

Applications et étude des différentes
possibilités de couplage

1. Introduction

Le chapitre 2 a permis le choix et l'amélioration d'un modèle de PAC air-air existant en vue de son intégration dans le modèle de bâtiment Comfie. Il intègre la modélisation du comportement de ces PAC dans leur fonctionnement à pleine charge, et à charge partielle dans les conditions aux sources nominales et non-nominales. Le modèle de givrage a été amélioré en vue de prendre en compte l'influence de l'humidité relative de l'air sur les performances du système. La modélisation de l'influence de l'humidité dans les plages de températures hors givrage a également fait l'objet d'une amélioration. Un modèle de régulation du ventilateur de l'unité extérieure a également été proposé en vue de prendre en compte les variations de débit au niveau de l'unité extérieure en fonction du taux de charge lorsque les systèmes de PAC étudiées sont équipées de compresseurs contrôlés par inverter. Les résultats du modèle de PAC à pleine charge ont été validés par rapport au modèle de PAC air-air détaillé du laboratoire d'Oak Ridge. Le modèle à charge partielle est basé sur des résultats de tests de l'institut de recherche suédois SP, qui propose une série de points de fonctionnement à charge partielle sur plus d'une vingtaine de PAC air-air. Le modèle de dégivrage a été paramétré par rapport aux résultats de plusieurs travaux de la littérature. On dispose ainsi d'un modèle global, sensible aux principaux paramètres influençant la consommation et les performances des PAC air-air. Il a été implémenté en langage Pascal dans le modèle de bâtiment Comfie qui permet le calcul des performances saisonnières de ces systèmes dans leur mise en œuvre conventionnelle, mais également couplés à des sources d'air tempérées intégrées au bâtiment.

Le chapitre 3 contient une présentation de l'ensemble des modèles de sources d'air tempérées utilisé dans ce chapitre à des fins de couplage avec la source froide du modèle de PAC sélectionné. Le couplage entre le modèle de bâtiment et le modèle de PAC y est également présenté. Ce modèle est nécessaire pour prendre en compte la perturbation des débits de renouvellement d'air lors du couplage de la source froide de la PAC et des sources d'air tempéré. Le modèle d'humidité de l'air ajouté au modèle de bâtiment y est également détaillé. Pour chacune des sources d'air tempéré une étude de sensibilité a permis de mettre en avant les paramètres primordiaux venant influencer le comportement dynamique de chacune d'entre elles, ainsi que des zones chauffées adjacentes. Ainsi la température des zones dépendent principalement : (a) du débit de renouvellement d'air ; (b) des caractéristiques constructives ; (c) de la région climatique, et de l'orientation.

Le chapitre 4 a utilisé le modèle global d'enveloppe + PAC pour étudier le comportement et les performances de ces systèmes couplés à une source froide d'air idéale. On entend par idéale, une source dont la température est augmentée d'un écart

constant par rapport à la température extérieure. Ce chapitre a également été l'occasion d'étudier l'influence du dimensionnement des PAC sur leur performance saisonnière. Plusieurs paramètres influençant le comportement du système de PAC ont pu être mis en avant : (a) la technologie et le type de régulation (marche-arrêt ou inverser) ; (b) le dimensionnement (c) la région climatique qui influence à la fois la température de la source froide et les besoins de chauffage, et donc la puissance délivrée par la PAC.

Tous ces paramètres ont été étudiés de façon découplée sans tenir compte des interactions possibles entre le modèle d'enveloppe et le modèle de PAC. Le présent chapitre propose une série d'applications sur le couplage des sources d'air tempérées avec la source froide d'une PAC air-air. Les différents modèles utilisés dans ces applications ont été présentés aux chapitres précédents.

Les deux types de configurations envisagées au chapitre 1 font l'objet de plusieurs applications séparées en deux points étudiés l'un après l'autre dans la suite du présent chapitre :

- Le *couplage indirect* : l'unité extérieure de la PAC est située à l'extérieur et sa source froide est alimentée par divers sources d'air tempérées par l'intermédiaire d'un réseau de distribution et de ventilateurs supplémentaires. Les débits sont contrôlés soit par une régulation tout ou rien, soit par le ventilateur de l'unité extérieure de la PAC.
- Le *couplage direct* : l'unité extérieure de la PAC est placée directement à l'intérieur d'une zone, et le débit de renouvellement d'air de la zone est contrôlé par le débit du ventilateur de l'unité extérieure de la PAC

Le nombre de paramètres et de couplages qu'il est possible de réaliser est élevé. Il faut à la fois faire le choix de la source, de la technologie de pompe à chaleur, du dimensionnement, du type de couplage, ou encore de la région climatique. Une vision globale de l'ensemble des paramètres est proposée à la figure 118.

Une sélection de ces configurations est étudiée dans le présent chapitre. Elles s'appliquent à l'étude de cas d'une maison individuelle ancienne ayant subi une série d'améliorations au niveau de son enveloppe. La géométrie et les caractéristiques constructives après réhabilitation restent figées pour les différentes configurations.

Le chapitre commence par l'étude de la réhabilitation d'une maison individuelle de constructeur dans le climat de Trappes. Cette maison construite avant la première réglementation thermique a subi depuis plusieurs améliorations. L'étude retrace l'ensemble des états par lesquels est passée la maison, jusqu'à sa dernière réhabilitation datant de 2007. Pour les besoins de l'étude, la maison après réhabilitation est réutilisée et complétée par certains systèmes (véranda, capteurs à air, façade double peau,

échangeur air-sol) en vue d'étudier plusieurs configurations de couplage avec la source froide d'une PAC air-air.

