



Rapport relatif au **modèle multizone Airzone** et sa comparaison avec un système sans régulation par zone



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA

MODÈLE MULTIZONE AIRZONE. ÉTUDE DE CAS

1. Introduction

L'évolution des modes de vie dans les pays industrialisés, où les personnes passent la plupart de leur temps dans des espaces clos, entraîne des changements considérables aussi bien sur la consommation occasionnée au sein d'un bâtiment, que sur les exigences en termes de confort thermique, de confort d'éclairage et de qualité d'air intérieur, ainsi que sur la manière de gérer ces services. Selon la Directive 2012/27/UE [1], les bâtiments représentent 40 % de la consommation énergétique finale et environ 50 % de celle-ci est due aux systèmes de refroidissement et de chauffage.

Cette étude a pour but de démontrer que l'aménagement de **systèmes de contrôle intelligents** dans les installations de **chauffage et refroidissement** contribue de manière efficace à la **performance énergétique d'un bâtiment**. L'étude porte principalement sur les secteurs de l'habitat et des services utilisant des installations vecteur air de faible et moyenne puissance, qui ont le plus souvent recours à des systèmes air-air, équipés d'unités Inverter à détente directe et d'un réseau de gaines à débit constant. Par l'intermédiaire de sa filiale Airzone France, la société Corporación Empresarial Altra propose d'évaluer la pertinence d'un tel système en termes de confort des occupants, de demande thermique et de consommation énergétique annuelle, en le comparant à un système Inverter conventionnel sans régulation par zone.

2. Systèmes de contrôle multizone Airzone

Les secteurs de l'habitat et des services utilisant des installations vecteur air de faible et moyenne puissance ont le plus souvent recours à des systèmes air-air équipés d'unités Inverter à détente directe, et d'un réseau de gaines à débit constant. Ce type de système repose sur le contrôle de la température d'une seule zone, ce qui permet de maintenir la température dans la plage de confort. Quant aux autres zones, leur température peut se situer en dehors de la plage de confort si leur profil de charge ne correspond pas à celui de la zone de contrôle (usage, orientation, charges thermiques, etc.), malgré la bonne conception du réseau de gaines et la puissance maximale imposée aux unités.

Contrairement à ceux-ci, les **systèmes multizones** reposent sur le contrôle indépendant de la température de chacune des zones. Pour ce faire, chaque pièce est équipée d'un thermostat, ce qui permet de connaître la demande thermique dans chacune des zones et de sélectionner **une température de consigne indépendante** en fonction des préférences de l'utilisateur. Ainsi, lorsqu'une zone atteint la température de consigne, elle envoie un signal de commande au registre motorisé de la zone pour fermer et interrompre la diffusion vecteur air. La figure 1 représente un système multizone.



Figure 1. Système multizone.

En plus de la régulation thermique par zone, le système de contrôle Airzone utilise une **passerelle de communication**. Pour obtenir un niveau de confort optimal et une réduction de la consommation énergétique, il est nécessaire de disposer d'une bonne communication entre le système de zones et l'unité de chauffage et refroidissement. La passerelle de communication est l'élément qui permet d'établir **une communication bidirectionnelle entre la platine centrale Airzone et l'unité intérieure**. Airzone a passé des accords avec les principaux fabricants portant sur la cession des protocoles de communication utilisés sur leurs équipements, ce qui permet d'obtenir des informations sur les paramètres liés à leur fonctionnement et d'effectuer les opérations suivantes :

- Marche et arrêt de l'unité.
- Basculement du mode de fonctionnement.

Le **mode de fonctionnement** de l'unité (refroidissement, chauffage ou ventilation) sera **imposé par le thermostat principal** de l'installation. Les zones en situation d'inversion thermique, c'est-à-dire, les zones où la demande est contraire au mode de fonctionnement de l'unité, resteront éteintes.

- Contrôle de la vitesse du ventilateur de l'unité intérieure.

Paramètre contrôlé par l'**algorithme Q-Adapt** ; le débit entraîné par le ventilateur de l'unité intérieure est réglé, grâce à la modification dynamique de sa vitesse.

- Limitation de la température de consigne de la zone.

Paramètre contrôlé par l'**algorithme Eco-Adapt**, lequel surveille la température de consigne dans les différentes zones, et limite la température maximale ou minimale pouvant être sélectionnée, en mode chauffage et en mode refroidissement.

Mode	Température	
	Chauffage	Refroidissement
A	22° C	24° C
A+	21,5° C	25° C
A++	21° C	26° C

- Contrôle de la température de consigne de l'unité.

Paramètre contrôlé par l'**algorithme Efi-Adapt** (fonction de l'*Eco-Adapt* des unités air-air), qui règle la température de consigne de l'unité de manière dynamique en fonction de la température de chaque zone, et de la température de reprise de l'équipement, en tenant compte de l'effet d'inertie thermique de chaque zone.

La figure 2 représente le système gainable multizone d'un bâtiment, avec sa platine centrale et sa passerelle de communication Airzone.

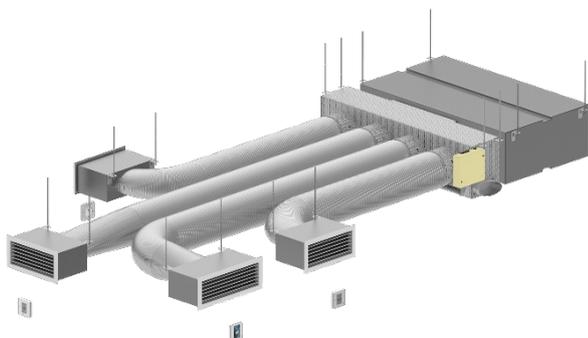


Figure 2. Système multizone.

