Analyse de l'impact des stratégies de contrôle sur un réseau de distribution

Table de Matières - Chapitre V

5. Analyse de l'impact des stratégies de contrôle sur le réseau de distribution 176

5.1. Coupure simple 176

5.2. Coupure foisonnée des bâtiments 177

5.3. Coupure pendant 2 heures avec condition de bande morte 179

5.4. Coupure sans inconfort 181

5.5. Coupure avec Préchauffage 181

5.6. Passage en mode-éco 182

5.7. Analyse des effets énergétiques 183

5.8. Conclusion – Analyse de l'impact des stratégies de contrôle sur le réseau de distribution 186

5. Analyse de l'impact des stratégies de contrôle sur le réseau de distribution

Une fois analysés les cas d'application particuliers des stratégies de contrôle, on analyse maintenant les effets de l'application des différentes stratégies sur la courbe de charge au niveau du réseau de distribution.

Si les données d'un parc sont connues, les simulations représentant le comportement de ce parc de bâtiments pourront être effectuées avec plus de précision. Dans notre étude, on n'avait pas de données sur un parc de distribution, c'est pourquoi on a simulé un groupe de 250 bâtiments, pendant les mois de janvier et février, pour la région de Trappes (*données Meteonorm [Meteotest, 2006]*). Les caractéristiques de ces bâtiments ont été choisies selon la distribution présentée sur la Figure 4-3.

A chaque simulation, afin d'obtenir une réponse différente, les paramètres suivants sont modifiés de +- 5% :

- Epaisseur des murs internes
- Débit de ventilation
- Taille des fenêtres
- Gains internes

De plus, la capacité du nœud d'air est modifiée entre +- 25%. L'orientation du bâtiment est elle aussi modifié.

On va d'abord analyser les effets de chaque stratégie de contrôle sur la courbe de charge. Ensuite, on quantifiera les impacts en termes d'énergie et en termes de puissance appelée lors de la mise en route du chauffage.

5.1. Coupure simple

La figure suivante montre la courbe de charge agrégée dans le cas de la coupure simple.

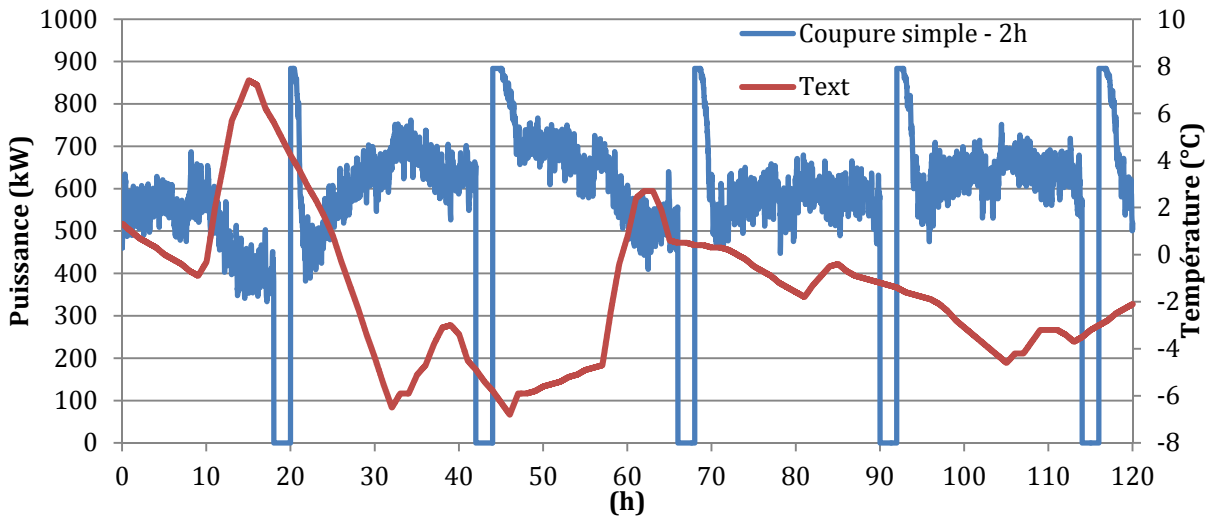

Figure 5-1 – Effets sur la courbe de charge agrégée - Coupure simple pendant 2 heures