S'en suit l'étude des configurations de couplage indirect, puis direct, pour des versions mono-sources et multi-sources. La sensibilité sur la région climatique est étudiée pour quatre climats français :(a) Nancy (climat tempéré continental) ; (b) Trappes (climat tempéré continental) ; (c) Rennes (climat tempéré océanique) ; (d) Nice (climat méditerranéen).

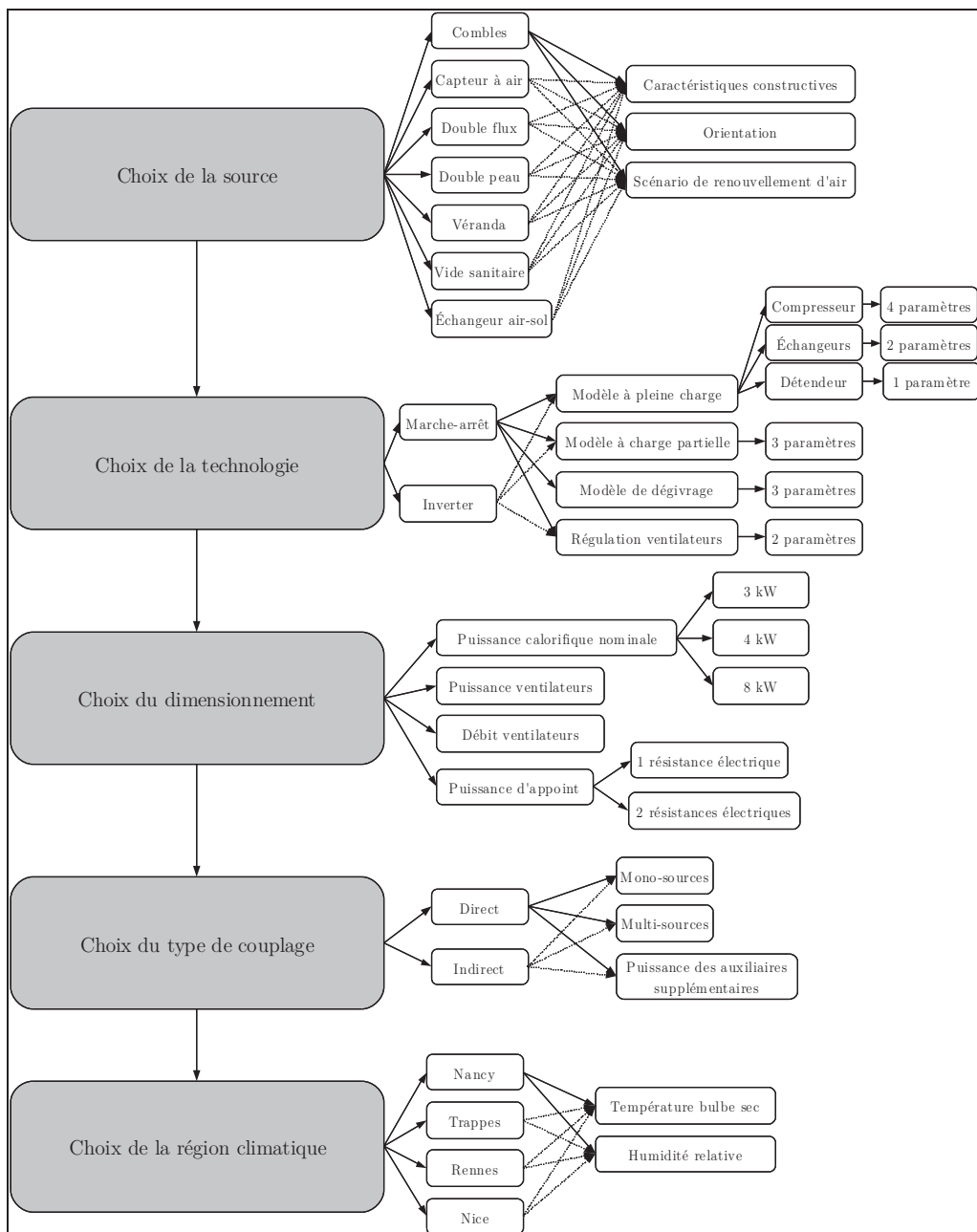


Figure 118: Vision globale des paramètres pour chaque simulation

2. Étude de cas

2.1. Présentation

Une maison de constructeur a été choisie pour cette étude. A l'origine il s'agissait d'une maison de plain pied construite sur vide sanitaire d'une surface habitable initiale de 70 m². Le procédé de construction est à ossature métallique habillée à l'extérieur par des petites dalles minces de béton et à l'intérieur par une cloison de doublage, avec interposition d'une lame d'air, caractéristique d'une construction industrielle. Elle était équipée d'une chaudière fioul à air pulsé, de fenêtres à simple vitrage, et la ventilation du logement se faisait de façon naturelle. Depuis sa construction en 1971, plusieurs agrandissements et améliorations sont venus la compléter :

- 1982 : Extension en « L » (en pointillés figure 121), en construction traditionnelle (parpaing et briques) ;
- 1987 : Isolation des murs extérieurs de l'enveloppe par injection de billes de polystyrène (PSE) dans le vide d'air séparant les dalles minces de béton des plaques de plâtre intérieures ;
- 1987 : Remplacement des vitrages, passage du simple au double vitrage classique ;
- 1987 : Changement de système de production de chauffage : mise en place de convecteurs électriques ;
- 1997 : Isolation des combles par déroulement de 20 cm de laine de roche ;
- 1999 : Installation d'une ventilation mécanique contrôlée (VMC) ;
- 2007 : Réhausse et changement de pente pour aménagement des combles (figure 122), isolation par l'extérieur, mise en place d'une VMC double flux et installation d'une PAC air-air avec soufflage en plénum.

