 0	-1 1
	#3 Isolation des combles perdues	<b>51</b>	50 51	59 51	56 54	42 54	43 45	<b>-3</b>	-5 -2	-2 -3	-8 -1	0 -1	-11 -1
	#4 Décoration - Finitions	<b>63</b>	56 71	61 63	65 78	43 78	54 66	<b>9</b>	0 19	0 10	0 22	0 23	0 20
	#5 Ventilation	<b>73</b>	77 70	46 59	91 77	78 76	93 67	<b>19</b>	22 17	-15 6	27 21	35 21	39 21
	Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4	<b>54</b>	36 73	59 63	28 80	42 80	15 68	<b>0</b>	-19 20	-2 9	-16 24	0 25	-39 22
	Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4 + #5	<b>73</b>	72 75	50 64	94 82	53 82	89 70	<b>19</b>	16 22	-11 11	30 26	11 27	35 24

Figure 37 : Effet des actions de rénovation sur le confort hygrothermique et la QAI pour une maison individuelle construite entre 1949 et 1974, localisée en zone climatique H3 et située en zone urbaine.

### Cas 2-3-2 : Entre 1949 et 1974 / Zone climatique H3 / Pollution Péri-urbaine

Entre 1949 et 1974	#0 Etat Initial	<b>55</b>	55	61	64	43	54						
Zone climatique H3		55	55	56	55	55	53						
Péri-urbaine	#1 Remplacement des ouvrants	<b>53</b>	55	59	65	42	55	-2	0	-2	1	0	1
			51	53	51	51	49		-4	-3	-4	-4	-8
	#2 Isolation des parois verticales	<b>50</b>	46	61	46	42	34	-5	-10	0	-18	0	-20
			55	54	56	56	54		0	-3	0	0	1
	#3 Isolation des combles perdues	<b>52</b>	50	59	56	42	43	-4	-5	-2	-8	0	-11
			53	53	54	54	52		-2	-3	-1	-1	-3
	#4 Décoration - Finitions	<b>66</b>	56	61	65	43	54	11	0	0	0	0	0
			76	71	78	78	78		21	14	23	23	25
	#5 Ventilation	<b>75</b>	77	46	91	78	93	20	22	-15	27	35	39
			74	65	76	77	78		19	9	21	21	25
	Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4	<b>57</b>	36	59	28	42	15	2	-19	-2	-16	0	-39
			78	70	79	81	81		23	14	24	25	28
	Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4 + #5	<b>76</b>	72	50	94	53	89	21	16	-11	30	11	35
			80	72	82	83	84		25	16	26	28	31

Figure 38 : Effet des actions de rénovation sur le confort hygrothermique et la QAI pour une maison individuelle construite entre 1949 et 1974, localisée en zone climatique H3 et située en zone péri-urbaine.

### Cas 2-3-3 : Entre 1949 et 1974 / Zone climatique H3 / Pollution Rurale

Entre 1949 et 1974	#0 Etat Initial	<b>56</b>	55	61	64	43	54						
Zone climatique H3		56	56	60	56	55	53						
Rurale	#1 Remplacement des ouvrants	<b>54</b>	55	59	65	42	55	-2	0	-2	1	0	1
			52	56	52	51	49		-4	-4	-4	-4	-5
	#2 Isolation des parois verticales	<b>51</b>	46	61	46	42	34	-5	-10	0	-18	0	-20
			56	57	57	56	54		0	-3	0	0	1
	#3 Isolation des combles perdues	<b>52</b>	50	59	56	42	43	-4	-5	-2	-8	0	-11
			54	57	55	54	52		-2	-3	-2	-2	-3
	#4 Décoration - Finitions	<b>67</b>	56	61	65	43	54	11	0	0	0	0	0
			79	77	81	79	79		23	17	25	23	25
	#5 Ventilation	<b>77</b>	77	46	91	78	93	21	22	-15	27	35	39
			76	70	78	77	79		20	10	22	21	26
	Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4	<b>58</b>	36	59	28	42	15	2	-19	-2	-16	0	-39
			80	76	83	81	81		24	16	26	25	28
	Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4 + #5	<b>77</b>	72	50	94	53	89	21	16	-11	30	11	35
			83	79	85	83	85		27	19	29	28	31

Figure 39 : Effet des actions de rénovation sur le confort hygrothermique et la QAI pour une maison individuelle construite entre 1949 et 1974, localisée en zone climatique H3 et située en zone rurale.

