
Couplages directs

Le principe du couplage direct consiste à s'affranchir de l'utilisation d'un ventilateur supplémentaire pour acheminer de l'air jusqu'à l'unité extérieure de la PAC en plaçant directement l'unité extérieure dans la zone servant de source d'air tempéré. Le débit de renouvellement d'air de cette zone est alors adapté au débit nécessaire au niveau de l'unité extérieure.

Comme pour l'étude des couplages indirects, cette partie est divisée en deux. La première traite du couplage direct de la source froide de la PAC avec des sources uniques : vide sanitaire, comble et véranda. La seconde concerne le couplage direct de ces mêmes sources complétées par un couplage indirect provenant de sources déjà présentées précédemment: ventilation double flux, capteur à air, façade double peau, ou échangeur air-sol.

5.1. Mono-source

Trois sources d'air tempéré sont étudiées dans cette partie : le vide sanitaire, les combles et la véranda. L'unité extérieure de la PAC est placée à l'intérieur de ces zones. L'étude est faite pour les différentes régions climatiques : Nancy, Trappes, Rennes et Nice.

5.1.1. Vide sanitaire

Le plancher bas de la maison est isolé avec 20 cm de polyuréthane. L'unité extérieure de la PAC est placée à l'intérieur du vide sanitaire. On considère que l'ensemble de l'air une fois passé à travers l'échangeur de l'unité extérieure est rejeté hors du vide sanitaire.

Plusieurs séries de simulations ont été réalisées en fonction de la technologie de la PAC (marche-arrêt ou inverter) et en fonction de la région climatique.

Les résultats pour les PAC contrôlées par inverter (figure 152) et celles contrôlées par marche-arrêt (figure 153) sont présentés. On constate que le couplage direct avec le vide sanitaire élimine les besoins d'une énergie d'appoint, peu importe la technologie et la région climatique. Le couplage est bénéfique tant pour les performances que pour que les consommations.

Du point de vue de la consommation globale (PAC + Appoint), des économies sont observées pour chacune des technologies, avec des gains plus prononcés pour les PAC contrôlées par inverter allant de 4% à 20% selon la région climatique. La différence entre les technologies s'explique d'une part par leur performance intrinsèque (les PAC contrôlées par inverter ont de meilleures performances dans leur fonctionnement à

charge partielle), et d'autre part par la régulation de la vitesse de rotation du ventilateur (la vitesse est variable pour les PAC contrôlées par inverter et constante pour les PAC marche-arrêt). Le vide sanitaire est alors beaucoup plus sollicité dans le cas des PAC contrôlées par marche-arrêt.

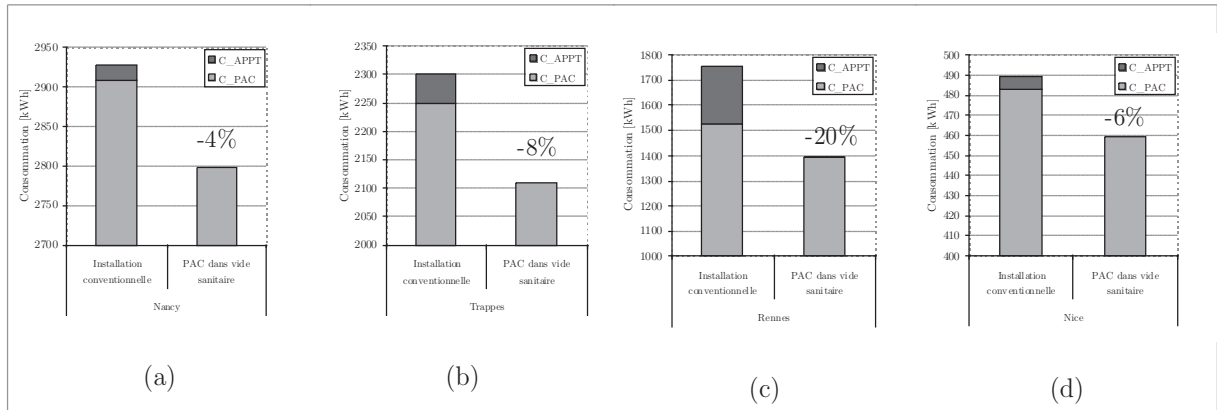


Figure 152: Consommation globale lors du couplage direct avec le vide sanitaire - PAC inverter

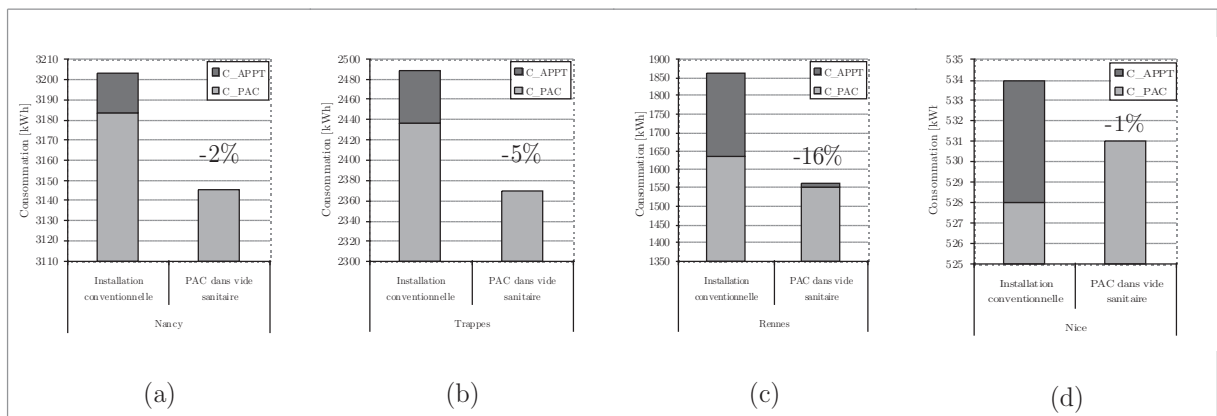


Figure 153: Évolution de la consommation globale lors du couplage direct avec le vide sanitaire - PAC marche-arrêt

On constate également des gains conséquents sur les performances de la PAC seule et de la PAC plus appoint. La figure 154 montre les gains sur le COP de la PAC seule contrôlée par inverter. Ils varient entre 10% et 18% selon la région.