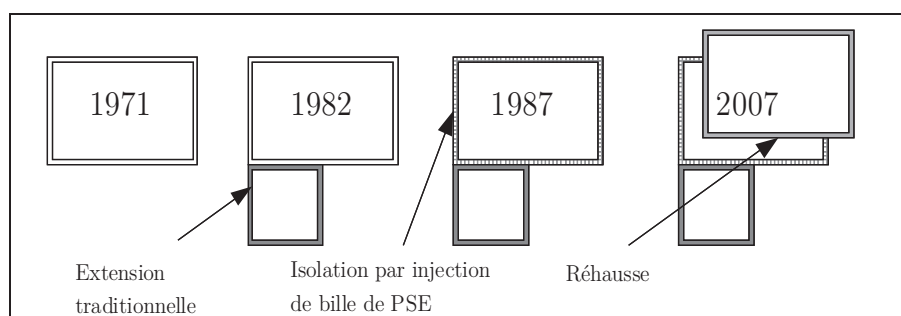


Figure 119: Évolution de l'état énergétique du cas d'étude au cours du temps

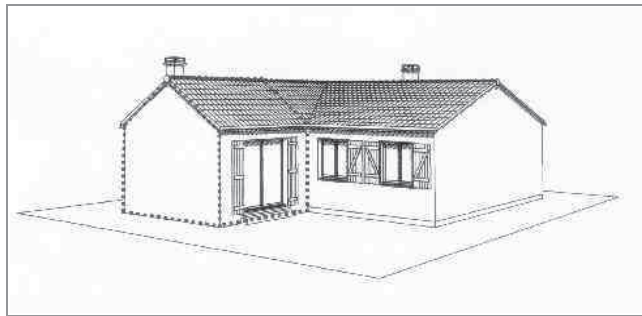


Figure 121: Maison avant réhabilitation (1999) –
Extension datant de 1982 en pointillés.

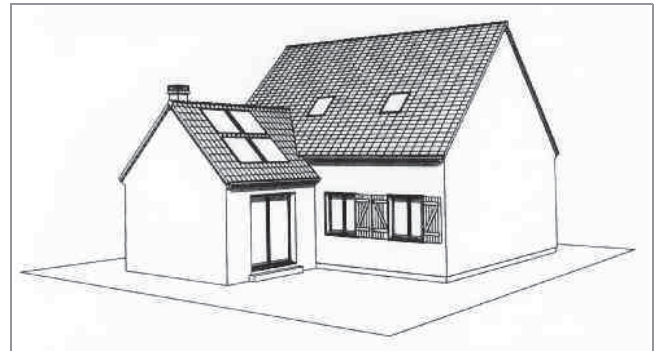


Figure 120: Maison après réhabilitation (2007)

Elle dispose après agrandissement de 4 chambres, d'un séjour/salon, d'une cuisine et de deux salles de bains pour une surface habitable totale de 135 m².

Pour les besoins de l'étude le modèle d'enveloppe de la maison après réhabilitation est complété d'une véranda et de capteurs à air exposés au Sud et à l'Est.

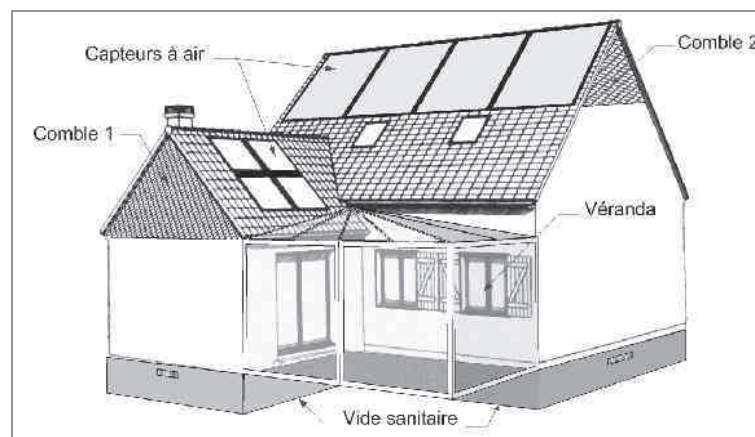


Figure 122: Cas d'étude après réhabilitation

Le détail de la géométrie, des caractéristiques constructives des parois, du volume des sources d'air tempérées, et des scénarios d'occupation est présenté aux paragraphes suivants.