### Cas 3-1-1 : Après 1975 / Zone climatique H1 / Pollution Urbaine

Après 1975 Zone climatique H1 Urbaine 	#0 Etat Initial	<b>69</b> <table border="1"> <tr><td>72</td><td>52</td><td>79</td><td>92</td><td>66</td></tr> <tr><td>66</td><td>64</td><td>72</td><td>65</td><td>65</td></tr> </table>	72	52	79	92	66	66	64	72	65	65	 Confort QAI										
	72	52	79	92	66																		
	66	64	72	65	65																		
	#1 Remplacement des ouvrants	<b>69</b> <table border="1"> <tr><td>72</td><td>53</td><td>77</td><td>95</td><td>62</td></tr> <tr><td>67</td><td>63</td><td>72</td><td>67</td><td>66</td></tr> </table>	72	53	77	95	62	67	63	72	67	66	<b>0</b> <table border="1"> <tr><td>0</td><td>4</td><td>-2</td><td>3</td><td>-4</td></tr> <tr><td>1</td><td>-1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	0	4	-2	3	-4	1	-1	1	1	1
	72	53	77	95	62																		
	67	63	72	67	66																		
	0	4	-2	3	-4																		
	1	-1	1	1	1																		
#2 Isolation des parois verticales	<b>70</b> <table border="1"> <tr><td>74</td><td>54</td><td>83</td><td>87</td><td>73</td></tr> <tr><td>67</td><td>63</td><td>72</td><td>66</td><td>65</td></tr> </table>	74	54	83	87	73	67	63	72	66	65	<b>1</b> <table border="1"> <tr><td>2</td><td>2</td><td>4</td><td>-5</td><td>7</td></tr> <tr><td>0</td><td>-1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	2	2	4	-5	7	0	-1	0	1	0	
74	54	83	87	73																			
67	63	72	66	65																			
2	2	4	-5	7																			
0	-1	0	1	0																			
#3 Isolation des combles perdus	<b>70</b> <table border="1"> <tr><td>74</td><td>54</td><td>81</td><td>90</td><td>69</td></tr> <tr><td>67</td><td>63</td><td>72</td><td>67</td><td>66</td></tr> </table>	74	54	81	90	69	67	63	72	67	66	<b>1</b> <table border="1"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>2</td><td>-2</td><td>4</td></tr> <tr><td>0</td><td>-1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	1	2	2	-2	4	0	-1	0	1	0	
74	54	81	90	69																			
67	63	72	67	66																			
1	2	2	-2	4																			
0	-1	0	1	0																			
#4 Décoration - Finitions	<b>79</b> <table border="1"> <tr><td>72</td><td>52</td><td>79</td><td>92</td><td>66</td></tr> <tr><td>85</td><td>72</td><td>94</td><td>96</td><td>80</td></tr> </table>	72	52	79	92	66	85	72	94	96	80	<b>9</b> <table border="1"> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>19</td><td>8</td><td>22</td><td>30</td><td>15</td></tr> </table>	0	0	0	0	0	19	8	22	30	15	
72	52	79	92	66																			
85	72	94	96	80																			
0	0	0	0	0																			
19	8	22	30	15																			
#5 Ventilation	<b>63</b> <table border="1"> <tr><td>69</td><td>54</td><td>71</td><td>96</td><td>54</td></tr> <tr><td>57</td><td>52</td><td>63</td><td>53</td><td>61</td></tr> </table>	69	54	71	96	54	57	52	63	53	61	<b>-6</b> <table border="1"> <tr><td>-3</td><td>2</td><td>-8</td><td>4</td><td>-12</td></tr> <tr><td>-9</td><td>-12</td><td>-8</td><td>-13</td><td>-4</td></tr> </table>	-3	2	-8	4	-12	-9	-12	-8	-13	-4	
69	54	71	96	54																			
57	52	63	53	61																			
-3	2	-8	4	-12																			
-9	-12	-8	-13	-4																			
Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4	<b>80</b> <table border="1"> <tr><td>75</td><td>58</td><td>82</td><td>92</td><td>69</td></tr> <tr><td>85</td><td>72</td><td>94</td><td>96</td><td>80</td></tr> </table>	75	58	82	92	69	85	72	94	96	80	<b>11</b> <table border="1"> <tr><td>3</td><td>6</td><td>3</td><td>-1</td><td>3</td></tr> <tr><td>19</td><td>8</td><td>22</td><td>30</td><td>15</td></tr> </table>	3	6	3	-1	3	19	8	22	30	15	
75	58	82	92	69																			
85	72	94	96	80																			
3	6	3	-1	3																			
19	8	22	30	15																			
Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4 + #5	<b>80</b> <table border="1"> <tr><td>76</td><td>59</td><td>83</td><td>93</td><td>70</td></tr> <tr><td>84</td><td>74</td><td>92</td><td>92</td><td>80</td></tr> </table>	76	59	83	93	70	84	74	92	92	80	<b>11</b> <table border="1"> <tr><td>3</td><td>7</td><td>4</td><td>-2</td><td>4</td></tr> <tr><td>18</td><td>10</td><td>20</td><td>26</td><td>15</td></tr> </table>	3	7	4	-2	4	18	10	20	26	15	
76	59	83	93	70																			
84	74	92	92	80																			
3	7	4	-2	4																			
18	10	20	26	15																			

Figure 40 : Effet des actions de rénovation sur le confort hygrothermique et la QAI pour une maison individuelle construite après 1975, localisée en zone climatique H1 et située en zone urbaine.