Comme pour l'analyse à l'échelle du bâtiment en 4.3.1, on peut voir que la puissance est effacée. Lors de la mise en route des équipements de chauffage, chaque bâtiment doit faire remonter la température jusqu'à la température de consigne et donc le chauffage va fonctionner à pleine puissance. Du fait qu'après la coupure tous les bâtiments sont mis en route au même instant, il y a une perte de foisonnement caractéristique dans un groupe de bâtiments. Cette perte de foisonnement après une coupure et les pics de consommation résultants est connue comme l'effet « *Cold load Pickup ».* Cette problématique a notamment été étudiée dans les travaux de [ORPHELIN, 1999] et [Agneholm & J.Daalder, 2000].

Agneholm et Daalder [Agneholm & J.Daalder, 2000] montrent que cet effet est grandement influencé par le temps de coupure et par la température extérieure. Une des manières de réduire l'effet de « *cold load pick-up* » c'est d'utiliser des coupures tournantes ou foisonnées. Dans la suite, on présentera des résultats pour les coupures foisonnées.

La stratégie de coupure avec arrêt de la ventilation donne des résultats identiques à la coupure simple. La seule différence c'est que le recouvrement devient un petit peu plus faible (-2,5 %). Les pics de consommation après la coupure restent pratiquement identiques. Pour ces raisons, l'application de la stratégie « coupure avec arrêt de ventilation » sur un parc de logements n'est pas présentée davantage.

5.2. Coupure foisonnée des bâtiments

Avec l'objectif de réduire les appels de puissance après la coupure, on a réalisé des simulations en essayant de foisonner le signal de coupure.

La stratégie se base sur le même principe que la coupure simple, mais au lieu de couper tous les équipements de chauffage en même temps, on coupe par exemple la moitié des bâtiments pendant la première heure et la deuxième moitié pendant la deuxième heure. Ainsi l'effet de « *Cold load pickup* » ne sera pas très accentué.

A cause des temps de coupure plus faibles, les impacts sur le confort thermique chez les occupants sont réduits par rapport à la coupure simple. Cependant cette stratégie ne doit pas être comparée à la coupure simple au niveau local (à l'échelle d'un bâtiment) car le temps de coupure total (entre 18 et 20heures) unitaire est moins élevé.

Le foisonnement peut être aussi appliqué aux autres stratégies de contrôle analysées dans cette étude.

On a étudié deux cas de foisonnement :

1- *Couper la moitié des équipements de chauffage de 18-19h et la deuxième moitié de 19-20h*
2- *Couper la moitié des équipements de chauffage pendant les premières 30 minutes et les rallumer pendant les 30 minutes suivantes. Ce cycle est répété deux fois (entre 18 heures et 20 heures).*