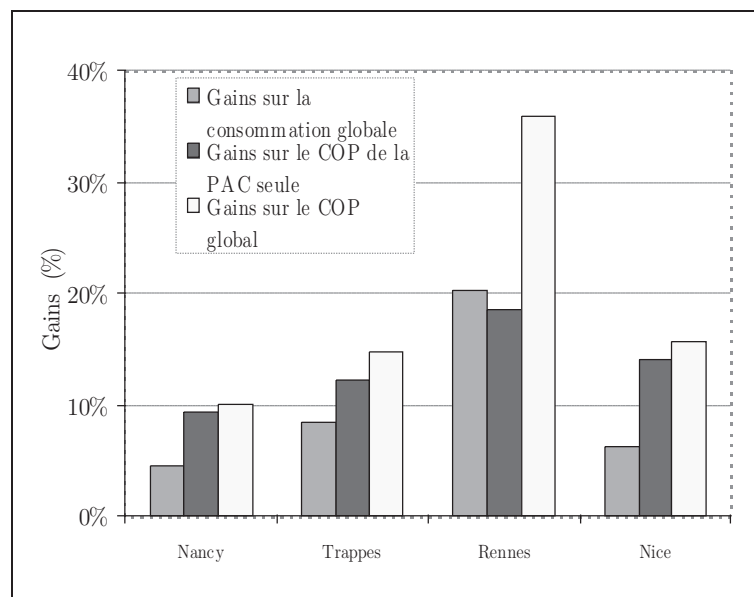


Figure 154: Gain sur la consommation et les performances du système - Couplage direct avec le vide sanitaire - PAC inverter

Les gains observés sont liés d'une part aux températures plus clémentes dans le vide sanitaire, ce qui implique un fonctionnement plus performant du système, et d'autre part à une réduction de la dégradation due au givrage et dégivrage de l'évaporateur. On observe une déformation de la courbe d'occurrence des températures (figure 155) : les températures du vide sanitaire sont moins fréquentes en dessous de 0°C que la température extérieure, mais plus fréquente entre 3°C et 10°C. Cela a pour conséquence une réduction de la dégradation des performances dues au givrage et dégivrage de l'évaporateur (figure 156) et une augmentation de la puissance calorifique délivrable par la PAC (figure 157).

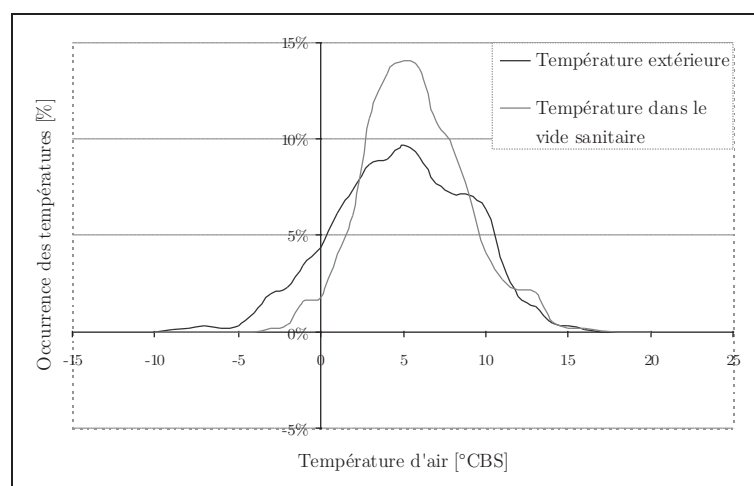


Figure 155: Occurrence des températures au climat de Nancy - Couplage direct avec le vide sanitaire - PAC inverter

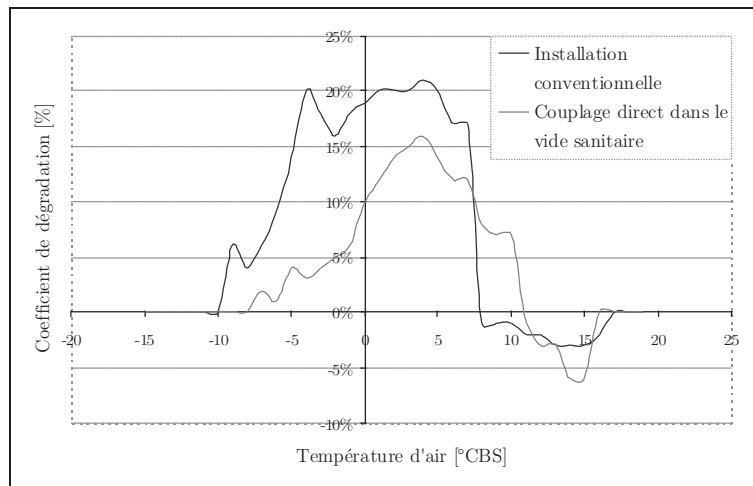


Figure 156: Coefficient moyen de dégradation dû au givrage/dégivrage sans et avec couplage direct avec le vide sanitaire au climat de Nancy - PAC inverter

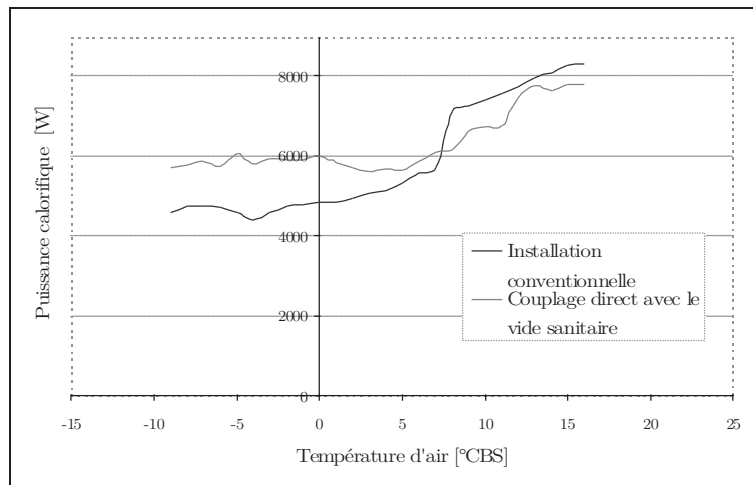


Figure 157: Puissance calorifique à pleine charge moyenne avec dégivrage - Couplage direct vide sanitaire pour le climat de Nancy - PAC inverter

Une étude de sensibilité sur le dimensionnement de la PAC au climat de Nancy montre qu'il est possible de remplacer le système dimensionné par les méthodes conventionnelles par un système de puissance nominale réduite (figure 158). Toute chose égale par ailleurs, une PAC d'une puissance nominale de 4 kW couplée de façon directe au vide sanitaire consommerait autant d'énergie qu'une PAC de 7 kW installée à l'extérieur. On constate qu'en dessous de 4 kW, la PAC de 3 kW n'est plus intéressante car elle a recours à une grande quantité d'énergie d'appoint.