3. Aménagement des modèles dans TRNSYS

Cette étude a été réalisée à l'aide du logiciel TRNSYS [2], référence en matière de recherche d'installations thermo-énergétiques. Cette plateforme de calcul s'est servie des modèles mathématiques de l'ensemble des systèmes de chauffage définis dans la section précédente.

Ces modèles ont été obtenus par des tests expérimentaux effectués sur une unité à détente directe dans une chambre climatique double.

Il s'agit de déterminer le comportement de l'unité dans les conditions de fonctionnement d'une installation réelle. Ceci devrait nous permettre de trouver le système qui s'adapte le mieux au bâtiment (figure 3).

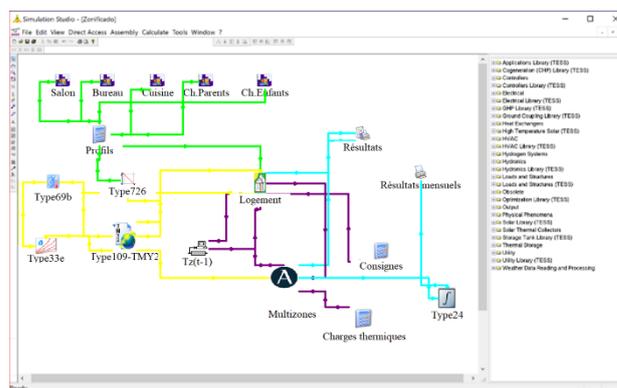


Figure 3. Installation du système multizone dans TRNSYS.

Pour configurer le comportement de l'unité lors de la modélisation d'une unité Inverter à détente directe, il faut tenir compte du fait que le mode de fonctionnement, les performances de l'unité et la consommation énergétique requise varient en fonction des conditions de fonctionnement. Pour ce faire, nous avons testé une de ces unités, ce qui a permis d'obtenir les différentes courbes de comportement caractéristiques et les coefficients correspondants.

L'unité Inverter est en mesure de régler son régime de fonctionnement de manière à adapter la production d'énergie thermique à la demande.

On entend par coefficient de charge partielle (PLR) le rapport entre la charge sensible demandée et la

charge maximale pouvant être fournie par l'unité dans les mêmes conditions de fonctionnement :

$$PLR = \frac{Q_{demande}}{Q_{sens,max}}$$

La figure 4 illustre les 3 régimes de fonctionnement d'une unité Inverter et l'évolution des performances de l'unité en fonction du coefficient de charge partielle.

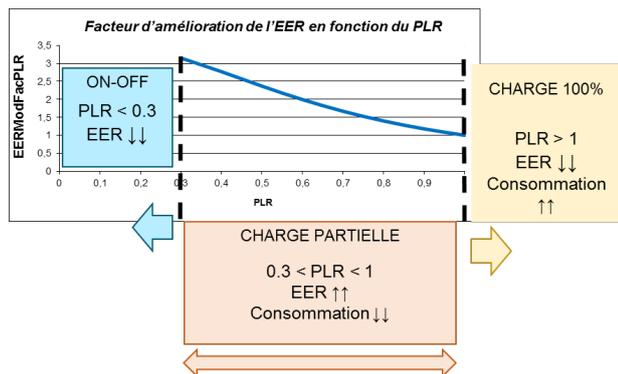


Figure 4. Schéma des différents régimes de fonctionnement d'une unité Inverter.

Les régimes de fonctionnement sont les suivants :

- Pour une PLR inférieure à 0,3, le débit massique de réfrigérant ne pouvant être arbitrairement réduit, il existe une vitesse minimale à laquelle l'équipement cesse de fonctionner comme système Inverter et passe en mode Tout / Rien.
- Pour une PLR comprise entre 0,3 et 1, l'unité fonctionne à charge partielle et obtient des valeurs EER (taux de rendement énergétique) élevés.
- Pour une PLR supérieure à 1, l'unité fonctionne à pleine charge, ce qui a pour effet de réduire considérablement sa performance.

4. Résultats. Étude de cas

Cette étude a pour but d'examiner la pertinence d'un système Inverter multizone doté des différentes configurations de contrôle proposées par Airzone, en le comparant à un système Inverter sans régulation par zone. Les critères de comparaison utilisés sont la consommation énergétique annuelle et le degré de confort fourni par chacun de ces systèmes. Cet alinéa sera donc divisé en deux parties : d'une part, on étudiera les différents degrés de confort fournis, et d'autre part,

la consommation énergétique annuelle associée à chaque système.

Étude de cas

La figure 5 représente le logement simulé par logiciel dans les villes de Paris, Nantes et Marseille, pour les zones climatiques H1a, H2b et H3, respectivement.

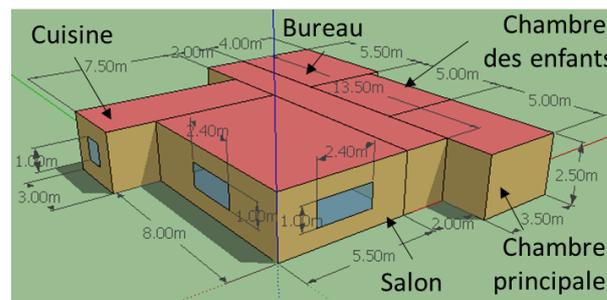


Figure 5. Plan du logement. Représentation en 3D, dimensions incluses.

Comme vous pouvez le constater, le logement dispose de cinq pièces dotées de chauffage et refroidissement (salon, cuisine, bureau, chambre principale et chambre des enfants), d'une surface de 121 m², le reste étant considéré comme une zone unique sans chauffage ni refroidissement. L'enveloppe du bâtiment est caractéristique des bâtiments français et conforme à la norme RT2012 [3]. Les matériaux de l'enveloppe du bâtiment et leurs propriétés thermiques figurent dans le tableau 1.