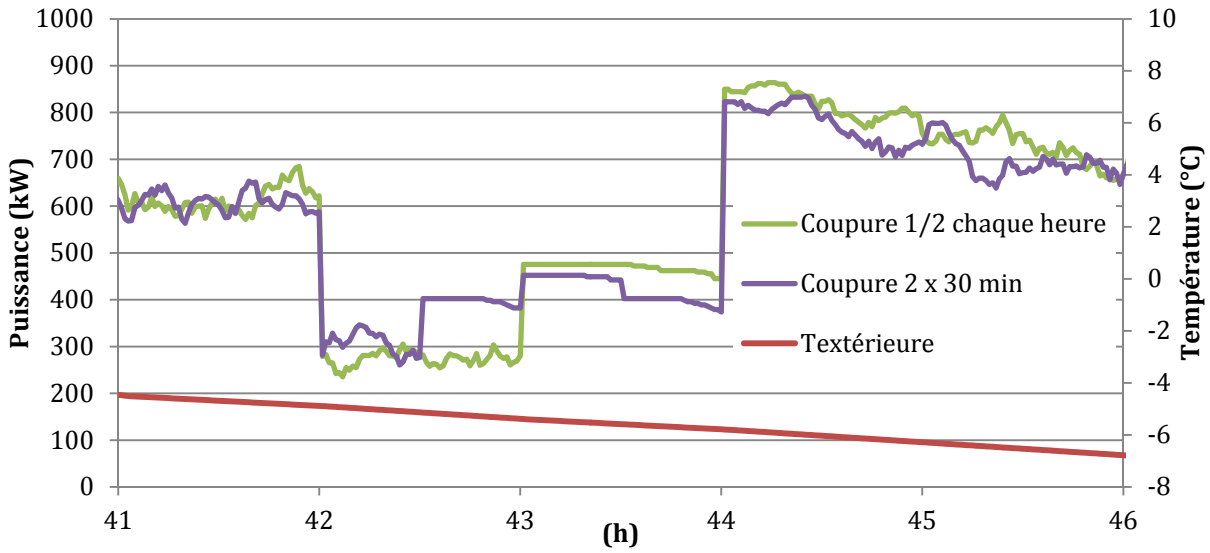

Figure 5-2 – Effets sur la courbe de charge agrégée –pour les deux types de foisonnement

Dans la Figure 5-2 on peut voir les effets des coupures avec deux types de foisonnement.

Pour le premier type de foisonnement, on observe une réduction de la puissance pendant la première heure, correspondant à la coupure de la moitié des bâtiments. Lors du début de la deuxième heure, les équipements de chauffage qui étaient éteints sont allumés. Les autres bâtiments sont à leur tour coupés.

Ainsi pendant la deuxième heure, la réduction de puissance de la deuxième moitié des équipements de chauffage est réduite à cause de la relance de la première moitié.

Le deuxième cas de foisonnement va permettre dans la première demi-heure une réduction équivalente au premier type. A la fin de la première demi-heure, une partie de la puissance effacée par la deuxième moitié des bâtiments est compensée par la surconsommation des bâtiments précédemment coupés. Cet effet est moins visible dans les deux demi-heures suivantes, où la puissance reste sensiblement stable et avec une valeur plus réduite que la valeur de la puissance initiale (environ 175 kW).

Un tel déploiement des stratégies de coupure crée une réduction de l'ensemble des effets énergétiques. Cependant, l'objectif de ces stratégies est la réduction de la puissance appelée après la coupure. La figure suivante compare les puissances appelées après la coupure, pour les deux cas de foisonnement et pour la coupure simple.