### Cas 3-1-2 : Après 1975 / Zone climatique H1 / Pollution Péri-urbaine

Après 1975 Zone climatique H1 Péri-urbaine 	#0 Etat Initial	<b>71</b> <table border="1"> <tr><td>72</td><td>52</td><td>79</td><td>92</td><td>66</td></tr> <tr><td>70</td><td>70</td><td>70</td><td>65</td><td>75</td></tr> </table>	72	52	79	92	66	70	70	70	65	75	 Confort QAI										
	72	52	79	92	66																		
	70	70	70	65	75																		
	#1 Remplacement des ouvrants	<b>71</b> <table border="1"> <tr><td>72</td><td>53</td><td>77</td><td>95</td><td>62</td></tr> <tr><td>70</td><td>69</td><td>70</td><td>67</td><td>75</td></tr> </table>	72	53	77	95	62	70	69	70	67	75	<b>0</b> <table border="1"> <tr><td>0</td><td>4</td><td>-2</td><td>3</td><td>-4</td></tr> <tr><td>0</td><td>-1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	0	4	-2	3	-4	0	-1	1	1	0
	72	53	77	95	62																		
	70	69	70	67	75																		
	0	4	-2	3	-4																		
	0	-1	1	1	0																		
#2 Isolation des parois verticales	<b>72</b> <table border="1"> <tr><td>74</td><td>54</td><td>83</td><td>87</td><td>73</td></tr> <tr><td>70</td><td>69</td><td>70</td><td>66</td><td>75</td></tr> </table>	74	54	83	87	73	70	69	70	66	75	<b>1</b> <table border="1"> <tr><td>2</td><td>2</td><td>4</td><td>-5</td><td>7</td></tr> <tr><td>0</td><td>-1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	2	2	4	-5	7	0	-1	0	1	0	
74	54	83	87	73																			
70	69	70	66	75																			
2	2	4	-5	7																			
0	-1	0	1	0																			
#3 Isolation des combles perdus	<b>72</b> <table border="1"> <tr><td>74</td><td>54</td><td>81</td><td>90</td><td>69</td></tr> <tr><td>70</td><td>69</td><td>70</td><td>67</td><td>75</td></tr> </table>	74	54	81	90	69	70	69	70	67	75	<b>1</b> <table border="1"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>2</td><td>-2</td><td>4</td></tr> <tr><td>0</td><td>-1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	1	2	2	-2	4	0	-1	0	1	0	
74	54	81	90	69																			
70	69	70	67	75																			
1	2	2	-2	4																			
0	-1	0	1	0																			
#4 Décoration - Finitions	<b>82</b> <table border="1"> <tr><td>72</td><td>52</td><td>79</td><td>92</td><td>66</td></tr> <tr><td>92</td><td>84</td><td>92</td><td>97</td><td>87</td></tr> </table>	72	52	79	92	66	92	84	92	97	87	<b>11</b> <table border="1"> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>22</td><td>14</td><td>22</td><td>32</td><td>22</td></tr> </table>	0	0	0	0	0	22	14	22	32	22	
72	52	79	92	66																			
92	84	92	97	87																			
0	0	0	0	0																			
22	14	22	32	22																			
#5 Ventilation	<b>64</b> <table border="1"> <tr><td>69</td><td>54</td><td>71</td><td>96</td><td>54</td></tr> <tr><td>60</td><td>56</td><td>62</td><td>53</td><td>69</td></tr> </table>	69	54	71	96	54	60	56	62	53	69	<b>-7</b> <table border="1"> <tr><td>-3</td><td>2</td><td>-8</td><td>4</td><td>-12</td></tr> <tr><td>-10</td><td>-14</td><td>-8</td><td>-13</td><td>-6</td></tr> </table>	-3	2	-8	4	-12	-10	-14	-8	-13	-6	
69	54	71	96	54																			
60	56	62	53	69																			
-3	2	-8	4	-12																			
-10	-14	-8	-13	-6																			
Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4	<b>84</b> <table border="1"> <tr><td>75</td><td>58</td><td>82</td><td>92</td><td>69</td></tr> <tr><td>92</td><td>84</td><td>92</td><td>97</td><td>87</td></tr> </table>	75	58	82	92	69	92	84	92	97	87	<b>13</b> <table border="1"> <tr><td>3</td><td>6</td><td>3</td><td>-1</td><td>3</td></tr> <tr><td>22</td><td>14</td><td>22</td><td>32</td><td>22</td></tr> </table>	3	6	3	-1	3	22	14	22	32	22	
75	58	82	92	69																			
92	84	92	97	87																			
3	6	3	-1	3																			
22	14	22	32	22																			
Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4 + #5	<b>83</b> <table border="1"> <tr><td>76</td><td>59</td><td>83</td><td>93</td><td>70</td></tr> <tr><td>90</td><td>83</td><td>90</td><td>92</td><td>96</td></tr> </table>	76	59	83	93	70	90	83	90	92	96	<b>12</b> <table border="1"> <tr><td>3</td><td>7</td><td>4</td><td>-2</td><td>4</td></tr> <tr><td>20</td><td>13</td><td>20</td><td>27</td><td>21</td></tr> </table>	3	7	4	-2	4	20	13	20	27	21	
76	59	83	93	70																			
90	83	90	92	96																			
3	7	4	-2	4																			
20	13	20	27	21																			

Figure 41 : Effet des actions de rénovation sur le confort hygrothermique et la QAI pour une maison individuelle construite après 1975, localisée en zone climatique H1 et située en zone péri-urbaine.

### Cas 3-1-3 : Après 1975 / Zone climatique H1 / Pollution Rurale

Après 1975	#0 Etat Initial	Indicateur					Confort QAI						
		Année	Hiver	Printemps	Ete	Automne	Indicateur	Hiver	Printemps	Ete	Automne		
Zone climatique H1		72	72	52	79	92	66						
Rurale		72	72	53	77	95	62	0	0	4	-2	3	-4
	#1 Remplacement des ouvrants	72	73	74	73	67	76	0	0	-1	1	1	0
	#2 Isolation des parois verticales	73	74	54	83	87	73	1	2	2	4	-5	7
	#3 Isolation des combles perdues	73	74	54	81	90	69	1	1	2	2	-2	4
	#4 Décoration - Finitions	84	72	52	79	92	66	12	0	0	0	0	0
	#5 Ventilation	65	69	54	71	96	54	-7	-3	2	-8	4	-12
	Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4	86	75	58	82	92	69	13	3	6	3	-1	3
	Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4 + #5	85	76	59	83	93	70	12	3	7	4	-2	4

Figure 42 : Effet des actions de rénovation sur le confort hygrothermique et la QAI pour une maison individuelle construite après 1975, localisée en zone climatique H1 et située en zone rurale.