Couches	Épaisseur (mm)	Conductivité (W/m K)	Densité (kg/m ³)	Chaleur spécifique (J/kg K)
Paroi extérieure (U=0,24 W/m²K, 35 cm)				
Enduit	2	0,55	1125	864
Bloc béton	20	1,15	1700	1080
Th32	12	0,032	18	1450
BA10	1	0,25	825	1008
Cloison intérieure (U=0,658 W/m²K, 7 cm)				
BA13	1	0,325	825	1008
Laines de verre	5	0,039	9	1030
BA13	1	0,325	825	1008
Parois horizontales intérieures (U=2,326 W/m²K, 20 cm)				
Plancher unidirectionnel	20	1,176	1372	1008

Tableau 1. Enveloppe du bâtiment.

Les fenêtres sont à double vitrage (4/16/4, $U=1,14 \text{ W/m}^2\text{K}$ et facteur solaire de 0,51).

Pour déterminer le calcul des apports internes, on applique le profil d'occupation type des bâtiments résidentiels : occupants, éclairage et occupants, éclairage et autres. (tableau 2).

Zone	Salon	Cuisine	Bureau	Ch. Parents	Ch. Enfants
0h00 7h00	0/0/0	0/0/300	0/0/0	2/0/0	2/0/0
7h00 7h30	0/0/0	1/5/300	0/0/0	2/0/0	1/0/0
7h30 8h00	0/0/0	1/5/770	0/0/0	1/5/0	1/0/0
8h00 10h00	1/5/100	1/5/770	0/0/0	1/5/0	0/0/0
10h00 16h00	1/0/100	1/0/300	0/0/0	1/0/250	0/0/0
16h00 17h00	2/0/100	1/0/300	0/0/0	0/0/0	0/0/0
17h00 19h00	1/5/100	1/5/300	1/5/250	0/0/0	0/0/0
19h00 20h00	1/5/100	1/5/300	0/0/0	0/0/0	0/0/0
20h00 20h30	3/5/100	1/5/770	0/0/0	0/0/0	0/0/0
20h30 23h00	4/5/100	0/0/300	0/0/0	0/0/0	0/0/0
23h00 24h00	0/0/0	0/0/300	0/0/0	2/0/0	2/5/0

Tableau 2. Profil d'utilisation du logement (niveau d'activité ISO 7730:2005 [4]).

Les débits de ventilation par air extérieur sont appliqués selon la norme [5], en établissant un taux de 0,6 renouvellement/heure dans toutes les pièces, à l'exception de la cuisine, dont le taux est de 5,7 renouvellements/heure.

Calcul des charges thermiques. Dimensionnement des unités

Le dimensionnement de l'unité s'effectue en tenant compte du degré de confort défini par l'utilisateur, qui se situe entre 23 °C (T_{inf}) et 24 °C (T_{sup}).

Dans un système **sans régulation par zone**, le réseau de distribution ne dispose d'aucun élément qui puisse traiter les besoins de chaque zone de manière indépendante. Aussi, pour garantir la charge thermique maximale dans toutes les zones, la puissance nominale de l'unité doit être égale ou supérieure à la somme des charges de pointe

sensibles des zones, même si elles ne sont pas simultanées.

Au contraire, dans un **système multizone**, le réseau de distribution d'air dispose de registres motorisés permettant de **régler l'apport thermique du système en fonction de la demande de chaque zone**, de manière indépendante. Ainsi, l'unité doit être dimensionnée en tenant compte de la charge sensible simultanée maximale des zones, c'est-à-dire que pour chaque intervalle de temps, on additionne les charges de l'ensemble des zones et l'unité est dimensionnée à partir de la charge maximale annuelle obtenue pour le refroidissement et le chauffage.

Le tableau 3 présente les charges de pointe et les charges simultanées des trois villes.

Système		Sans régulation par zone	Multizone
VILLE	CHARGE (W)	DE POINTE	SIMULTANEE
Paris	Q_{REF}	7646	6129
	Q_{CH}	- 7793	- 7883
Nantes	Q_{REF}	6891	5505
	Q_{CH}	- 6022	- 5929
Marseille	Q_{REF}	8199	6980
	Q_{CH}	- 4383	- 4274

Tableau 3. Résumé des charges thermiques.

Les unités sont dimensionnées en fonction des charges obtenues, d'après les différents modèles de la gamme Sky Air Seasonal Classic de Daikin [6], comme résumé dans le tableau 4.

Ville/Unité	Multizone	Sans régulation par zone
Paris	BQ60D	BQ60D
Nantes	BQ60D	BQSG71D
Marseille	BQSG71D	BQSG100D

Tableau 4. Dimensionnement des unités.

Ainsi, pour le logement sélectionné, on en déduit que **le choix d'un système multizone**, dans deux villes sur trois, **implique une réduction de la puissance de l'unité sélectionnée**. Si l'on choisissait un modèle supérieur, l'unité s'en trouverait surdimensionnée et le régime Inverter ne serait pas pleinement mis à profit. Pour rappel, le débit massique de réfrigérant ne pouvant être

arbitrairement réduit, il existe une vitesse minimale à laquelle l'équipement cesse de fonctionner comme système Inverter et passe en mode Tout / Rien. Cette mesure de réduction de la puissance de l'unité entend éviter ce genre de situations.

Résultats. Confort thermique

Évaluation du confort thermique

Les résultats de confort portent exclusivement sur la comparaison entre la température de la zone du système multizone et celle du système sans régulation par zone.