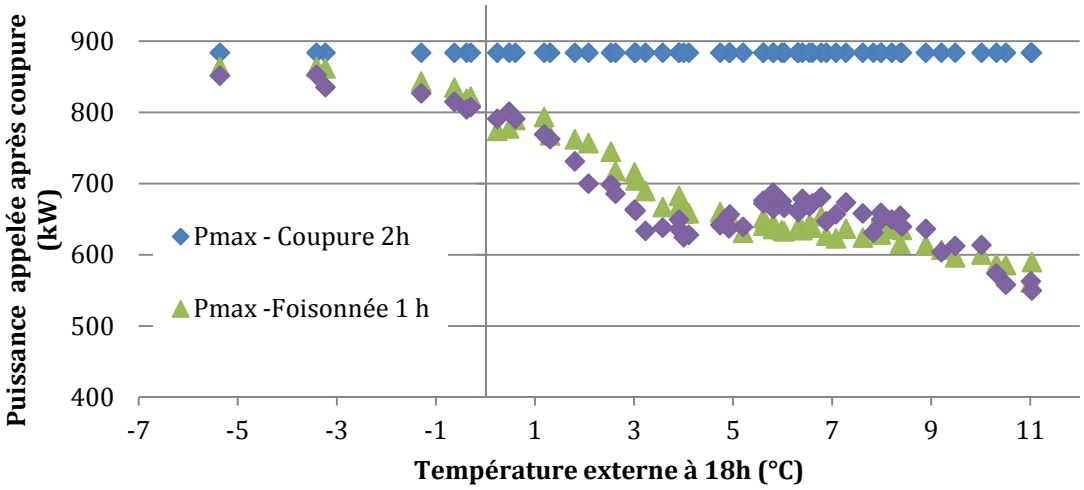

Figure 5-3 – Puissance appelée après la coupure- Coupure simple et coupures foisonnées

Pour des températures douces (jusqu'à 3 °C) les puissances appelées sont environ 25 % plus faibles que pour la coupure simple. Cependant, pour des températures extérieures plus faibles, la puissance appelée après coupure pour les stratégies avec foisonnement augmente.

Quand les températures extérieures sont proches de la température de dimensionnement, seules quelques bâtiments n'ont pas le chauffage allumé après le signal de contrôle (après 20 h) et donc la puissance agrégée devient très proche de la coupure simple. Ainsi, on peut conclure que la stratégie de foisonnement ne permet pas de réduire les pics de puissance, après la coupure, pour ces températures

5.3. Coupure pendant 2 heures avec condition de bande morte

Une autre stratégie simulée, dans l'étude présente, est la coupure avec condition d'effacement. Avec l'application de cette stratégie, il y a un décalage des consommations de quelques minutes jusqu'à une demi-heure en moyenne. La figure suivante montre les résultats de simulation d'un groupe de bâtiments simulé avec cette stratégie et avec la coupure simple pour un jour très froid.

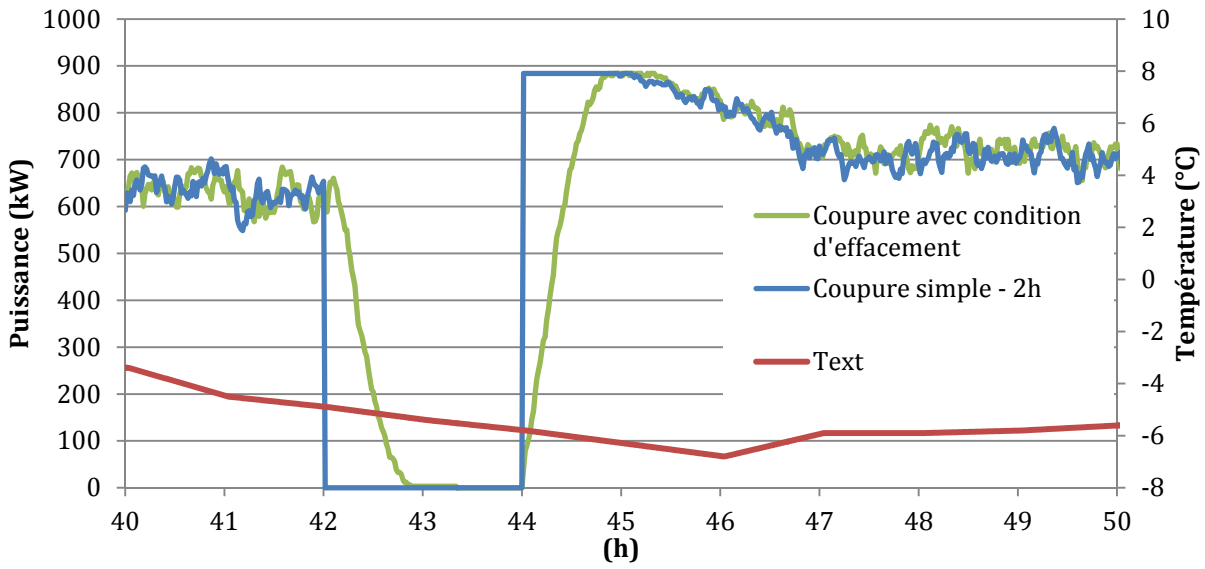

Figure 5-4 – Effets sur la courbe de charge agrégée - Comparaison de la coupure simple avec la coupure avec condition de bande morte