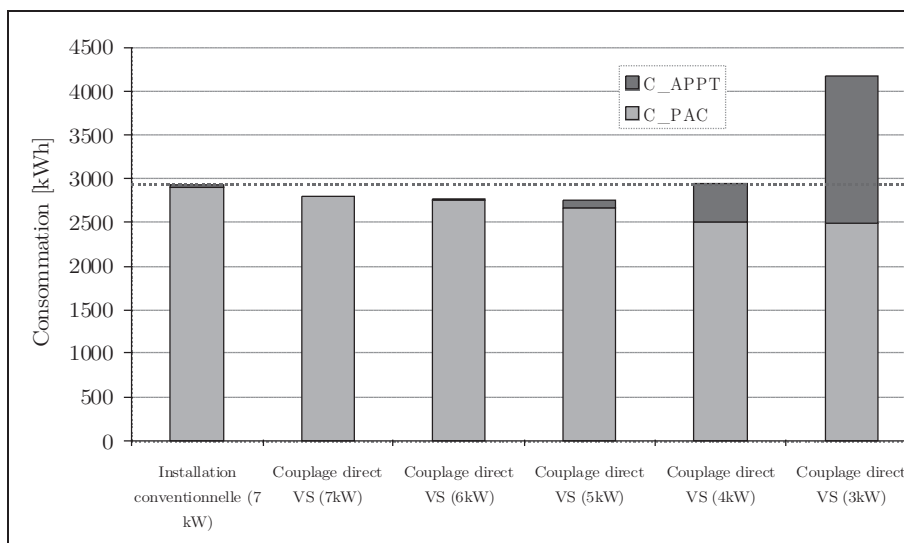
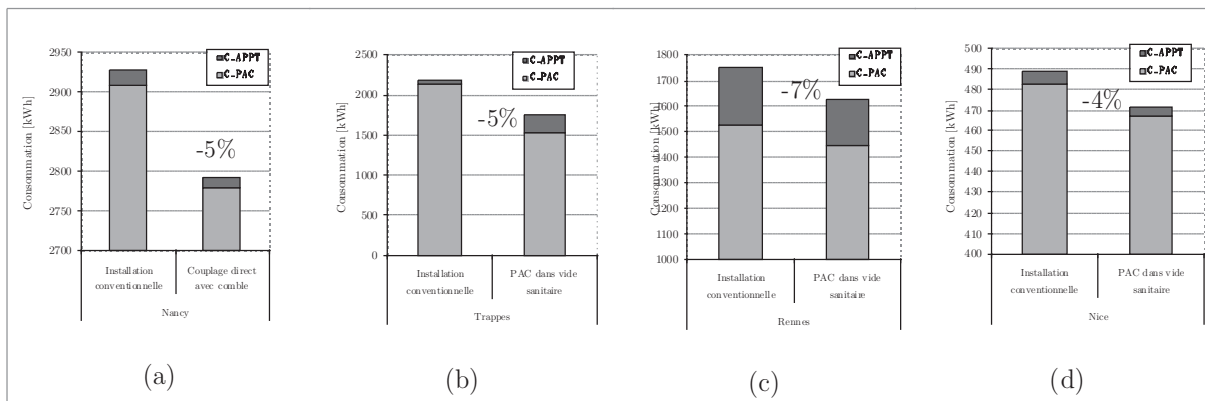


Figure 158: Impact des dimensions de la PAC sur la consommation globale du système lors du couplage direct avec le vide sanitaire

5.1.2. Comble

Le couplage direct avec les combles permet le même type d'observation que pour le vide sanitaire avec une tendance moins marquée. Les PAC contrôlées par marche-arrêt montrant peu d'intérêt pour ce couplage, seuls les résultats concernant les PAC contrôlées par inverter sont présentés.



Contrairement au couplage direct avec le vide sanitaire, le couplage avec le comble permet de diminuer faiblement le recours à l'appoint, mais ne permet pas de s'en passer. Une raison simple à cela est que le recours à l'appoint se fait pour les températures les plus froides de l'hiver qui sont atteintes la nuit. Ainsi le comble ne peut assister la PAC la nuit, ce qui explique cette faible diminution du recours à l'appoint.

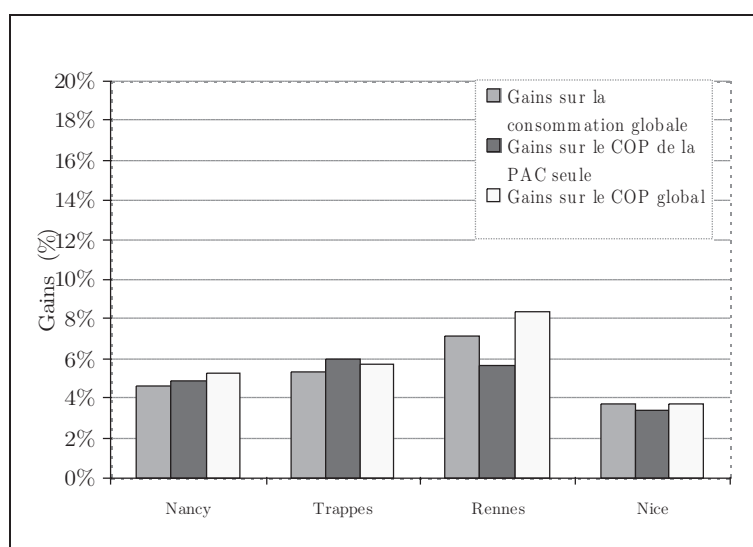


Figure 159: Gains sur les performances et la consommation pour les différents climats - Couplage direct avec le comble - PAC inverser

On a pu constater au chapitre 3 dans la partie consacrée au modèle de comble que pour un débit de renouvellement d'air naturel donné, plus il y a d'isolant sous la toiture, plus la température du comble est élevée. Bien que l'épaisseur d'isolant ait une influence sur la température du comble dans son fonctionnement non perturbé, c'est-à-dire sans couplage et avec un renouvellement d'air naturel, le constat n'est pas le même lorsque la PAC est couplée de façon directe avec le comble. En effet, l'unité extérieure de la PAC en place dans le comble augmente son taux de renouvellement d'air, abaisse sa température, et épuise progressivement la source constituée par le comble. Cette source peut se recharger grâce au rayonnement solaire. Or la mise en place d'isolant sous la toiture, bloque une partie du rayonnement solaire incident sur la toiture, et donc la part retransmise par conduction, puis convection et rayonnement à l'intérieur du comble. On observe lors du couplage direct de la PAC avec le comble, que moins il y a d'isolation en sous face de la toiture, meilleurs sont les gains en performance et en consommation (figure 160).

Remarque : Les observations précédentes sont vraies dans le cas d'un comble seul. Dans le cas d'un comble équipé de capteurs à air, l'isolation de la sous-face de la toiture est primordiale pour tirer parti au maximum des apports insufflés par le capteur.