Le contrôle de la température de la zone dans un **système sans régulation par zone** dépend de la demande émanant du salon, qui est la zone principale où est situé le thermostat de l'unité ; elle s'adapte en fonction de la consigne de température établie dans cette pièce, tandis que le comportement thermique des autres pièces dépend des conditions spécifiques (charges internes, gain solaire, etc.) à cet instant précis. Contrairement au système multizone qui permet de régler la vitesse du ventilateur à l'aide de l'algorithme Q-Adapt, dans un système sans régulation par zone, la vitesse du ventilateur varie en fonction de la différence de température entre le point de consigne de la zone principale et la température de cette zone. La figure 6 montre un exemple avec un ventilateur à 3 vitesses.

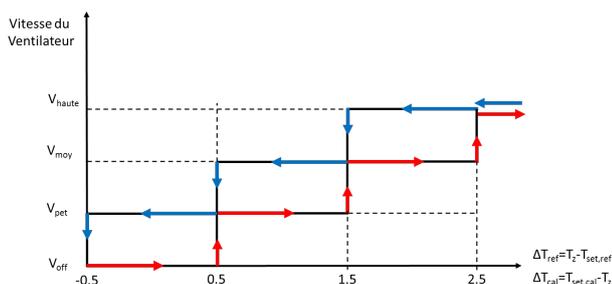


Figure 6. Sélection de la vitesse du ventilateur dans un système sans régulation par zone.

Contrairement au système sans régulation par zone, le **système multizone** permet à l'utilisateur de définir la consigne de température souhaitée dans chacune des zones et de choisir le mode de fonctionnement entre chauffage ou refroidissement. D'après la température de consigne, le système établit un **intervalle de confort de ± 0,5 °C**, de sorte qu'une zone atteint le confort lorsque la température de celle-ci est située dans l'intervalle défini. Ceci permet d'éviter que les actionneurs ne changent

constamment de position face à de légères variations de température. La figure 7 illustre le comportement classique de la température de la zone lors d'un contrôle régulé par zone, en mode chauffage et en mode refroidissement.

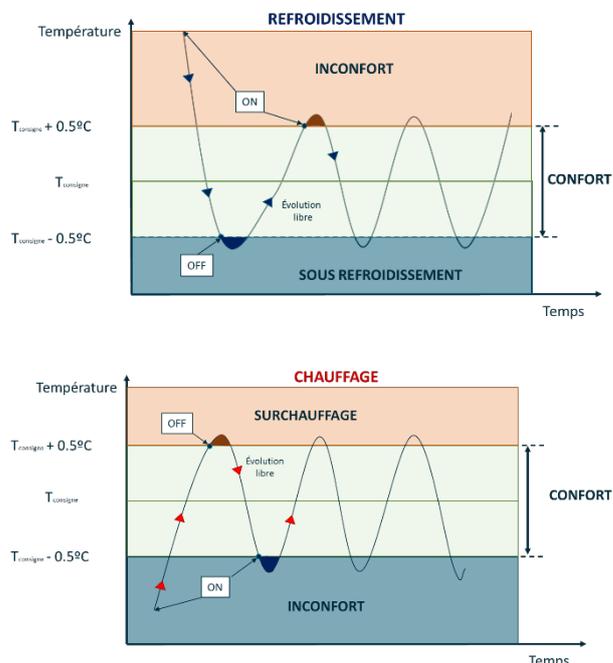


Figure 7. Évaluation du confort thermique dans un système multizone.

Afin de pouvoir **comparer le système multizone** et le système sans régulation par zone, il faut comparer le pourcentage d'heures du mode chauffage et du mode refroidissement durant lesquelles chaque système offre un intervalle de confort de ± 1 °C (figures 8 et 9).

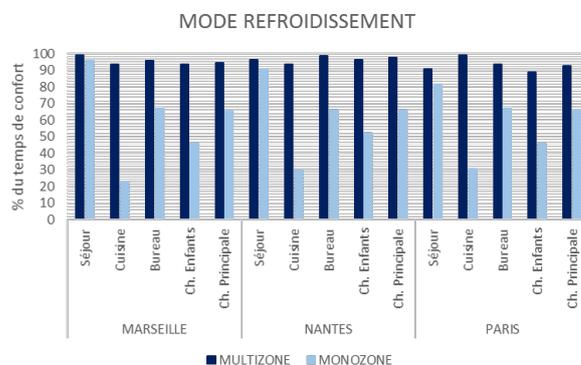


Figure 8. Comparaison du pourcentage d'heures de confort en mode refroidissement.

Les résultats montrent que, dans les trois villes, le système sans régulation par zone est capable de

maintenir le confort dans le salon, mais le pourcentage d'heures de confort diminue considérablement dans les autres pièces, car le système n'est pas en mesure d'adapter la puissance de refroidissement à chacune des zones en fonction de leur demande thermique.

En revanche, le système multizone est capable de maintenir le confort dans toutes les zones de manière indépendante, en obtenant des valeurs de confort supérieures à 90 %.

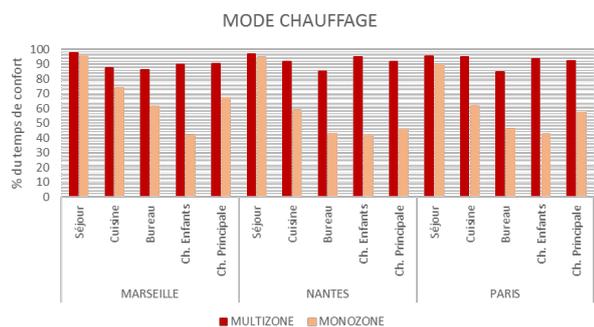


Figure 9. Comparaison du pourcentage d'heures de confort en mode chauffage.