Les résultats montrent que l'effacement avec condition de bande morte permet que lors de la mise en route des chauffages (après la coupure) la remontée en puissance soit plus douce. Cependant, après le signal de coupure (heure 42), seuls quelques bâtiments seront effacés. L'effacement total de la puissance se réalise seulement 40 minutes après le signal de coupure (42 h).

Après la coupure, le temps à pleine puissance est réduit de presqu'une heure, mais la puissance nominale du parc simulé est atteinte.

Pour des températures extérieures plus élevées, cette stratégie permet que la puissance appelée soit plus réduite que la puissance nominale du groupe de bâtiments simulés. Un exemple est montré dans la figure suivante.

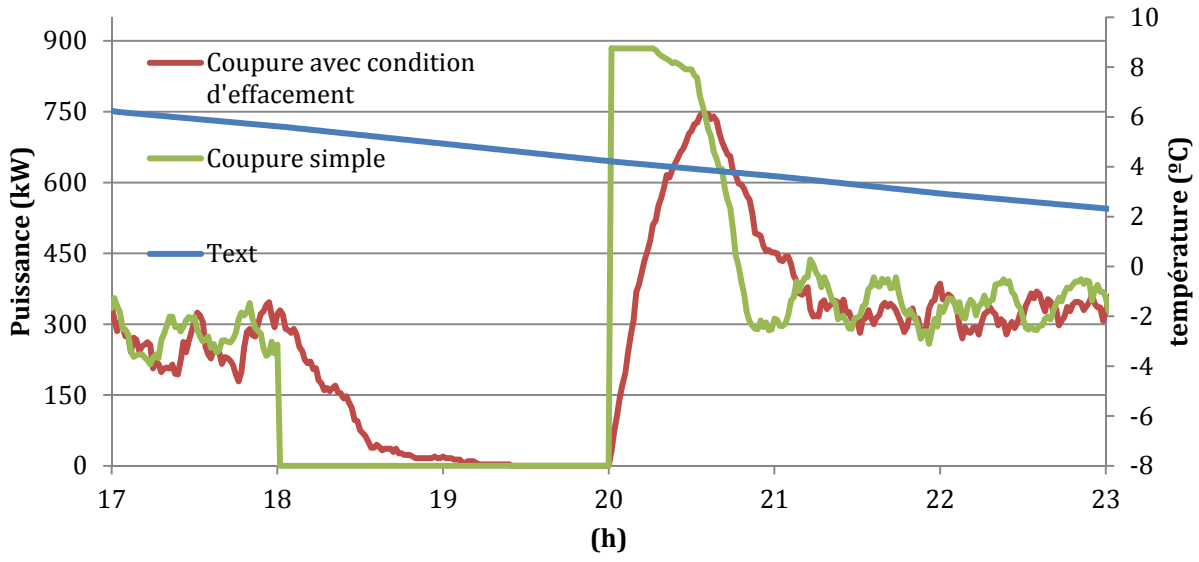

Figure 5-5 – Effets sur la courbe de charge agrégée - Coupure avec condition d'effacement pour une température extérieure positive

Sur la Figure 5-5, on peut voir que pour des températures extérieures plus élevées, la puissance maximale appelée est réduite d'environ 150 kW.

5.4. Coupure sans inconfort

En appliquant cette stratégie, le temps de coupure sera différent pour chaque bâtiment. Cette stratégie va ainsi créer un foisonnement automatique dans le fonctionnement des équipements de chauffage. La figure suivante montre les effets sur la courbe de charge de cette stratégie.