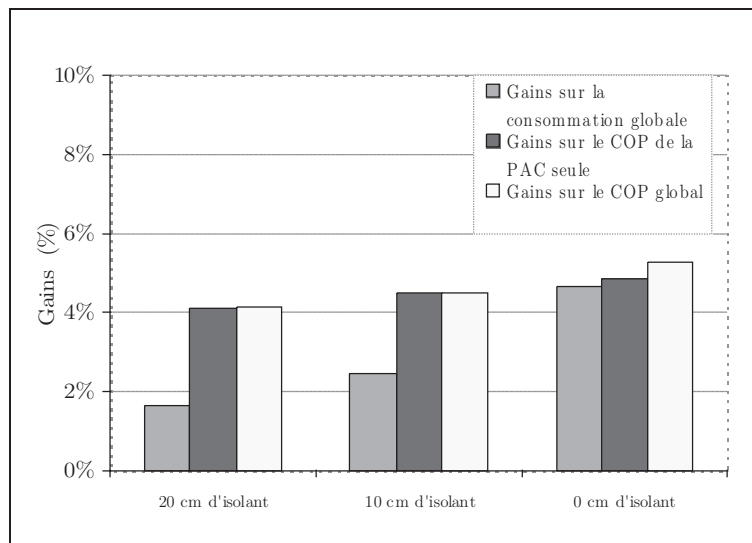


Figure 160: Gains sur les performances et la consommation en fonction de l'épaisseur d'isolant en sous face de toiture - Couplage direct avec le comble - PAC inverter au climat de Nancy

Dans le cas d'étude proposé, le plancher des combles est peu inerte (20 cm de laine de verre et plaque de plâtre). Dans le but d'étudier l'influence d'un plancher plus lourd, en béton par exemple, une série de simulations a été effectuée avec un plancher en béton isolé en sous-face, pour plusieurs épaisseurs de dalle. On observe que la dalle de béton peut permettre de stocker une partie des apports solaires lorsque la PAC ne fonctionne pas, et permettre des gains de performance et de consommation lors de la restitution de la chaleur.

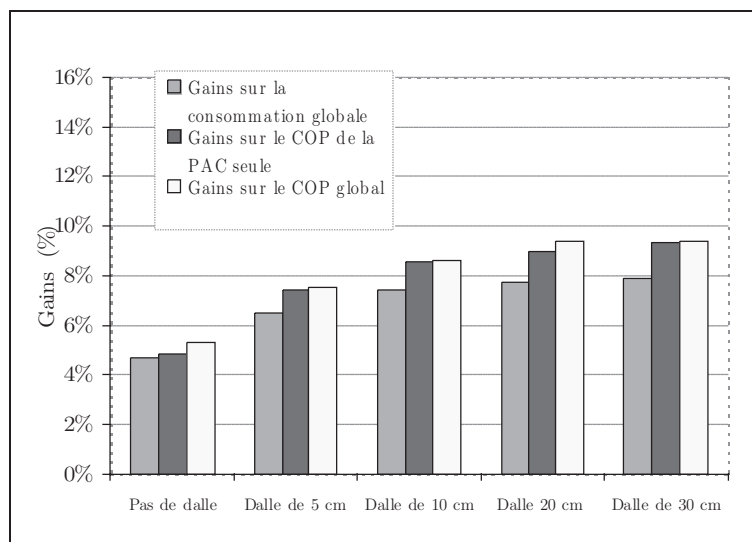
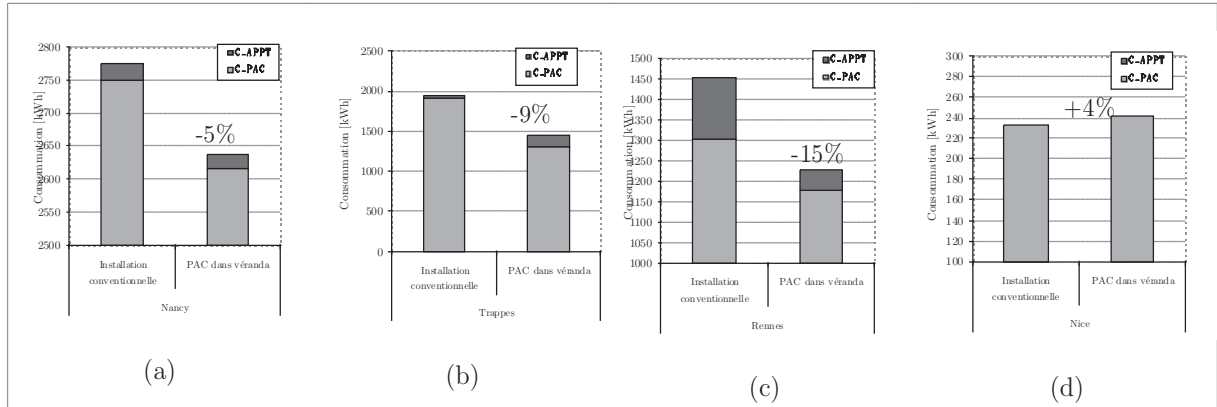


Figure 161: Gains sur les performances et la consommation en fonction de l'épaisseur de la dalle de béton formant le plancher - Couplage direct avec le comble - PAC inverter au climat de Nancy

Une optimisation des caractéristiques constructives des combles et du dimensionnement de la PAC permettrait sans doute des gains sur les consommations hivernales de l'ordre de 5% à 10%.

5.1.3. Véranda

Comme pour les combles, la véranda capte le rayonnement solaire en journée. Il y a un déphasage total entre ce que peut apporter la véranda la journée, et les besoins de chaleur maximaux qui surviennent la nuit.



Le couplage direct avec la véranda s'avère inintéressant pour le climat de Nice. La PAC fonctionne peu de temps pour assurer les besoins de chauffage majoritairement la nuit. Cela augmente les besoins de chauffage au cours de ces périodes les plus froides et aboutit à un bilan négatif.

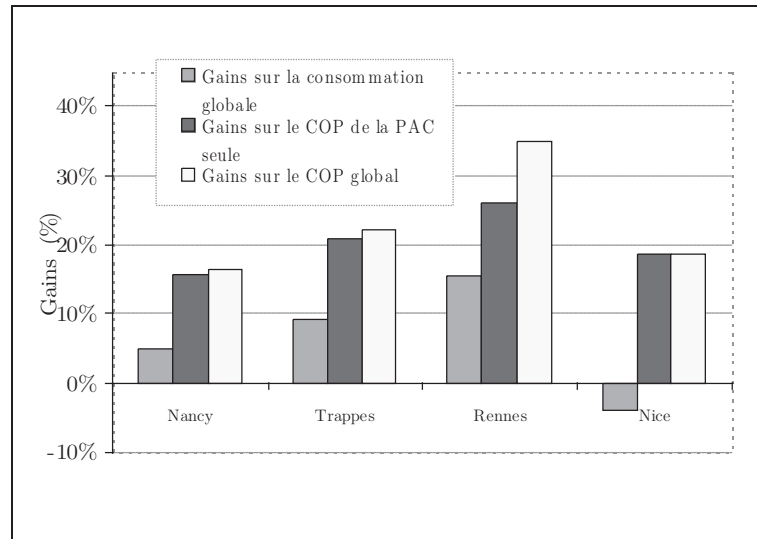


Figure 162: Gains sur les performances et la consommation globale du système pour différents climats - Couplage direct avec la véranda - PAC inverter

L'influence de la taille de la véranda sur les gains de performances et de consommations a cependant été étudié. On observe que plus la véranda est grande, plus

le couplage direct est efficace.