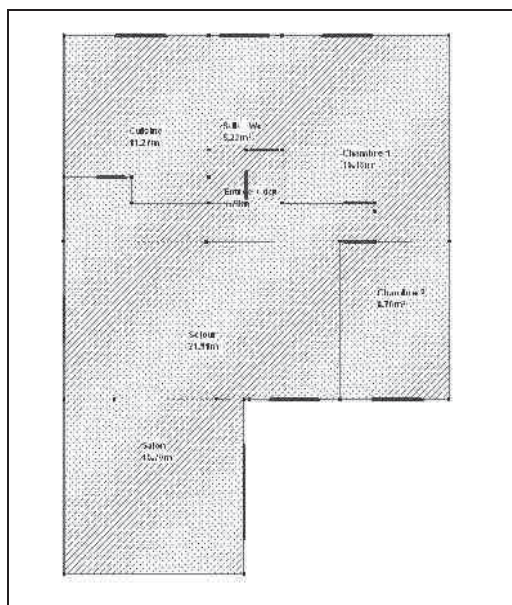
2.2. Modélisation de l'enveloppe avec Pléiades+Comfie

2.2.1. La Géométrie

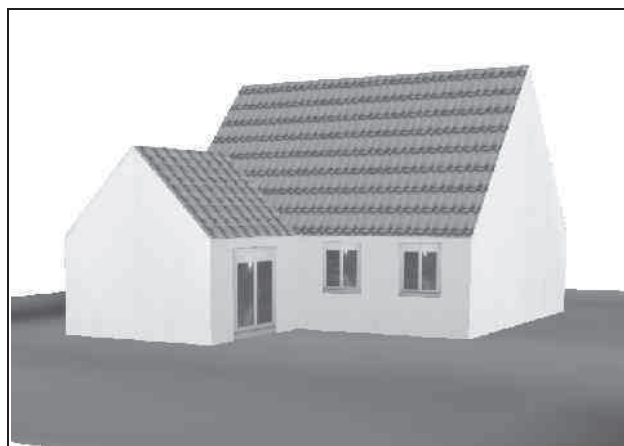
Les pièces chauffées sont regroupées dans une unique zone considérée comme thermiquement homogène. Les combles perdus, le vide sanitaire, la véranda, la façade double peau, et les capteurs à air sont modélisés comme des zones thermiques non chauffées.

Les plans 2D sont d'abord saisis avec le logiciel Alcyone, permettant une

visualisation 3D du projet. La géométrie est ensuite exportée vers le logiciel Pléiades+Comfie pour définir le modèle d'enveloppe.



(a)



(b)

Figure 123: Saisie graphique avec le logiciel Alcyone

2.2.2. Les caractéristiques constructives

On considère la maison existante avant réhabilitation, comme la maison de 1999. La maison après réhabilitation correspond à la maison de 2007.

2.2.2.1. Avant rénovation

État initial, 1971, la maison est de forme rectangulaire est dispose d'une surface habitable de 70 m². Les caractéristiques thermiques des parois de l'enveloppe sont données au tableau 23 et 24.

Désignation	Composition	Épaisseur [cm]	Coefficient de transfert thermique global ⁵⁰ U [W.m ⁻² .K ⁻¹]
Mur extérieur RDC	Dalle béton (4,5 cm) + lame d'air (8 cm) + polystyrène expansé (2cm) plâtre (5 cm) + structure acier.	19,5	1,05
Plancher sur vide sanitaire	Dalle béton (20 cm)	20	2,2
Plafond combles	Laine de roche (5 cm) + plâtre (1,3 cm)	6,3	0,68
Cloisons intérieures légères	Plâtre (1,3 cm) + brique creuse (5 cm) + Plâtre (1,3 cm)	7,6	2,1

Tableau 23: Caractéristiques thermiques de l'enveloppe avant rénovation, 1971

Désignation	Menuiserie	FS _g ⁵¹	U _g ⁵² [W.m ⁻² .K ⁻¹]	U _f ⁵³ [W.m ⁻² .K ⁻¹]	% vitrage	FS _{moyen} ⁵⁴	U _{moyen} ⁵⁵ [W.m ⁻² .K ⁻¹]
Fenêtres	Simple vitrage, menuiserie bois	0,9	4,95	2,4	66	0,59	4,08
Portes-fenêtres	Simple vitrage, menuiserie bois	0,9	4,75	3	63	0,57	4,1
Portes extérieure	Bois	-	-	-	-	-	5

Tableau 24: Caractéristiques thermiques des menuiseries avant rénovation, 1971

En 1987, la maison s'agrandit avec une extension en « L » de 15 m². Les murs extérieurs de la partie existante sont isolés par insufflation de bille de polystyrène dans la lame d'air de 8 cm. Les fenêtres sont également remplacées.

Désignation	Composition	Épaisseur [cm]	Coefficient de transfert thermique global ⁵⁶ U [W.m ⁻² .K ⁻¹]
Mur extérieur RDC isolé	Dalle béton (4,5 cm) + bille polystyrène expansé (8 cm) + polystyrène expansé (2cm) + plâtre (5 cm) + structure acier.	19,5	0,34
Mur extension	Parpaing béton (15 cm) + Polystyrène expansé (6cm)	21	0,53

Tableau 25: Caractéristiques thermiques de l'enveloppe avant rénovation, 1987

50 Le coefficient de transfert thermique global d'une paroi intègre les échanges thermiques superficiels intérieurs et extérieurs

51 FS_g: facteur solaire de la vitre seule

52 U_g (glass) coefficient de transfert thermique de la vitre seule

53 U_f (frame): coefficient de transfert thermique du cadre seul

54 FS_{moyen}: facteur solaire moyen (vitre + cadre)

55 U_{moyen}: coefficient de transfert thermique moyen (vitre + cadre), parfois appelé U_w (window)

56 Le coefficient de transfert thermique global d'une paroi intègre les échanges thermiques superficiels intérieurs et extérieurs

Désignation	Menuiserie	FS _g	U _g [W.m ⁻² .K ⁻¹]	U _f [W.m ⁻² .K ⁻¹]	% vitrage	FS _{moyen}	U _{moyen} [W.m ⁻² .K ⁻¹]
Fenêtres	Double vitrage, menuiserie PVC	0,72	2,8	1,8	62	0,5	2,42
Portes-fenêtres	Double vitrage, menuiserie PVC	0,72	1,9	1,7	60	0,5	1,84
Portes extérieure	Bois massif	-	-	-	-	-	3,5

Tableau 26: Caractéristiques thermiques des ouvrants avant rénovation ; 1987

En 1999, le plancher des combles est isolé avec 20 cm de laine de roche. Une VMC est installée.