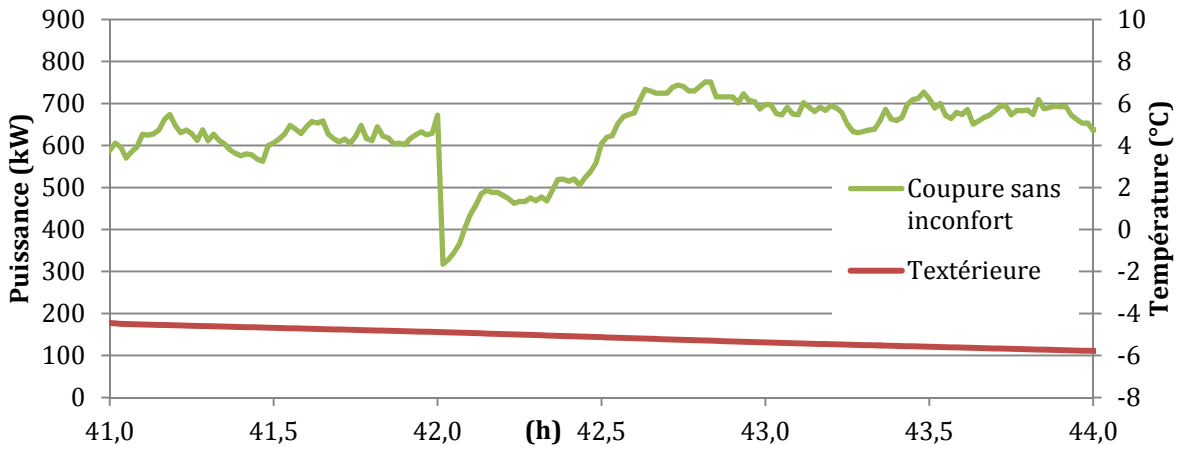

Figure 5-6– Effets sur la courbe de charge agrégée – Coupure sans inconfort

Comme on peut le voir sur la Figure 5-6, la coupure sans inconfort va permettre une réduction rapide de la puissance. Cependant, la puissance commencera aussi très tôt à augmenter, car pour les bâtiments moins inertes et avec plus de pertes thermiques, les temps de coupure sont très courts. La remontée en puissance se fait ainsi progressivement au fur et à mesure que les équipements de chauffage se rallument.

Pour les jours très froids, après environ 40 minutes, presque tous les chauffages de bâtiment sont éteints. Ainsi, à la fin de ces 40 minutes (pour cet exemple), la puissance du groupe de bâtiments devient stable.

Le fonctionnement des équipements de chauffage des différents bâtiments devient tellement foisonné qu'on n'observe pas de pics de puissance significatifs. Cependant, on observe une légère augmentation de la puissance appelée avant et après la coupure.

5.5. Coupure avec Préchauffage

L'objectif de cette stratégie est de charger les bâtiments en chaleur, pour que lors de la coupure l'inconfort soit réduit.