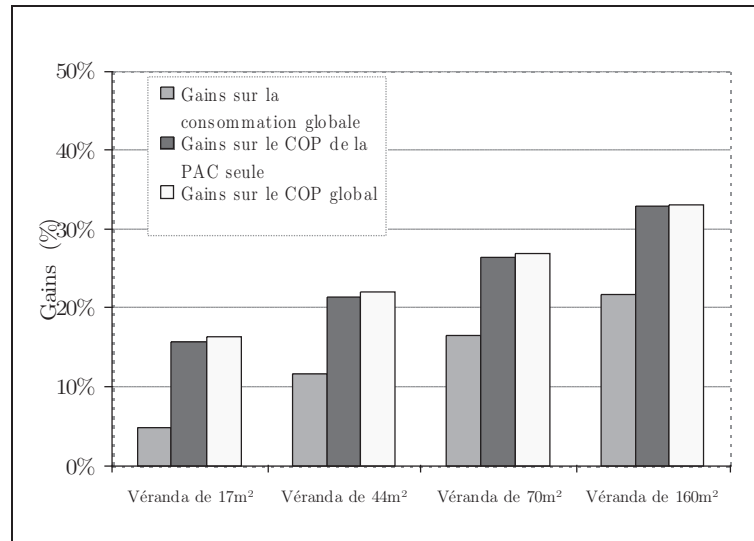


Figure 163: Gains sur les performances et la consommation en fonction de la taille de la véranda - Couplage direct avec la véranda - PAC inverter

5.2. Multi-sources

Cette dernière partie s'attache à l'étude des mêmes sources que précédemment, mais associées entre elles. Il s'agira de la sortie de la ventilation double flux et/ou de l'échangeur air-sol pour le vide sanitaire. On étudiera le capteur à air, la véranda, et également la sortie de la ventilation double dans le cas du couplage des combles.

5.2.1. Vide sanitaire + puits canadien + ventilation double flux

L'unité extérieure de la PAC est placée à l'intérieur du vide sanitaire, et le système est assisté par le rejet de l'air en provenance du système de ventilation double flux et/ou de l'échangeur air-sol. Les couplages indirects supplémentaires avec la ventilation double flux et l'échangeur air-sol sont étudiés l'un après l'autre, puis en association.

La ventilation double flux assure un taux de renouvellement hygiénique amenant à environ $250 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ le débit d'air vicié soufflé dans le vide sanitaire.

L'échangeur air-sol utilisé est un échangeur dimensionné pour la ventilation hygiénique du logement. Il apporte également un débit de $250 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ dans le vide sanitaire.

Les résultats du couplage avec le vide sanitaire plus la ventilation double flux sont présentés à la figure 164. On constate que l'apport de l'air de la sortie de la ventilation double flux permet un gain non négligeable sur la consommation globale du système quelque soit le climat. La figure 164 fait à la fois apparaître le couplage direct avec le

vide sanitaire seul (VS) et le couplage avec le vide sanitaire et la ventilation double flux (VDF). Le couplage avec les deux sources permet d'économiser entre 11% et 27% de la consommation du système de chauffage selon le climat.

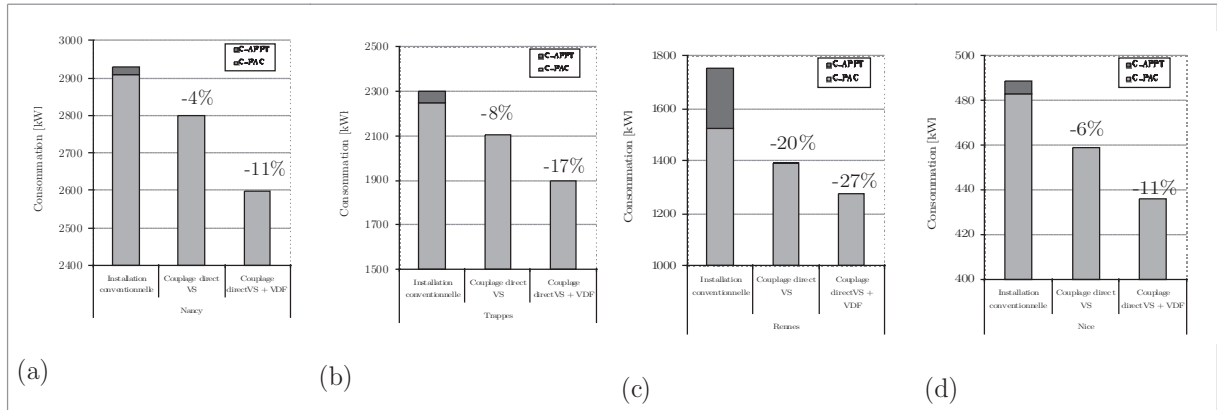


Figure 164: Couplage direct vide sanitaire (VS) + ventilation double flux (VDF) pour différents climats - PAC inverter

Les résultats du couplage avec le vide sanitaire et l'échangeur air-sol sont présentés à la figure 165. Deux technologies de ventilateurs de l'échangeur air-sol (EAS) ont été étudiées : l'un économe ($0,1 \text{ W}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$), l'autre standard ($0,2 \text{ W}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$).

Les gains sur la consommation de la PAC seule sont moindres que pour le couplage avec la ventilation double flux. On constate que le bilan sur la consommation globale dépend grandement du type de ventilateur supplémentaire utilisé. Par exemple au climat de Nancy, l'utilisation d'un ventilateur économe permet une économie de 5% par rapport à l'installation conventionnelle, alors qu'elle n'est que de 1% avec un ventilateur standard. Au climat de Nice, la configuration avec l'échangeur air-sol est toujours moins intéressante que le couplage directe avec le vide sanitaire seul.