Les conclusions pour le mode chauffage (figure 9) sont similaires à celles du cas précédent, c'est-à-dire que le système sans régulation par zone obtient un confort élevé dans le salon, mais qui diminue dans les autres pièces du bâtiment. Cependant, le taux de confort obtenu dans la zone « bureau » avec le système multizone est inférieur à 90 %. Cet effet est dû au fait est dû au faite de surmonter une forte inertie thermique due au grand nombre d'heures sans chauffage ni refroidissement.

Étiquette de confort thermique. Écart par rapport au point de consigne

Pour tenir compte du niveau d'écart thermique entre la zone et la consigne de confort, on définit une échelle dite « de confort ». De même que le classement énergétique, cette échelle est désignée selon un ordre alphabétique allant de A à G — A étant la qualification optimale et G la moins favorable —, d'après la valeur de l'indicateur de confort (IC) (Indicateur crée par Airzone selon des résultats expérimentaux) obtenu dans chaque zone ou dans le bâtiment, ce qui permet de réduire le confort en fonction de la différence existant entre la température de la zone et la température de consigne. La figure 10 illustre l'IC (%) du bâtiment pour divers écarts de consigne, aussi bien pour le système multizone que pour le système sans régulation par zone.

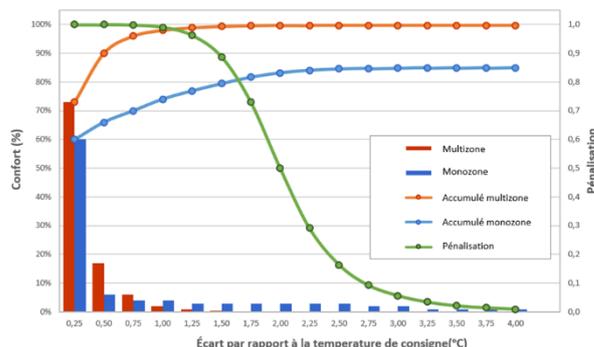


Figure 10. Évaluation de l'indicateur de confort (IC).

L'IC est calculé à l'aide de l'équation suivante :

$$IC(\%) = \sum_{i=1}^{N_{\text{écarts}}} Confort_{\text{Bâtim}, \Delta T = \text{écart}_i} \cdot Pénalisation_i$$

Confort_{Bâtim, ΔT} étant la variable qui permet de mesurer l'écart et la Pénalisation (courbe verte de la figure 10) la fonction qui permet de corriger le confort en fonction de t_i , soit l'écart i par rapport à la consigne, c'est-à-dire la différence entre la température de la zone et la température de consigne.

L'échelle finale ainsi obtenue est indiquée dans la figure 11.

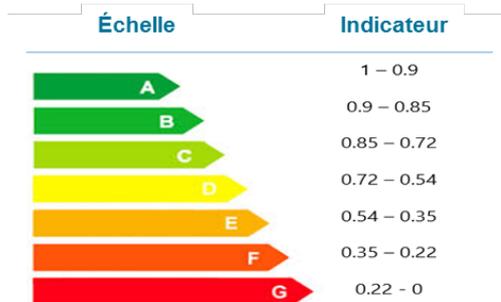


Figure 11. Échelle de confort en fonction de l'indicateur de confort (IC).

La comparaison de chaque zone du bâtiment en termes de confort vous est présentée ci-dessous ; celle-ci est établie d'après l'échelle de confort, pour la ville de Paris.

La figure 12 affiche les résultats relatifs à l'étiquette de confort de la zone du salon. La comparaison entre le système multizone (ZON) et le système sans régulation par zone (NOZ) s'effectue sur une base mensuelle.

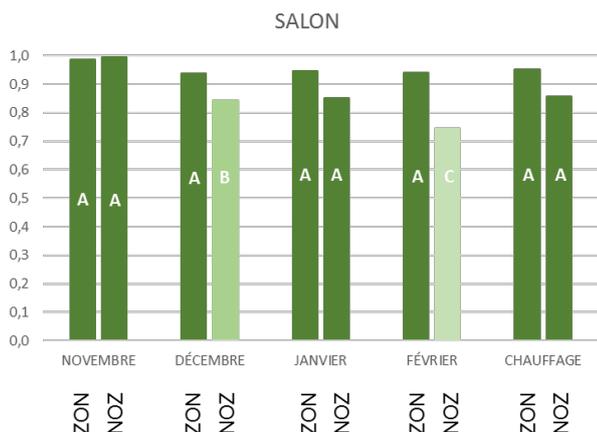


Figure 12. Comparaison des classes de l'étiquette de confort du salon, en mode chauffage.

On remarque que, pour le salon, les différences de classe énergétique entre le système multizone et le système sans régulation par zone sont très faibles, car dans le système sans régulation, le thermostat principal est situé dans le salon, ce qui permet de maintenir le confort dans cette pièce sans problème. Voici, à présent, la comparaison établie pour les autres zones du bâtiment (figure 13).

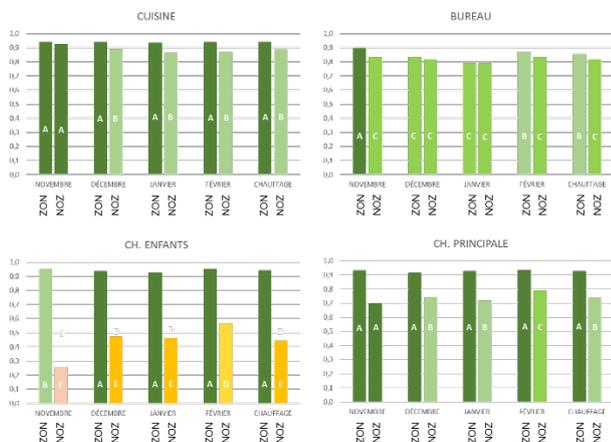


Figure 13. Comparaison des classes de l'étiquette de confort des autres zones du bâtiment, en mode chauffage.