### Cas 3-2-1 : Après 1975 / Zone climatique H2 / Pollution Urbaine

Après 1975	#0 Etat Initial	Indicateur					Confort QAI						
		Année	Hiver	Printemps	Ete	Automne	Indicateur	Hiver	Printemps	Ete	Automne		
Zone climatique H2		74	78	49	92	83	89						
Urbaine		75	80	50	92	88	90	1	1	0	0	5	0
	#1 Remplacement des ouvrants	75	70	62	76	75	66	0	0	-1	0	1	1
	#2 Isolation des parois verticales	73	77	52	90	78	88	-1	-2	2	-2	-5	-2
	#3 Isolation des combles perdues	74	78	51	91	80	89	0	-1	2	-1	-3	-1
	#4 Décoration - Finitions	82	78	49	92	83	89	8	0	0	0	0	0
	#5 Ventilation	70	81	51	93	92	90	-3	3	-1	1	9	1
	Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4	83	79	55	91	82	90	9	1	6	0	-2	1
	Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4 + #5	83	80	55	93	81	93	9	2	6	1	-3	3

Figure 43 : Effet des actions de rénovation sur le confort hygrothermique et la QAI pour une maison individuelle construite après 1975, localisée en zone climatique H2 et située en zone urbaine.

### Cas 3-2-2 : Après 1975 / Zone climatique H2 / Pollution Péri-urbaine

Après 1975	#0 Etat Initial	<b>76</b> <table border="1"><tr><td>78</td><td>49</td><td>92</td><td>83</td><td>89</td></tr><tr><td>73</td><td>68</td><td>74</td><td>74</td><td>75</td></tr></table>	78	49	92	83	89	73	68	74	74	75											
78	49	92	83	89																			
73	68	74	74	75																			
Zone climatique H2	#1 Remplacement des ouvrants	<b>76</b> <table border="1"><tr><td>80</td><td>50</td><td>92</td><td>88</td><td>90</td></tr><tr><td>73</td><td>67</td><td>75</td><td>75</td><td>75</td></tr></table>	80	50	92	88	90	73	67	75	75	75	<b>1</b> <table border="1"><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>5</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>-1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	1	0	0	5	0	0	-1	0	1	1
80	50	92	88	90																			
73	67	75	75	75																			
1	0	0	5	0																			
0	-1	0	1	1																			
Péri-urbaine	#2 Isolation des parois verticales	<b>75</b> <table border="1"><tr><td>77</td><td>52</td><td>90</td><td>78</td><td>88</td></tr><tr><td>73</td><td>67</td><td>74</td><td>74</td><td>75</td></tr></table>	77	52	90	78	88	73	67	74	74	75	<b>-1</b> <table border="1"><tr><td>-2</td><td>2</td><td>-2</td><td>-5</td><td>-2</td></tr><tr><td>0</td><td>-1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr></table>	-2	2	-2	-5	-2	0	-1	0	0	0
77	52	90	78	88																			
73	67	74	74	75																			
-2	2	-2	-5	-2																			
0	-1	0	0	0																			
	#3 Isolation des combles perdues	<b>75</b> <table border="1"><tr><td>78</td><td>51</td><td>91</td><td>80</td><td>89</td></tr><tr><td>73</td><td>67</td><td>74</td><td>75</td><td>75</td></tr></table>	78	51	91	80	89	73	67	74	75	75	<b>0</b> <table border="1"><tr><td>-1</td><td>2</td><td>-1</td><td>-3</td><td>-1</td></tr><tr><td>0</td><td>-1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr></table>	-1	2	-1	-3	-1	0	-1	0	0	0
78	51	91	80	89																			
73	67	74	75	75																			
-1	2	-1	-3	-1																			
0	-1	0	0	0																			
	#4 Décoration - Finitions	<b>86</b> <table border="1"><tr><td>78</td><td>49</td><td>92</td><td>83</td><td>89</td></tr><tr><td>93</td><td>84</td><td>92</td><td>98</td><td>97</td></tr></table>	78	49	92	83	89	93	84	92	98	97	<b>10</b> <table border="1"><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>20</td><td>16</td><td>18</td><td>24</td><td>23</td></tr></table>	0	0	0	0	0	20	16	18	24	23
78	49	92	83	89																			
93	84	92	98	97																			
0	0	0	0	0																			
20	16	18	24	23																			
	#5 Ventilation	<b>72</b> <table border="1"><tr><td>81</td><td>51</td><td>93</td><td>92</td><td>90</td></tr><tr><td>62</td><td>52</td><td>64</td><td>65</td><td>67</td></tr></table>	81	51	93	92	90	62	52	64	65	67	<b>-4</b> <table border="1"><tr><td>3</td><td>1</td><td>1</td><td>9</td><td>1</td></tr><tr><td>-11</td><td>-16</td><td>-10</td><td>-9</td><td>-8</td></tr></table>	3	1	1	9	1	-11	-16	-10	-9	-8
81	51	93	92	90																			
62	52	64	65	67																			
3	1	1	9	1																			
-11	-16	-10	-9	-8																			
	Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4	<b>86</b> <table border="1"><tr><td>79</td><td>55</td><td>91</td><td>82</td><td>90</td></tr><tr><td>93</td><td>84</td><td>92</td><td>98</td><td>97</td></tr></table>	79	55	91	82	90	93	84	92	98	97	<b>10</b> <table border="1"><tr><td>1</td><td>6</td><td>0</td><td>-2</td><td>1</td></tr><tr><td>20</td><td>16</td><td>18</td><td>24</td><td>23</td></tr></table>	1	6	0	-2	1	20	16	18	24	23
79	55	91	82	90																			
93	84	92	98	97																			
1	6	0	-2	1																			
20	16	18	24	23																			
	Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4 + #5	<b>85</b> <table border="1"><tr><td>80</td><td>55</td><td>93</td><td>81</td><td>93</td></tr><tr><td>90</td><td>82</td><td>90</td><td>95</td><td>95</td></tr></table>	80	55	93	81	93	90	82	90	95	95	<b>10</b> <table border="1"><tr><td>2</td><td>6</td><td>1</td><td>-3</td><td>3</td></tr><tr><td>18</td><td>14</td><td>15</td><td>20</td><td>20</td></tr></table>	2	6	1	-3	3	18	14	15	20	20
80	55	93	81	93																			
90	82	90	95	95																			
2	6	1	-3	3																			
18	14	15	20	20																			