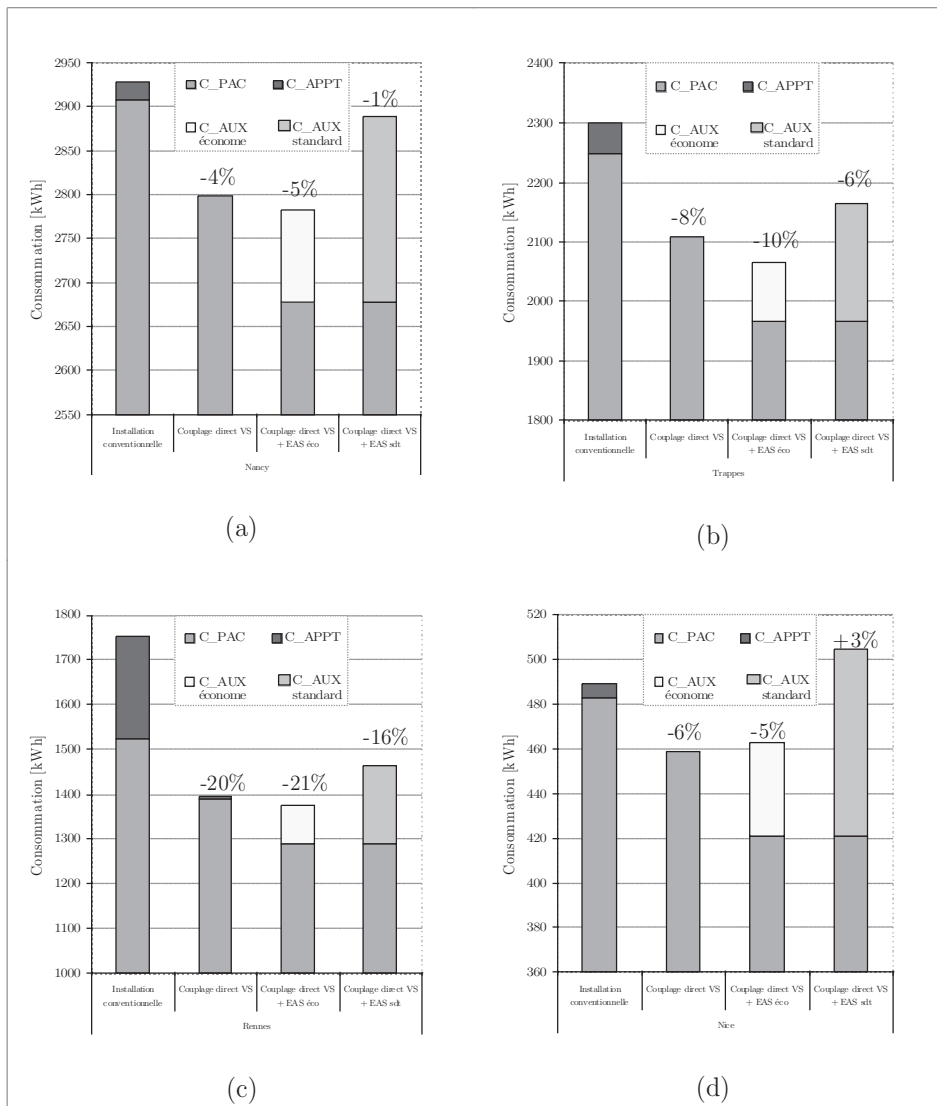


Figure 165: Couplage direct vide sanitaire (VS) + échangeur air-sol (EAS) pour différents climats - PAC inverter

Le couplage cumulé du vide sanitaire avec la ventilation double flux et l'échangeur air-sol a également été étudié. Le débit insufflé par chacune des sources indirectes est de $250 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Ce qui réduit le débit de renouvellement d'air provenant de l'extérieur.

Les gains observés sur la consommation globale sont meilleurs dans le cas du couplage cumulé de la ventilation double et de l'échangeur air-sol que pour chacune des sources prises séparément. Pour le couplage avec un ventilateur économique, globalement des économies d'énergie allant de 11% à 27% sont observés selon le climat (figure 166).

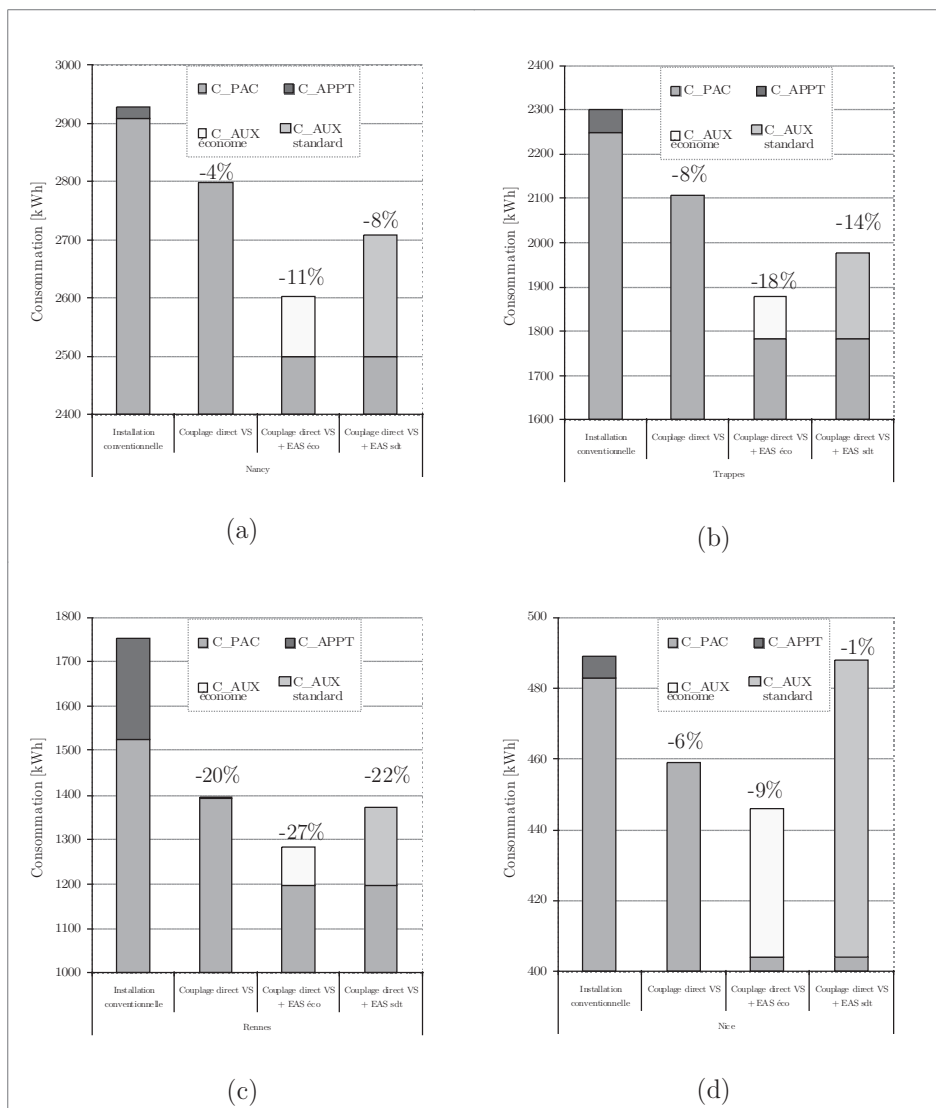


Figure 166: Couplage direct vide sanitaire (VS) + ventilation double flux (VDF) + échangeur air-sol (EAS) pour différents climats - PAC inverter

5.2.2. Combles + Capteurs à air + véranda + ventilation double flux

Une seconde série de simulations concerne le couplage multi-sources avec un couplage direct dans le comble. On étudie l'impact séparé puis cumulé du couplage indirect avec la ventilation double flux, la véranda ou le capteur à air.

Les résultats du couplage direct avec le comble et le capteur à air sont présentés à la figure 167. On y observe l'impact du choix du ventilateur supplémentaire du capteur à air. Un capteur à air muni d'une ventilateur économe permettrait entre 5% et 15% d'économie d'énergie selon la région.