Les résultats montrent d'importantes différences de confort entre les deux systèmes. Avec le système sans régulation par zone, la classe A de l'étiquette de confort n'est obtenue dans aucune zone du bâtiment, tandis qu'avec le système multizone, l'ensemble du bâtiment obtient un niveau de confort excellent noté classe A, et un IC supérieur à celui obtenu sans la régulation par zone.

Enfin, la figure 14 montre le confort moyen dans l'ensemble bâtiment.

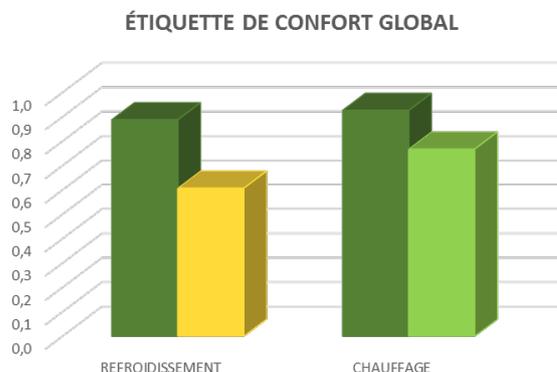


Figure 14. Comparaison des classes de l'étiquette de confort de l'ensemble du bâtiment.

Avec un système multizone, l'étiquette de confort obtenue pour l'ensemble du bâtiment est notée classe A, aussi bien en mode chauffage qu'en mode refroidissement, tandis que le système sans régulation par zone est noté classe C en mode chauffage et classe D en mode refroidissement.

Paramètres de confort : PMV et PPD

On effectue une comparaison des paramètres PPD et PMV d'après la norme ISO 7730:2005 [4] entre un système multizone et un système sans régulation par zone dans des conditions standard de confort, en tenant compte de l'habillement, du métabolisme et de la vitesse relative de l'air. Selon cette norme, les valeurs recommandées pour assurer un confort thermique global à 90 % des utilisateurs sont celles indiquées au tableau 5.

CLASSE	PPD (%)	PMV
A	< 6	- 0,2 < PMV < 0,2
B	< 10	- 0,5 < PMV < 0,5
C	< 15	- 0,7 < PMV < 0,7

Tableau 5. Classes d'environnement thermique selon le PPD et le PMV.

La figure 15 montre la comparaison des valeurs recueillies pour le paramètre PPD, en indiquant la classe de confort obtenue.

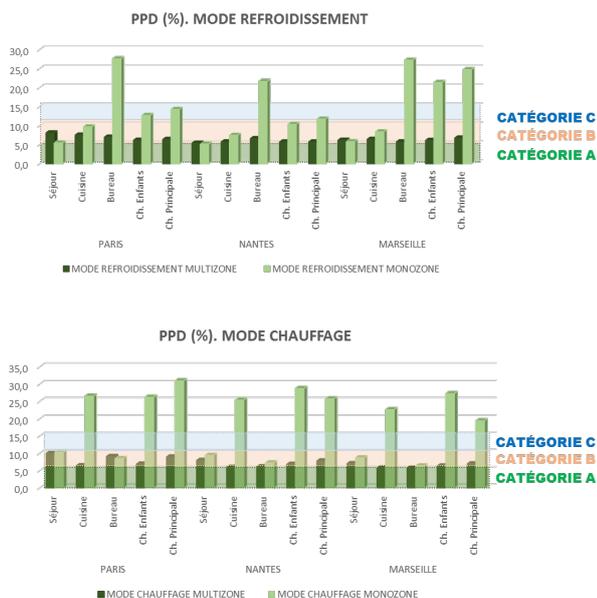


Figure 15. Comparatif de l'indice PPD.

Les résultats pour l'indice PMV sont indiqués dans le tableau 6 au moyen d'un code couleur pour permettre une comparaison plus rapide des résultats.

Ville	ZONE	PMV			
		MODE REFROIDISSEMENT		MODE CHAUFFAGE	
		MULTIZONE	MONOZONE	MULTIZONE	MONOZONE
PARIS	Séjour	-0.2	-0.1	0.4	0.5
	Cuisine	-0.2	-0.3	0.2	1.0
	Bureau	-0.3	-1.0	0.5	0.4
	Ch. Enfants	-0.1	-0.3	0.3	1.6
	Ch. Principale	-0.1	-0.5	0.4	1.1
NANTES	Séjour	-0.1	-0.1	0.3	0.5
	Cuisine	0.0	-0.1	0.1	1.0
	Bureau	-0.2	-0.9	0.1	0.2
	Ch. Enfants	0.0	-0.3	0.2	1.5
	Ch. Principale	0.0	-0.5	0.3	1.0
MARSEILLE	Séjour	0.1	-0.2	0.3	0.4
	Cuisine	0.1	-0.3	0.1	0.9
	Bureau	0.1	-1.2	0.1	0.1
	Ch. Enfants	0.1	-0.8	0.1	1.2
	Ch. Principale	0.2	-0.9	0.2	0.8

Tableau 6. Comparatif de l'indice PMV.

Dans un système multizone, les exigences de confort minimal d'une classe B sont satisfaites avec un PPD inférieur à 10 % et un PMV inférieur à 0,5, dans chacune des zones d'habitation pour les trois villes analysées ; en revanche, le système sans régulation par zone permet d'obtenir de bons résultats dans la zone du salon, mais les autres zones sont exposées soit à un sous-refroidissement (en mode refroidissement) soit à un surchauffage (en mode chauffage).