Figure 44 : Effet des actions de rénovation sur le confort hygrothermique et la QAI pour une maison individuelle construite après 1975, localisée en zone climatique H2 et située en zone péri-urbaine.

### Cas 3-2-3 : Après 1975 / Zone climatique H2 / Pollution Rurale

Après 1975	#0 Etat Initial	<b>77</b> <table border="1"><tr><td>78</td><td>49</td><td>92</td><td>83</td><td>89</td></tr><tr><td>75</td><td>73</td><td>77</td><td>74</td><td>75</td></tr></table>	78	49	92	83	89	75	73	77	74	75											
78	49	92	83	89																			
75	73	77	74	75																			
Zone climatique H2	#1 Remplacement des ouvrants	<b>77</b> <table border="1"><tr><td>80</td><td>50</td><td>92</td><td>88</td><td>90</td></tr><tr><td>75</td><td>72</td><td>78</td><td>75</td><td>76</td></tr></table>	80	50	92	88	90	75	72	78	75	76	<b>1</b> <table border="1"><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>5</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>-1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	1	0	0	5	0	0	-1	0	1	1
80	50	92	88	90																			
75	72	78	75	76																			
1	0	0	5	0																			
0	-1	0	1	1																			
Rurale	#2 Isolation des parois verticales	<b>76</b> <table border="1"><tr><td>77</td><td>52</td><td>90</td><td>78</td><td>88</td></tr><tr><td>75</td><td>72</td><td>77</td><td>74</td><td>75</td></tr></table>	77	52	90	78	88	75	72	77	74	75	<b>-1</b> <table border="1"><tr><td>-2</td><td>2</td><td>-2</td><td>-5</td><td>-2</td></tr><tr><td>0</td><td>-1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr></table>	-2	2	-2	-5	-2	0	-1	0	0	0
77	52	90	78	88																			
75	72	77	74	75																			
-2	2	-2	-5	-2																			
0	-1	0	0	0																			
	#3 Isolation des combles perdues	<b>76</b> <table border="1"><tr><td>78</td><td>51</td><td>91</td><td>80</td><td>89</td></tr><tr><td>75</td><td>72</td><td>77</td><td>75</td><td>75</td></tr></table>	78	51	91	80	89	75	72	77	75	75	<b>0</b> <table border="1"><tr><td>-1</td><td>2</td><td>-1</td><td>-3</td><td>-1</td></tr><tr><td>0</td><td>-1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr></table>	-1	2	-1	-3	-1	0	-1	0	0	0
78	51	91	80	89																			
75	72	77	75	75																			
-1	2	-1	-3	-1																			
0	-1	0	0	0																			
	#4 Décoration - Finitions	<b>87</b> <table border="1"><tr><td>78</td><td>49</td><td>92</td><td>83</td><td>89</td></tr><tr><td>97</td><td>91</td><td>99</td><td>98</td><td>98</td></tr></table>	78	49	92	83	89	97	91	99	98	98	<b>11</b> <table border="1"><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>22</td><td>18</td><td>21</td><td>24</td><td>23</td></tr></table>	0	0	0	0	0	22	18	21	24	23
78	49	92	83	89																			
97	91	99	98	98																			
0	0	0	0	0																			
22	18	21	24	23																			
	#5 Ventilation	<b>72</b> <table border="1"><tr><td>81</td><td>51</td><td>93</td><td>92</td><td>90</td></tr><tr><td>64</td><td>55</td><td>66</td><td>65</td><td>67</td></tr></table>	81	51	93	92	90	64	55	66	65	67	<b>-4</b> <table border="1"><tr><td>3</td><td>1</td><td>1</td><td>9</td><td>1</td></tr><tr><td>-11</td><td>-18</td><td>-11</td><td>-9</td><td>-8</td></tr></table>	3	1	1	9	1	-11	-18	-11	-9	-8
81	51	93	92	90																			
64	55	66	65	67																			
3	1	1	9	1																			
-11	-18	-11	-9	-8																			
	Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4	<b>88</b> <table border="1"><tr><td>79</td><td>55</td><td>91</td><td>82</td><td>90</td></tr><tr><td>97</td><td>91</td><td>99</td><td>98</td><td>98</td></tr></table>	79	55	91	82	90	97	91	99	98	98	<b>11</b> <table border="1"><tr><td>1</td><td>6</td><td>0</td><td>-2</td><td>1</td></tr><tr><td>22</td><td>18</td><td>21</td><td>24</td><td>23</td></tr></table>	1	6	0	-2	1	22	18	21	24	23
79	55	91	82	90																			
97	91	99	98	98																			
1	6	0	-2	1																			
22	18	21	24	23																			
	Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4 + #5	<b>87</b> <table border="1"><tr><td>80</td><td>55</td><td>93</td><td>81</td><td>93</td></tr><tr><td>94</td><td>88</td><td>95</td><td>95</td><td>96</td></tr></table>	80	55	93	81	93	94	88	95	95	96	<b>10</b> <table border="1"><tr><td>2</td><td>6</td><td>1</td><td>-3</td><td>3</td></tr><tr><td>19</td><td>15</td><td>18</td><td>21</td><td>21</td></tr></table>	2	6	1	-3	3	19	15	18	21	21
80	55	93	81	93																			
94	88	95	95	96																			
2	6	1	-3	3																			
19	15	18	21	21																			