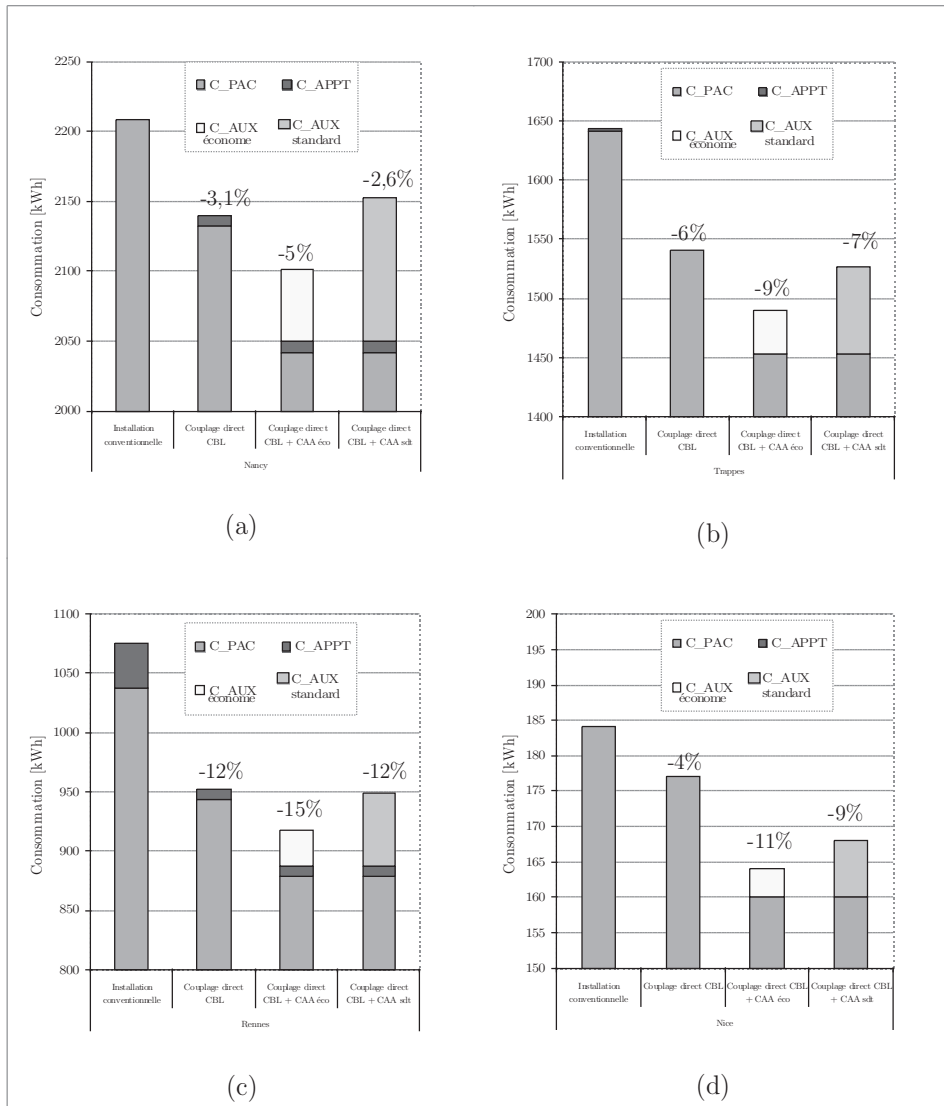


Figure 167: Couplage direct comble (CBL) + capteur à air (CAA) pour différents climats - PAC inverter

Les résultats du couplage direct avec le comble, le capteur à air et la ventilation double flux sont présentés à la figure 168. On considère pour ces simulations le cas le plus favorable avec un ventilateur économique pour le capteur à air. Dans cette configuration des économies d'énergie de 12% à 23% sont évaluées selon la région.

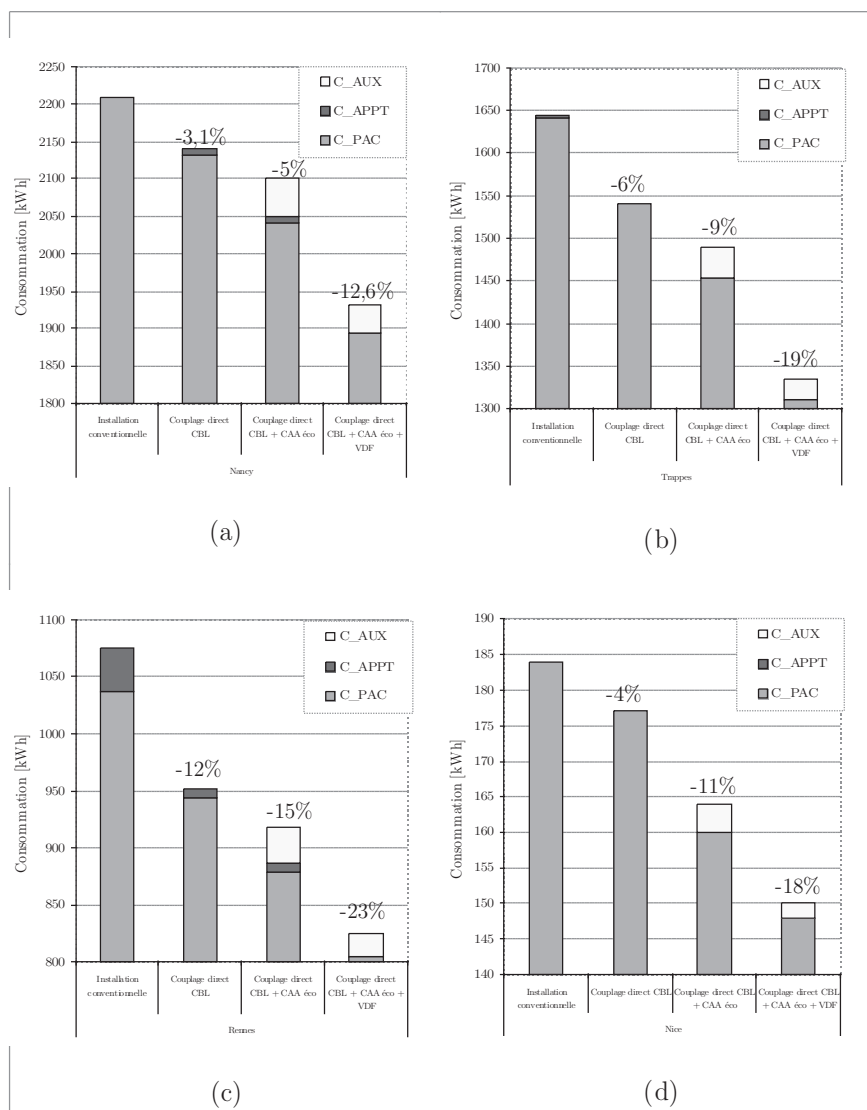


Figure 168: Couplage direct comble (CBL) + capteur à air (CAA) + ventilation double flux (VDF) pour différents climats - PAC inverter

Des couplages similaires avec le comble ont été réalisés avec la véranda seule. Les premiers résultats montrent que le couplage du comble avec la véranda (figure 169) comme source supplémentaire ne semble pas intéressante par rapport à une installation conventionnelle, et à une installation en couplage direct avec le comble seul. Deux effets sont la cause de l'augmentation des consommations : le tirage de l'air de la véranda diminue sa température et augmente les besoins de chauffage de la zone chauffée. La véranda ne peut recharger le comble au moment où les besoins de chauffage sont les plus importants, c'est-à-dire la nuit. La véranda joue un rôle de capteur solaire passif, mais contrairement au capteur à air situé sur la toiture, la zone de la véranda est directement en contact avec la zone chauffée, ce qui contribue à l'augmentation des besoins de chauffage lorsque de l'air est sous-tiré de la véranda. Dans la configuration étudiées, le mur entre la véranda et la maison est isolé avec 10 cm de polystyrène, et les

fenêtres intermédiaires sont en double vitrage peu émissif. On constate alors que même isolé, ce type de couplage semble inefficace.