Désignation	Composition	Épaisseur [cm]	Coefficient de transfert thermique global U [W.m ⁻² .K ⁻¹]
Plafond combles	Laine de roche (20 cm) + Plâtre (1,3 cm)	21,3	0,19

Tableau 27: Caractéristiques thermiques de l'enveloppe deuxième rénovation, 1999

2.2.2.2. Après rénovation

En 2007, la maison est agrandie est dispose de combles aménagés. Les murs extérieurs du rez-de-chaussée sont isolés par l'extérieur.

Désignation	Composition	Épaisseur [cm]	Coefficient de transfert thermique global U [W.m ⁻² .K ⁻¹]
Panneau sandwich	Polyuréthane (5 cm) + laine de verre (12 cm) + plâtre (1,3 cm) + structure acier	18,3	0,19
Mur extérieur isolé par l'extérieur	Polyuréthane (8 cm) + Mur extérieur RDC	27,5	0,16
Plancher intermédiaire	Panneau OSB (2,2 cm) + laine de verre (20 cm) + Plâtre (1,3 cm)	23,5	0,19
Plafond combles	Laine de roche (20 cm) + Plâtre (1,3 cm)	21,3	0,19

Tableau 28: Caractéristiques thermiques de l'enveloppe troisième rénovation

Désignation	Menuiserie	FS _g	U _g [W.m ⁻² .K ⁻¹]	U _f [W.m ⁻² .K ⁻¹]	% vitrage	FS _{moyen}	U _{moyen} [W.m ⁻² .K ⁻¹]
Fenêtres	Double vitrage peu émissif, lame argon, menuiserie PVC	0,72	1,1	2	85	0,61	1,24
Porte-fenêtre	Double vitrage peu émissif, lame argon, menuiserie PVC	0,72	1,1	2	80	0,61	1,24
Velux	Double vitrage, lame argon, menuiserie PVC	0,23	1,2	2,4	85	0,2	1,38
Porte extérieure	Bois isolante performante	-	-	-	-	-	0,8

Tableau 29: Caractéristiques thermiques des ouvrants avant rénovation

2.2.2.3. Ponts thermiques

Dans le cas de la maison avant travaux de 1971, les ponts thermiques sont considérés comme négligeables. Pour la maison après isolation des murs par insufflation de billes de polystyrène, les ponts thermiques sont considérés forfaitairement sur l'ensemble des liaisons entre parois verticales avec une valeur de $0,7.W.m^{-1}.K^{-1}$, ce qui correspond à des ponts thermiques non traités. Cette valeur est ramenée à $0,1.W.m^{-1}.K^{-1}$ pour des murs extérieurs isolés par l'extérieur. De ce cas, les fenêtres ont été ramenées dans le plan de l'isolant, réduisant les ponts thermiques des entourages de fenêtres, considérés alors comme négligeables.

2.2.3. Les sources d'air tempérées

2.2.3.1. Le vide sanitaire

Désignation	Composition	Épaisseur [cm]	Coefficient de transfert thermique global U [W.m ⁻² .K ⁻¹]
Plancher sur vide sanitaire	Dalle béton (20 cm)	20	2,2
Murs périphériques	Parpaing (20cm)		
Sol	Terre, une couche d'un mètre est modélisée	1	

Tableau 30: Caractéristiques constructive du vide sanitaire

2.2.3.2. Les combles

Dans la variante rénovée, les caractéristiques constructives des combles sont les suivantes.

Désignation	Composition	Épaisseur [cm]	Coefficient de transfert thermique global U [W.m ⁻² .K ⁻¹]
Plancher combles	Laine de roche (20 cm) + Plâtre (1,3 cm)	21,3	0,19
Panneau sandwich	Polyuréthane (5 cm) + laine de verre (12 cm) + plâtre (1,3 cm) + structure acier	18,3	0,19
Toiture	Toiture en ardoise (2 cm)	2	6,6

Tableau 31: Caractéristiques constructives des combles

2.2.3.3. La véranda

La véranda d'une surface de 17 m² est exposée plein sud.