Figure 45 : Effet des actions de rénovation sur le confort hygrothermique et la QAI pour une maison individuelle construite après 1975, localisée en zone climatique H2 et située en zone rurale.

### Cas 3-3-1 Après 1975 / Zone climatique H3 / Pollution Urbaine

Après 1975 Zone climatique H3 Urbaine	#0 Etat Initial	67	66 67	46 61	91 73	46 72	82 64	Confort QAI	
	#1 Remplacement des ouvrants	68	69 68	46 60	92 74	51 73	85 65		1 2 0 1 1 5 3 1 1
	#2 Isolation des parois verticales	66	64 68	49 60	88 74	44 72	76 65		-1 -2 3 0 -3 -3 -3 -6 0 0
	#3 Isolation des combles perdues	66	65 68	48 60	89 74	44 73	79 65		-1 -1 2 0 -1 1 -2 1 -4 1 1
	#4 Décoration - Finitions	76	66 86	46 74	91 94	46 96	82 80		9 0 19 0 0 13 21 24 16
	#5 Ventilation	63	72 54	47 44	93 60	59 57	89 55		-4 6 -13 0 2 -13 13 -15 -9
	Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4	76	66 86	51 74	90 94	45 96	80 80		9 0 19 5 13 -1 21 24 -2 16
	Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4 + #5	75	66 84	51 74	91 90	43 92	79 79		8 -1 16 4 13 0 17 -4 20 -3 15

Figure 46 : Effet des actions de rénovation sur le confort hygrothermique et la QAI pour une maison individuelle construite après 1975, localisée en zone climatique H3 et située en zone urbaine.

### Cas 3-3-2 : Après 1975 / Zone climatique H3 / Pollution Péri-urbaine

Après 1975 Zone climatique H3 Péri-urbaine	#0 Etat Initial	68	66 70	46 65	91 72	46 72	82 72	Confort QAI	
	#1 Remplacement des ouvrants	70	69 71	46 64	92 73	51 73	85 73		1 2 1 0 0 1 5 3 1 1
	#2 Isolation des parois verticales	67	64 71	49 64	88 72	44 73	76 73		-1 -2 3 0 -3 -3 -6 0 0
	#3 Isolation des combles perdues	68	65 71	48 64	89 73	44 73	79 73		-1 -1 2 0 -1 0 -2 1 -4 1 1
	#4 Décoration - Finitions	79	66 93	46 84	91 92	46 98	82 87		11 0 22 0 19 0 0 25 25
	#5 Ventilation	64	72 56	47 46	93 59	59 57	89 62		-4 6 -14 0 2 -19 13 -15 -10
	Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4	80	66 93	51 84	90 92	45 98	80 87		11 0 22 5 19 -1 20 25 -2 25
	Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4 + #5	77	66 89	51 80	91 89	43 93	79 84		9 -1 19 4 16 0 17 -4 20 -3 21

Figure 47 : Effet des actions de rénovation sur le confort hygrothermique et la QAI pour une maison individuelle construite après 1975, localisée en zone climatique H3 et située en zone péri-urbaine.

### Cas 3-3-3 : Après 1975 / Zone climatique H3 / Pollution Rurale

Après 1975	#0 Etat Initial	69					Indicateur				
		66	46	91	46	82	Indicateur	Confort	QAI	Indicateur	Confort
Zone climatique H3	#1 Remplacement des ouvrants	71					1				
Rurale		69	46	92	51	85	2	0	1	5	3
	#2 Isolation des parois verticales	68					-1				
	#3 Isolation des combles perdus	69					-1				
	#4 Décoration - Finitions	81					12				
	#5 Ventilation	65					-5				
	Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4	81					12				
	Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4 + #5	79					9				

Figure 48 : Effet des actions de rénovation sur le confort hygrothermique et la QAI pour une maison individuelle construite après 1975, localisée en zone climatique H3 et située en zone rurale.

## Annexe B : Diaporama de restitution de l'étude numérique

Cette section présente le diaporama présenté lors du colloque de restitution du programme Smart-Réno intitulé « Rénovation énergétique : innover motiver massifier » qui a eu lieu le 24 Novembre 2021 à La Rochelle.