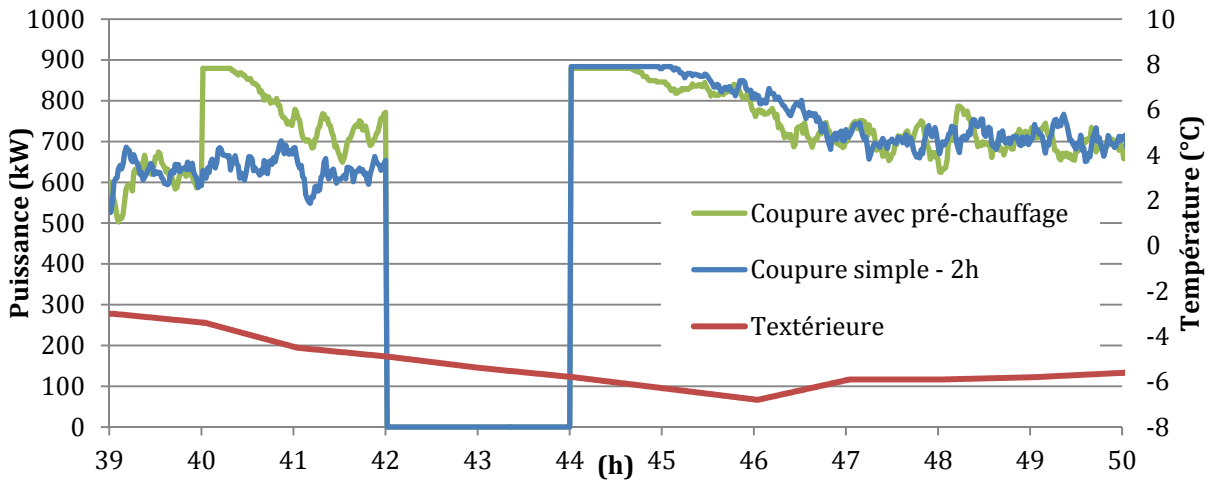

Figure 5-7 - effets sur la courbe de charge agrégée – Coupure avec préchauffage

La coupure avec préchauffage va créer deux pics de puissance. Le premier est dû à l'augmentation de la consigne lors du signal envoyé deux heures avant la coupure pour préchauffer les bâtiments. Le deuxième correspond au fonctionnement des équipements à pleine puissance après la coupure.

On observe cependant que le temps à pleine puissance après la coupure est réduit, ainsi que l'effet de recouvrement.

5.6. Passage en mode-éco

Une autre stratégie simulée a été la réduction de la consigne de 2 K pendant la période de contrôle (18-20h).

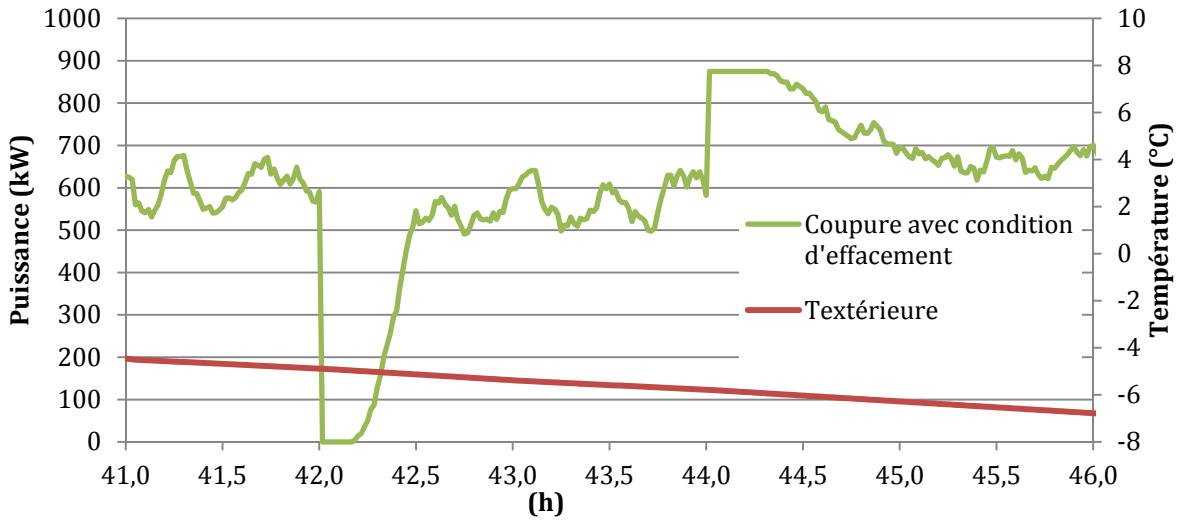

Figure 5-8 - Effets sur la courbe de charge agrégée – Passage en mode-éco

Au début du contrôle des chauffages il y a une réduction brusque de la puissance car il faut que la température de l'air descende de 2 K. Pendant cette période, les chauffages sont éteints. Comme la température va descendre plus ou moins vite en fonction du type de bâtiment, après environ 15 minutes, les chauffages des bâtiments moins inertes et avec plus de pertes vont se mettre en marche. Cet effet va créer une remontée de la température jusqu'au moment où tous les bâtiments

atteindront la température de consigne du mode-éco (-2 K). A partir de ce moment la puissance restera stable et légèrement inférieure à la puissance initiale.