Désignation	Menuiserie	FS _g	U _g [W.m ⁻² .K ⁻¹]	U _f [W.m ⁻² .K ⁻¹]	% vitrage	FS _{moyen}	U _{moyen} [W.m ⁻² .K ⁻¹]
Vitrage	Double vitrage peu émissif, lame argon, menuiserie aluminium	0,72	1,1	3	80	0,58	1,48

Tableau 32: Caractéristiques thermiques des menuiseries troisième rénovation

2.2.3.4. Les capteurs à air et façade double peau

Désignation	Menuiserie	FS _g	U _g [W.m ⁻² .K ⁻¹]	U _f [W.m ⁻² .K ⁻¹]	% vitrage	FS _{moyen}	U _{moyen} [W.m ⁻² .K ⁻¹]
Vitrage	Double vitrage peu émissif, lame argon, menuiserie aluminium	0,72	1,1	3	80	0,58	1,48

Tableau 33: Caractéristiques thermiques des menuiseries troisième rénovation

2.2.3.5. L'échangeur air sol

Un échangeur air-sol est conventionnellement dimensionné pour rafraichir ou préchauffer l'air de ventilation du logement. Il est dimensionné pour assurer le débit de renouvellement d'air hygiénique de celui-ci. Dans notre étude, le volume chauffée est de 420 m³. On suppose que l'échangeur air-sol est dimensionné pour assurer le débit de ventilation hygiénique de 0,5 volume par heure, soit 210 m³.h⁻¹.

On fait le choix d'un échangeur air-sol de 50 m de longueur, et 20 cm de diamètre placé à 1,5 mètre de profondeur.

2.3. Les scénarios d'utilisation du bâtiment

2.3.1. Scénario d'occupation

On suppose que la maison est occupée par 4 occupants de façon intermittente. Chaque occupant représente une source de chaleur d'une puissance moyenne supposée de 80 W. On se ramène à un nombre d'occupant par mètre carré de surface habitable afin d'appliquer le même scénario à chaque niveau de la rénovation. Le nombre d'occupant avant et après rénovation est le même.

	SHAB [m ²]	Nombre d'occupant par mètre carré [Occ.m ⁻²]
Avant réhabilitation	85	0,05
Après réhabilitation	135	0,03

Le scénario d'occupation est le suivant:

- 100% d'occupation de 18h à 7h;
- 50% de 11h à 13h;
- 25% de 7h à 11h et de 13h à 18h;

Dans cette configuration les occupants libèrent 43,95 kWh/semaine. Sur la saison de chauffe qui s'étend du 1er octobre au 20 mai, soit 33 semaines, les apports internes dus aux occupants sont de l'ordre de 1500 kWh.

2.3.2. Scénario de puissance dissipée

Le scénario de puissance dissipée considère que l'énergie dissipée par l'ensemble des systèmes consommateurs d'énergie intérieurs (éclairage, électroménager) s'élève à environ 1500 kWh sur la saison de chauffe (1er octobre au 20 mai, soit 33 semaines). Cette hypothèse correspond à un logement plutôt économe, soit une consommation électrique annuelle de 2000 kWh dont les trois quarts constituent des apports de chaleur. La valeur de la puissance dissipée (tableau ci-dessous) est considérée constante à chaque heure de simulation.

	SHAB [m ²]	Puissance dissipée [W.m ⁻²]
Avant réhabilitation	85	3
Après réhabilitation	135	2

2.3.3. Scenario de consigne de chauffage

Le scénario de consigne de chauffage est fixé à 19°C constant tout au long de la saison de chauffe. Le tableau 34 présente les DJU₁₈ associés à chaque région climatique.

Climat	DJU ₁₈ Comfie pour la saison de chauffe
Nancy	3024
Trappes	2704
Rennes	2000
Nice	1359

Tableau 34: DJU pour les différents climats étudiés

2.3.4. Scénario de ventilation

2.3.4.1. Locaux chauffés

Avant rénovation, la maison est ventilée par le système de VMC. Un taux de renouvellement d'air global moyen est supposé égale à 0,7 volume par heure (0,6 volume par heure assuré par le système de ventilation et 0,1 volume par heure par infiltrations d'air et défauts d'étanchéité).

Après rénovation, la maison est équipée d'une ventilation double flux. On considère que le débit de renouvellement assuré par le système double flux est de 0.5 vol/h avec une efficacité de 85%, plus un renouvellement d'air dû aux infiltrations de 0.1 vol/h avec une efficacité nulle. Ces hypothèses permettent d'établir un rendement moyen du système de ventilation double flux de 71%, et un débit de renouvellement d'air total de 0.6 vol/h.

2.3.4.2. Sources d'air tempérées

Les sources d'air tempérées modélisée en tant que zones disposent d'un débit naturel de renouvellement d'air de leur ambiance par infiltration. Dans les situations non perturbées (sans couplage avec la PAC), les taux de renouvellement d'air pour chacune des sources sont donnés au tableau suivant.

	Taux de renouvellement d'air [volume.h ⁻¹]
Vide sanitaire	1
Comble perdu	1
Véranda	0,2
Capteur à air	10

La véranda est considérée comme neuve, avec des infiltrations d'air faible.

2.3.5. Scénario d'occultation

On fait l'hypothèse qu'en plein été, les occupants baissent leurs volets de 8h à 20h, réduisant le facteur solaire de 70%. La résistance thermique additionnelle est négligée.

2.4. Modélisation des équipements

2.4.1. Chaudière fioul et convecteurs électriques

Pour le calcul des consommations avant réhabilitation les hypothèses de rendements de production du système de chauffage sont données au tableau suivant. Les données proviennent de la méthode de diagnostic de performance énergétique 3CL.

Système	Rendement d'émission	Rendement de distribution	Rendement de génération	Rendement de régulation	Rendement moyen saisonnier
Chaudière fioul	0,92	0,95	0,6	0,95	0,5
Convecteurs électrique	0,98	1	1	0,95	0,93

Les hypothèses pour la chaudière fioul correspondent à une chaudière fioul ancienne.