La Rochelle  
Université

**D'ici, on voit + loin !**

PRISE EN COMPTE DU **CONFORT** ET DE LA **SANTÉ**  
DES OCCUPANTS LORS DE LA **RÉNOVATION**  
**ÉNERGÉTIQUE**

PROGRAMME CEE **SMART-RÉNO VOLET 3** :  
VALORISATION DE LA RÉNOVATION ÉNERGÉTIQUE

**Marc Abadie et toute l'équipe !**

Colloque « Rénovation énergétique : innover motiver massifier », 24 Novembre 2021, La Rochelle.



**Smart-Réno**  
Fidéliser, Professionnaliser  
et Valoriser



La Rochelle  
Université

**EQUIPE DE RECHERCHE – SMART-RÉNO VOLET 3**



<p><b>T1</b></p> <p>LaSIE</p>  <p>Jérôme Le Dréau</p> 	<p><b>T2</b></p> <p>TIPEE</p>  <p>Jérôme Nicolle</p> 	<p><b>T3</b></p> <p>LaSIE</p>  <p>Marc Abadie</p> 	<p><b>T4</b></p> <p>EDF R&amp;D</p>  <p>Bénédicte Wall-Ribot</p> 
<p><b>T5</b></p> <p>LaSIE</p>  <p>Marc Abadie</p> 	<p><b>T6.1</b></p> <p>TIPEE</p>  <p>Adrien Dhalluin</p> 	<p><b>T6.2</b></p> <p>TIPEE</p>  <p>Jérôme Nicolle</p> 	<p><b>T6.3</b></p> <p>TIPEE</p>  <p>Jérôme Nicolle</p> 

**LaSIE**

- + Marc Abadie
- + Jérôme Le Dréau
- + Karim Linnam
- + Charles-Florian Picard
- + Louis Cony
- + Marika Vellei

**TIPEE**

- + Jérôme Nicolle
- + Adrien Dhalluin
- + Florian Battezzati
- + Katia Condeiro Mendonça
- + Kevin Taurines
- + Jordan Litaud
- + Maxime Doya

**EDF R&D**

- + Bénédicte Wall-Ribot
- + Philippe Petiot
- + Denis Cozalet
- + Agnès Le Garsan
- + Dominique Feldmann
- + Hassan Bouia
- + Baptiste Forget
- + Jean-Paul Rignac

2

**EQUIPE DE RECHERCHE – SMART-RENO VOLET 3**

LaSIE CRIS La Rochelle Université tipee EDF R&D

**T1** LaSIE

Jérôme Le Dréau

**T2** TIPEE

Jérôme Nicolle

**T3** LaSIE

Marc Abadie

**T4** EDF R&D

Bénédicte Wall-Ribot

**T5** LaSIE

Marc Abadie

**T6.1** TIPEE

Adrien Dhalluin

**T6.2** TIPEE

Jérôme Nicolle

**T6.3** TIPEE

Jérôme Nicolle

**LaSIE**

- + Marc Abadie
- + Jérôme Le Dréau
- + Karim Lissani
- + Charles-Florian Picard
- + Louis Cony
- + Marika Vellei

**TIPEE**

- + Jérôme Nicolle
- + Adrien Dhalluin
- + Florian Bartezzati
- + Katia Cordeiro Mendonça
- + Kevin Taurines
- + Jordan Litaud
- + Maxime Doya

**EDF R&D**

- + Bénédicte Wall-Ribot
- + Philippe Petiot
- + Denis Cavalet
- + Agnès Le Guron
- + Dominique Feldmann
- + Hassan Bouia
- + Baptiste Forget
- + Jean-Paul Rignac

3

**PRINCIPE DE L'ETUDE NUMÉRIQUE**

Maisons individuelles

Avant

Après

Variable

**Confort Thermique**

- Température de l'air
- Température de surface des parois
- Humidité relative de l'air

**Qualité de l'Air Intérieur**

- Concentration en polluants (PM<sub>2,5</sub>, Formaldéhyde, NO<sub>2</sub>, Benzène, Toluène, CO<sub>2</sub>)

Pour chaque pièce de la maison étudiée

4

**PRINCIPE DE L'ETUDE NUMÉRIQUE**

Indicateur SMART-RENO

32	Année	Hiver	Printemps	Été	Automne
	56	28	70	74	53
	8	12	8	2	8

← Sous-Indice Confort Thermique

← Sous-Indice QAI

**Avant**

32	56	28	70	74	53
	8	12	8	2	8

**Après**

36	48	28	58	72	34
	24	14	29	25	28

Indice de comparaison par rapport à l'état initial

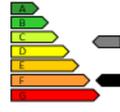
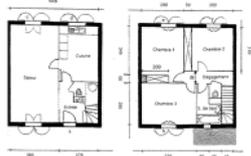
4	-8	0	-12	-1	-19
	16	1	21	23	20

5

## ETAT INITIAL DES CAS DE RÉFÉRENCES

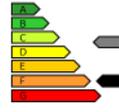


Avant 1948



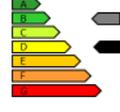
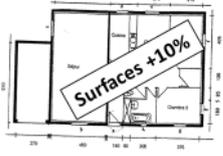
• Chauffage sous-dimensionné  
• Pas de système de ventilation

Entre 1949 et 1974



Ventilation naturelle par conduits

Après 1975



VMC auto-réglable

- 3 localisations géographiques : Trappes, La Rochelle et Nice
- 3 niveaux de pollution extérieure : Urbain, périurbain et rural