Résultats. Consommation énergétique

Après l'évaluation du confort thermique, l'étape suivante consiste à comparer la consommation énergétique d'un système multizone et celle d'un système sans régulation par zone. Les stratégies de contrôle et la gestion de l'installation de chauffage et refroidissement utilisés par le système Airzone permettent de réaliser des économies d'énergie et, donc, une réduction des émissions de carbone. La figure 16 montre les résultats obtenus pour la comparaison de ces systèmes dans les différentes villes étudiées.

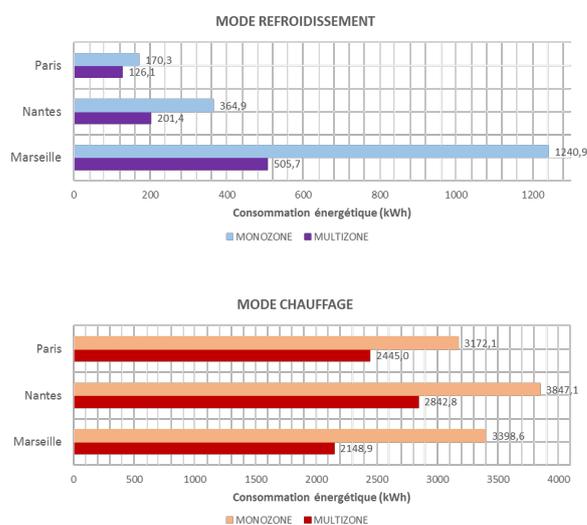


Figure 16. Comparaison de la consommation énergétique en mode refroidissement et en mode chauffage.

Dans tous les cas, **la consommation** en termes de chauffage et de refroidissement **est plus faible dans un système multizone** que dans un système sans régulation par zone. Les valeurs obtenues se situent dans les limites maximales de consommation établies par la RT2012[3], selon la région climatique de chaque zone. Les raisons sont expliquées en détail dans ce rapport : ceci est dû à la **réduction de la puissance thermique** du système de chauffage et refroidissement, au **réglage de la vitesse du ventilateur** et à **l'adaptation de la température de consigne** de l'unité grâce à Eco-Adapt. Les différences de consommation se reflètent clairement dans les économies réalisées dans chacun des cas, comme l'illustre la figure 17.

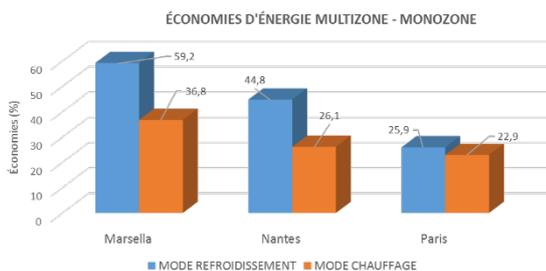


Figure 17. Pourcentage de la consommation énergétique en mode chauffage et en mode refroidissement.

Dans les trois villes étudiées, on obtient d'importantes économies en termes de chauffage et de refroidissement. C'est le cas, en particulier, dans la ville de Marseille, dans la ville de Marseille, où la consommation énergétique est réduite jusqu'au 59.2% en mode refroidissement et 36.8% en mode chauffage. À Paris, les économies en chauffage et refroidissement sont de l'ordre de 23 à 25 %, tandis qu'à Nantes, elles s'élèvent à 45 % pour le mode refroidissement et à 26 % pour le mode chauffage.

Enfin, on évalue l'économie d'énergie potentielle de l'algorithme Eco-Adapt dans les trois villes analysées. Ces résultats sont présentés sous forme de graphique à la figure 18, ce qui permet de voir comment évolue l'amélioration de l'efficacité énergétique des systèmes Inverter multizones étudiés.

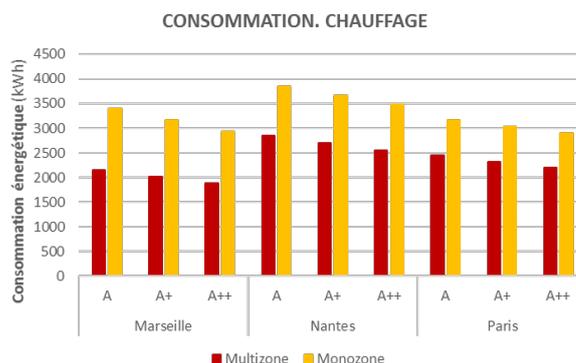
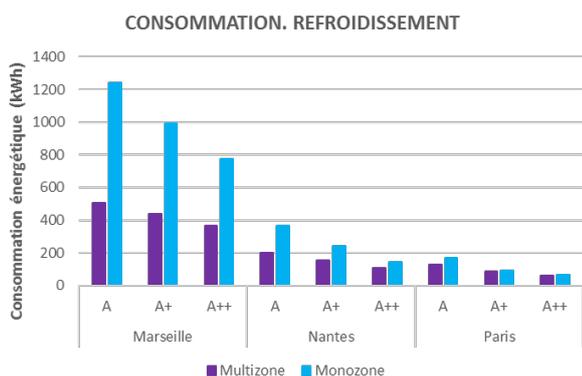


Figure 18. Comparatif de la consommation énergétique en fonction de l'Eco-Adapt.

L'application de l'algorithme Eco-Adapt permet de réduire la consommation énergétique quand la température de consigne est augmentée en mode refroidissement ou diminuée en mode chauffage. Les économies sont de l'ordre de 22 à 37 % en mode chauffage ; en mode refroidissement, la consommation de Paris et de Nantes étant faible, on obtient des différences similaires, tandis qu'à Marseille, où la consommation est élevée, on obtient des économies de 52 à 59 %.