2.4.2. Pompe à chaleur

2.4.2.1. Dimensionnement

La consommation et les performances saisonnières du système de PAC sont calculées avec le modèle présenté au chapitre 2. A chaque climat correspond une puissance de PAC déterminée selon la méthode de dimensionnement couramment utilisée par les bureaux d'étude (chapitre 1, § 4.3). Un choix est effectué parmi les tables de puissances calorifiques à pleine charge établi à partir du modèle détaillé de l'ORNL.

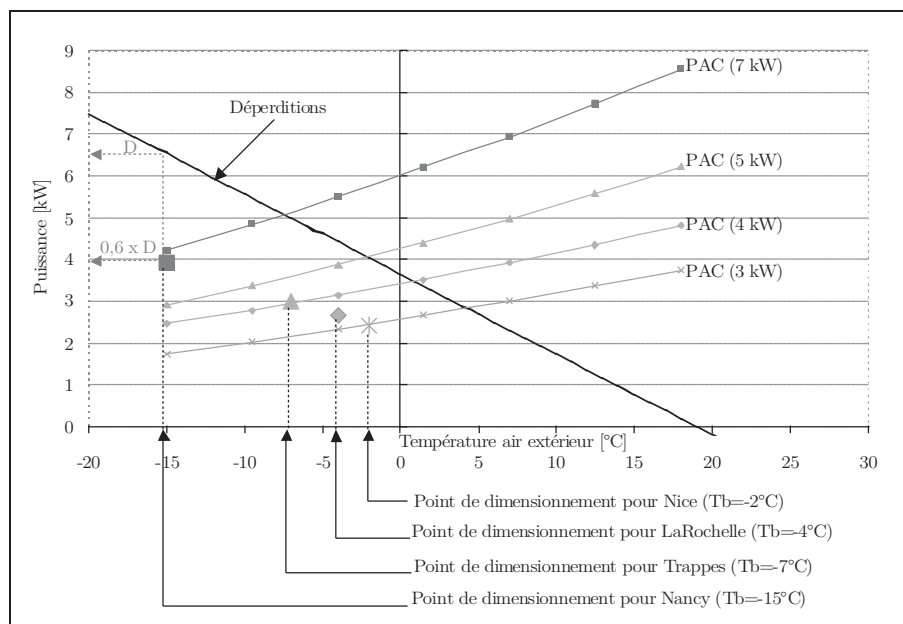


Figure 124: Sélection de la puissance calorifique des PAC selon le climat

La figure 124 présente le choix de la puissance calorifique des PAC en fonction des déperditions de la maison réhabilitée et du climat. Pour chacune des régions climatiques, les puissances calorifiques nominales et les puissances d'appoint sélectionnées sont présentées au tableau suivant. Le dimensionnement de la PAC contraint alors les débits d'air au niveau de l'unité extérieure pour assurer le bon fonctionnement du système. Ils sont également indiqués au tableau 35.

	Puissance nominale	Puissance de l'appoint [kW]	Puissance nominale ventilateur UI [W]	Puissance nominale ventilateur UE [W]	Débit nominal d'air au niveau de l'UE [m ³ .h ⁻¹]
Nancy	7 kW	2 x 2,5	230	140	2700
Trappes	5 kW	2 x 1,5	166	100	1900
Rennes	4 kW	2 x 1,5	130	80	1500
Nice	3 kW	2 x 1,5	100	60	1200

Tableau 35: Dimensions nominales de la PAC en fonction de la région climatique

Dans le cas de PAC contrôlées par marche-arrêt, on suppose le débit du ventilateur constant et égal au débit nominal indiqué dans le tableau 35.

2.4.2.2. Modèle à pleine charge

Le modèle à pleine charge est celui de Jin et Spitler [JIN2002a], [JIN2002b], présenté

au chapitre 2. Les paramètres des composants de la PAC (compresseur, échangeurs, détendeur) sont identifiés, via la méthode d'optimisation de Nelder-Mead et des tables de puissances à pleine charge établies à partir du modèle détaillé du laboratoire d'Oak Ridge. Plusieurs jeux de paramètres sont proposés en annexe F pour la modélisation de PAC de différentes puissances nominales, allant de 3 kW à 8 kW.

2.4.2.3. Modèle à charge partielle

Le modèle à charge partielle traduit le comportement de la PAC (compresseur + ventilateurs) pour des régimes de fonctionnement à charge réduite. Lorsque la puissance délivrée par la PAC est supérieure aux besoins, celle-ci adapte sa puissance soit par une suite de cyclage de marche et arrêt, soit par adaptation de la vitesse de rotation du compresseur dans le cas de PAC équipées d'inverter. Deux modèles distincts sont utilisés dans les applications de ce chapitre. Le premier caractérise le comportement des PAC contrôlés par marche-arrêt, et est basé sur le modèle de [HEND2000] (chapitre 4, §4.3.1, équations 23 à 25).

Le second caractérise les PAC contrôlées par inverter se base sur les travaux de [MARC2000] (chapitre 2, §4.3.2, équations 26 à 30) et une série de résultats issus des tests effectués de l'institut suédois SP sur plus d'une vingtaine de PAC air-air du marché suédois.

Les courbes caractéristiques de ces deux modèles sont données aux figures suivantes.