## ACTIONS DE RÉNOVATION

- |    |  |                           |    |  |                         |
|----|--|---------------------------|----|--|-------------------------|
| #1 |  | Remplacement des fenêtres | #4 |  | Décoration/Peinture A+  |
| #2 |  | Isolation des murs (ITE)  | #5 |  | VMC Hygro B             |
| #3 |  | Isolation des combles     | #6 |  | Bouquet (tout sauf VMC) |
|    |  |                           | #7 |  | Bouquet complet         |

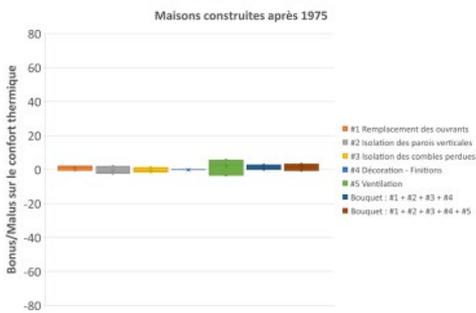
## MAISONS INDIVIDUELLES LES PLUS RÉCENTES



Après 1975	#0 Etat initial	69	72	74	76	78	80	82	84	86	88	90
Zone climatique HQ												
Urbain												
	#1 Remplacement des ouvertures	69	72	74	76	78	80	82	84	86	88	90
	#2 Isolation des parois verticales	70	74	76	78	80	82	84	86	88	90	92
	#3 Isolation des combles perdus	70	74	76	78	80	82	84	86	88	90	92
	#4 Décoration - Finitions	79	72	74	76	78	80	82	84	86	88	90
	#5 Ventilation	63	69	72	74	76	78	80	82	84	86	88
	Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4	80	75	76	78	80	82	84	86	88	90	92
	Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4 + #5	80	76	78	80	82	84	86	88	90	92	94

## MAISONS INDIVIDUELLES LES PLUS RÉCENTES

### CONFORT THERMIQUE



### QUALITE DE L'AIR INTERIEUR



## MAISONS INDIVIDUELLES LES PLUS RÉCENTES

### INDICATEUR SMART-RENO

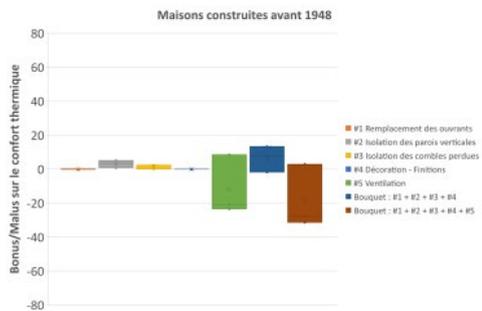


## MAISONS INDIVIDUELLES LES PLUS ANCIENNES

Avant 1948	#0 Etat Initial	34	53	71	81	87	91	93	95	97	99	100
Zone climatique HS	#1 Remplacement des ouvrants	33	53	71	81	87	91	93	95	97	99	100
Urbaine	#2 Isolation des parois verticales	39	58	71	81	87	91	93	95	97	99	100
	#3 Isolation des combles perdus	30	55	71	81	87	91	93	95	97	99	100
	#4 Décoration - Finitions	44	53	71	81	87	91	93	95	97	99	100
	#5 Ventilation	52	63	71	81	87	91	93	95	97	99	100
	Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4	54	66	71	81	87	91	93	95	97	99	100
	Bouquet : #1 + #2 + #3 + #4 + #5	59	63	71	81	87	91	93	95	97	99	100

## MAISONS INDIVIDUELLES LES PLUS ANCIENNES

### CONFORT THERMIQUE



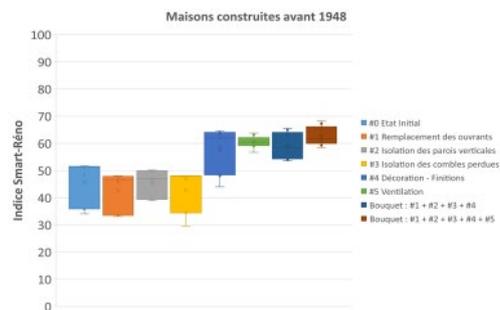
### QUALITE DE L'AIR INTERIEUR



12

## MAISONS INDIVIDUELLES LES PLUS ANCIENNES

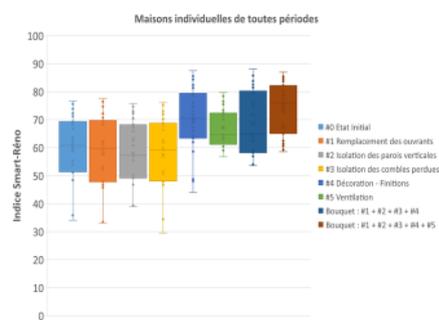
### INDICATEUR SMART-RENO



13

## CONCLUSIONS

- + Mise au point d'un **environnement de simulation** pour l'évaluation des effets de la rénovation énergétique sur le confort thermique et la qualité de l'air intérieur.
- + Conclusions majeures sur les effets de la rénovation énergétique :
  - > **Notables mais faibles** sur le confort thermique ;
  - > **Importants** sur la qualité de l'air intérieur ;
  - > **Plus importants** pour les maisons les plus anciennes ;
  - > **Toujours positifs** pour les bouquets d'actions.
- + Tous les **résultats disponibles** fin 2021 sur <https://smart-reno.univ-lr.fr/>



14