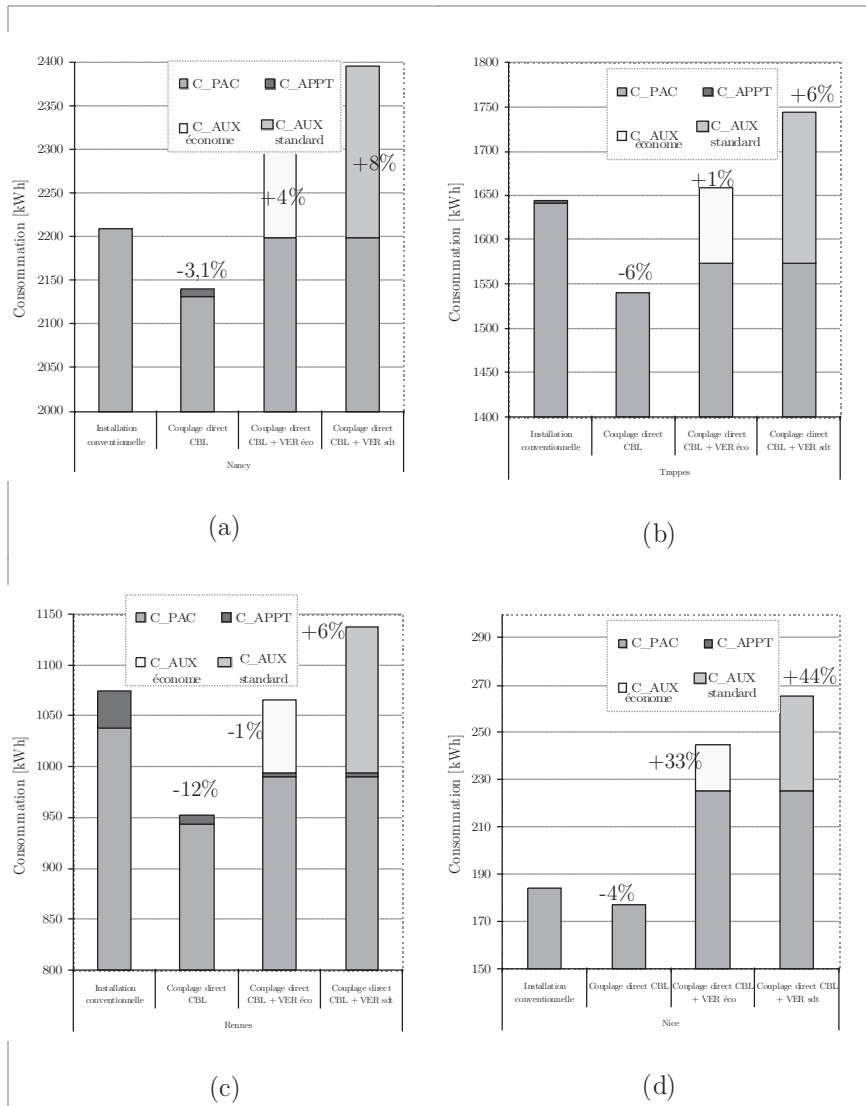


Figure 169: Couplage direct comble (CBL) + véranda (VER) pour différents climats - PAC inverter

6. Conclusions

Ce chapitre d'application utilise le modèle de PAC et les modèles de sources d'air tempérées présentés aux chapitres précédents dans l'étude de différentes configurations de couplage avec la source froide d'une PAC air-air.

Les configurations étudiées se divisent en deux catégories : le couplage indirect (avec la nécessité de ventilateurs supplémentaires), et le couplage direct (l'unité extérieure est placée directement à l'intérieur d'une zone tempérée). Pour chacune des configurations, des couplages mono-source et multi-sources sont proposés afin d'étudier leur impact sur les consommations et les performances globales de l'installation.

Les résultats présentés dans ce chapitre montrent que les couplages indirects sont clairement désavantagés par la consommation des ventilateurs supplémentaires. Ces configurations permettent des économies d'énergie dans les conditions de couplage les plus favorables (ventilateur économe et optimisation du débit transféré de la source). On a pu constater qu'il existe un débit optimal, souvent beaucoup plus faible que celui nécessaire au niveau de l'unité extérieure de la PAC, pour obtenir les gains les plus intéressants. Ainsi la meilleure solution n'est pas de transférer la totalité du débit nécessaire au niveau de la source froide mais seulement une partie de celui-ci, afin de limiter la décharge de la source. De trop gros débits font chuter drastiquement la température de la source, et épuisent rapidement la source d'air tempérée. Il est préférable de sous-tirer moins afin de permettre un équilibre entre la charge et le stockage.

En réalité, la mise en place de couplage indirect semble difficile : le réseau de distribution doit être mis en œuvre de façon optimale afin de limiter les pertes de charges et donc la consommation du ventilateur supplémentaire. Un système de régulation serait également nécessaire pour contrôler la répartition des débits en direction de la source froide de la pompe à chaleur.

La configuration en couplage direct semble beaucoup plus prometteuse avec des économies d'énergie non négligeables. Elle s'affranchit de l'utilisation de ventilateurs supplémentaires permettant de valoriser un maximum les gains sur les performances et la consommation de la PAC fonctionnant avec une température de source froide plus clémente. On préférera les zones de gros volume et constituées de matériaux inertes afin de pouvoir stocker une partie des apports lorsque la PAC n'est pas en fonctionnement.

Cette série d'applications aura permis de constater que le dimensionnement de la PAC et la région climatique jouent des rôles prépondérants dans la bonne réussite du couplage. Il est difficile de comparer deux maisons identiques, l'une située à Nice et l'autre à Nancy. Ces deux maisons disposent de deux PAC de puissance nominale

différentes qui n'auront pas forcément le même comportement, puisque les variations des écarts de température peuvent être très différentes d'une région à l'autre. Cependant on a pu constater pour chacune des configurations que le couplage semble plus approprié dans les régions plutôt froides.

Des travaux expérimentaux mériteraient d'être effectués sur le sujet pour mieux comprendre les phénomènes et vérifier les tendances d'économies d'énergie.