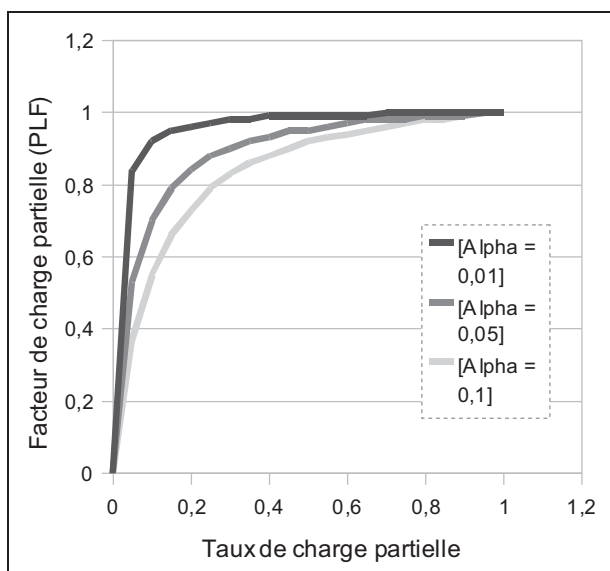


Figure 125: Courbes caractéristiques du modèle de charge partielles pour les PAC contrôlée par marche-arrêt

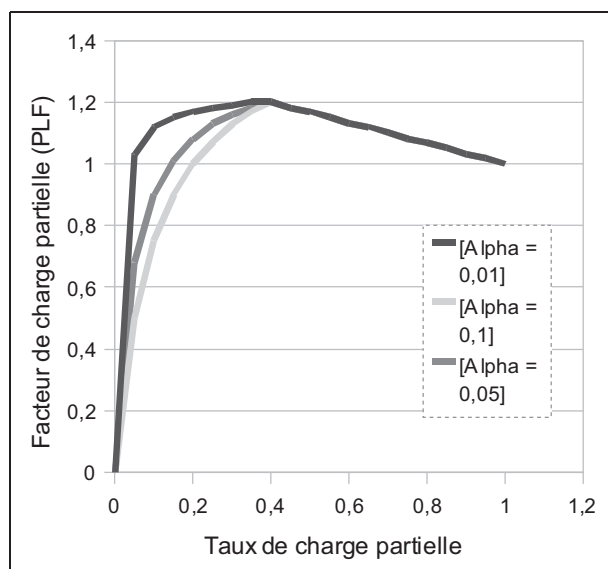


Figure 126: Courbes caractéristiques du modèle de charge partielle pour les PAC contrôlées par inverter

2.4.2.4. Modèle de dégivrage

Le modèle de dégivrage est une proposition de modèle basée sur une compilation des travaux de la littérature [MILL1982], [KAYG1996], [SCHI2000]. Un coefficient de dégradation est appliqué au modèle de puissance calorifique et au COP (compresseur + ventilateurs) à pleine charge en fonction de l'humidité relative de l'air entrant au niveau de l'unité extérieure de la PAC. Ce coefficient traduit une dégradation moyenne de la puissance calorifique et du COP (compresseur + ventilateurs) au cours de plusieurs cycle de givrage et dégivrage de l'échangeur de l'unité extérieure de la PAC.

Les paramètres du modèle utilisé dans la suite du chapitre sont précisés ci-dessous. Une illustration de comportement de ce modèle est présentée à la figure 127.

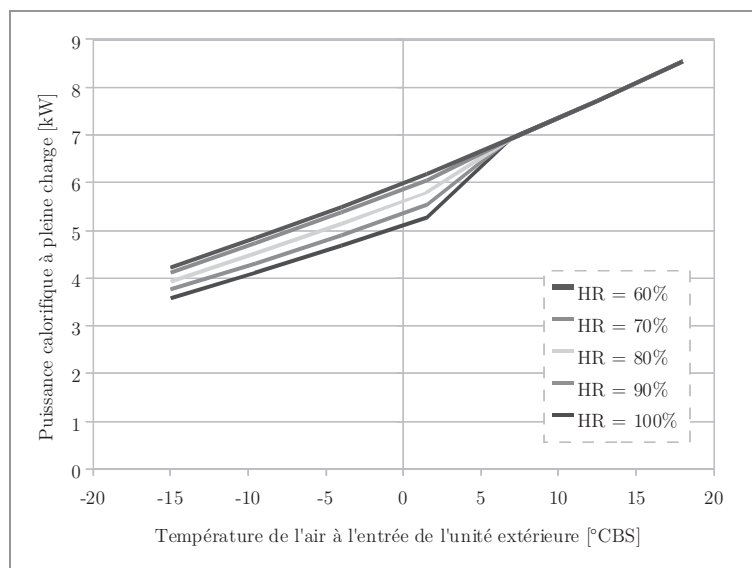


Figure 127: Évolution de la dégradation due au cycle de givrage/dégivrage en fonction de l'humidité relative de l'air à l'entrée de l'unité extérieure de la PAC

2.4.2.5. Modèle de régulation du ventilateur de l'unité extérieure

Le modèle de régulation du ventilateur de l'unité extérieure est celui proposé à partir des données issues des catalogues constructeurs. Ce modèle suppose une évolution linéaire du débit délivré par le ventilateur de l'unité extérieure entre le débit minimum et le débit nominal (chapitre 2, §5.4)

2.4.2.6. Ventilateurs supplémentaires

L'étude de certaines variantes de couplage nécessite la prise en compte de ventilateurs supplémentaires pour acheminer l'air d'une zone tempérée à la source froide la PAC. L'évaluation de ces consommations se fait par l'intermédiaire d'un ratio