5. Conclusions

Cette étude a pour objectif d'analyser en détail le comportement du système multizone de contrôle du chauffage et refroidissement Airzone et de le comparer à un système sans régulation par zone. Ce document comprend plusieurs parties qui décrivent le système multizone et ses algorithmes de contrôle et expliquent la modélisation de l'unité à l'aide des courbes de comportement à charge partielle obtenues par test, ainsi que l'aménagement du modèle d'unité à détente directe avec contrôle Airzone sous TRNSYS, qui est le logiciel de simulation utilisé pour cette étude.

Les conclusions finales de l'étude décrivent les principaux avantages obtenus lors des différentes comparaisons effectuées entre un système multizone et un système sans régulation par zone en termes de confort thermique, de consommation énergétique et d'énergie thermique. Voici les différentes conclusions :

1. L'utilisation d'un système Inverter avec régulation par zone plutôt qu'un système sans régulation par zone entraîne une **réduction de l'énergie thermique à combattre** et permet, par conséquent, l'utilisation d'équipements à puissance thermique plus faible. Ainsi, à Nantes,

il a été possible de remplacer le modèle BQSG71D de Daikin par le modèle BQ60D, et à Marseille, de remplacer le modèle BQSG100D par le BQSG71D. Par conséquent, un système Inverter avec régulation par zone permet de réduire le coût initial investi dans l'unité de chauffage et refroidissement.

2. Le système multizone surveille la température de chaque zone du bâtiment et permet à l'utilisateur de régler ses préférences de confort pour chaque pièce. Il a été démontré que le système multizone offre un nombre d'heures de **confort thermique** beaucoup plus élevé qu'un système sans régulation par zone.
 - ✓ Une première analyse a permis d'établir une comparaison avec **un intervalle de confort de $\pm 1^{\circ}\text{C}$** entre les villes de Paris, Nantes et Marseille. Les résultats montrent que, dans les trois villes, le système sans régulation par zone est capable de maintenir le confort dans le salon, mais le pourcentage d'heures de confort diminue considérablement dans le reste des pièces. En revanche, le système multizone est capable de maintenir le confort dans toutes les zones de manière indépendante.
 - ✓ Nous introduisons la notion d'**étiquette de confort**, utilisée pour évaluer le confort thermique en corrigeant, dans un délai précis, le degré de confort lorsque la température s'écarte de trop de la température de consigne définie. Dans la ville de Paris, avec un système multizone, l'étiquette de confort obtenue pour l'ensemble du bâtiment est notée classe A, aussi bien en mode chauffage qu'en mode refroidissement, tandis que le système sans régulation par zone est noté classe C en mode chauffage et classe D en mode refroidissement.
 - ✓ Enfin, pour conclure l'étude de confort, on calcule les **paramètres PPD et PMV**. Dans un système multizone, les exigences de confort minimal d'une classe B sont satisfaites avec un PPD d'environ 10 % et un PMV inférieur à 0,5, dans chacune des zones d'habitation pour les trois villes analysées ; en revanche, le système sans régulation par zone permet d'obtenir de bons résultats dans la zone du salon, mais les autres zones sont exposées soit à un sous-refroidissement (en mode refroidissement) soit à un surchauffage (en mode chauffage).
3. La comparaison de la consommation énergétique d'un système multizone et d'un système sans régulation par zone a permis d'établir d'importantes **économies d'énergie**.

- ✓ Dans les trois villes étudiées, on obtient d'importantes économies en termes de chauffage et de refroidissement. C'est le cas, en particulier, dans la ville de Marseille, qui réalisent des économies de 59,2 % en mode refroidissement, et de 36,8 % en mode chauffage. À Paris, les économies en chauffage et refroidissement sont de l'ordre de 23 à 25 %, tandis qu'à Nantes, elles s'élèvent à 45 % pour le mode refroidissement et à 26 % environ pour le mode chauffage.
- ✓ Le résultat le plus important découlant de l'application de l'algorithme Eco-Adapt est qu'il est possible de réduire la consommation énergétique quand la température de consigne est augmentée en mode refroidissement ou diminuée en mode chauffage. Ceci permet de réaliser des économies de 22 à 37 % sur le chauffage, dans les trois villes, et de 52 à 59 % sur le refroidissement, dans la ville de Marseille, dont la consommation en termes de refroidissement est la plus élevée.

Références

- [1] Commission européenne. Directive 2012/27/UE du Parlement européen et du Conseil du 25 octobre 2012 relative à l'efficacité énergétique. Journal officiel des Communautés européennes (2012), L 315/1.
- [2] TRNSYS <http://sel.me.wisc.edu/trnsys/>. (Consulté le 02/01/18).
- [3] Réglementation Thermique 2012 (RT2012) (www.rt-batiment.fr). (Consulté le 12/10/2018).
- [4] Norme 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.
- [5] Arrêté du 24 mars 1982 relatif à l'aération des logements.
- [6] DAIKIN Technical Document, Split Sky Air Seasonal Classic BQD. DAIKIN Industries Ltd. 2018.



Parc Tertiaire Silic · Immeuble Panama
45 rue Villeneuve
94573 Rungis CEDEX (France)

+33 1 84 88 46 95 · airzonefrance.fr

projets@airzonefrance.fr



Cet article ne peut être mentionné ou inclus, en tout ou en partie, dans aucun document ou dans tout autre moyen de diffusion sans le consentement écrit exprès de ses auteurs, du Groupe de recherche GEUMA de l'Université de Málaga et de l'Energy Area de la société CORPORACIÓN EMPRESARIAL ALTRA, SL, avec le numéro NIF B-92611102. Par conséquent, cet article ne doit pas être utilisé à d'autres fins ni distribué à des tiers.