Quand la consigne est mise à sa valeur initiale, un pic de puissance égal à la puissance nominale est créé.

5.7. Analyse des effets énergétiques

On va maintenant s'intéresser aux impacts énergétiques sur le groupe de 200 bâtiments. Dans cette analyse, on ne va pas prendre en compte la coupure avec arrêt de ventilation, car les effets énergétiques sont identiques à la coupure simple.

La figure suivante montre les impacts énergétiques pour les différentes stratégies.

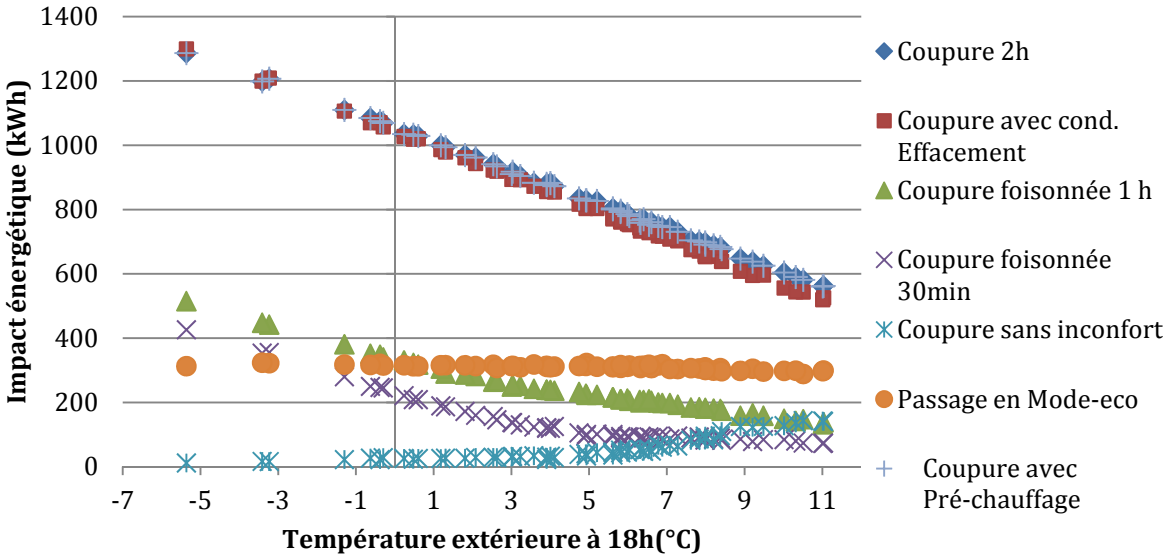

Figure 5-9 – Impact énergétique du groupe de bâtiments, pour les différentes stratégies de contrôle

L'impact énergétique de la coupure simple et de la coupure avec préchauffage sont identiques. On peut aussi voir que l'impact énergétique de la coupure avec condition d'effacement est légèrement inférieur à l'impact énergétique d'une coupure simple.

Le passage en mode-éco a un impact énergétique presque constant tout au long de la bande de température.

La coupure sans inconfort a un impact énergétique très faible par rapport aux autres stratégies. Cette coupure permet de comprendre la faible flexibilité du chauffage si des contraintes de confort sont appliquées.

Si une stratégie de foisonnement est appliquée, l'impact énergétique est réduit à plus de la moitié par rapport à la coupure simple.

La figure suivante montre la surconsommation en fonction de la température externe pour quatre stratégies de contrôle.

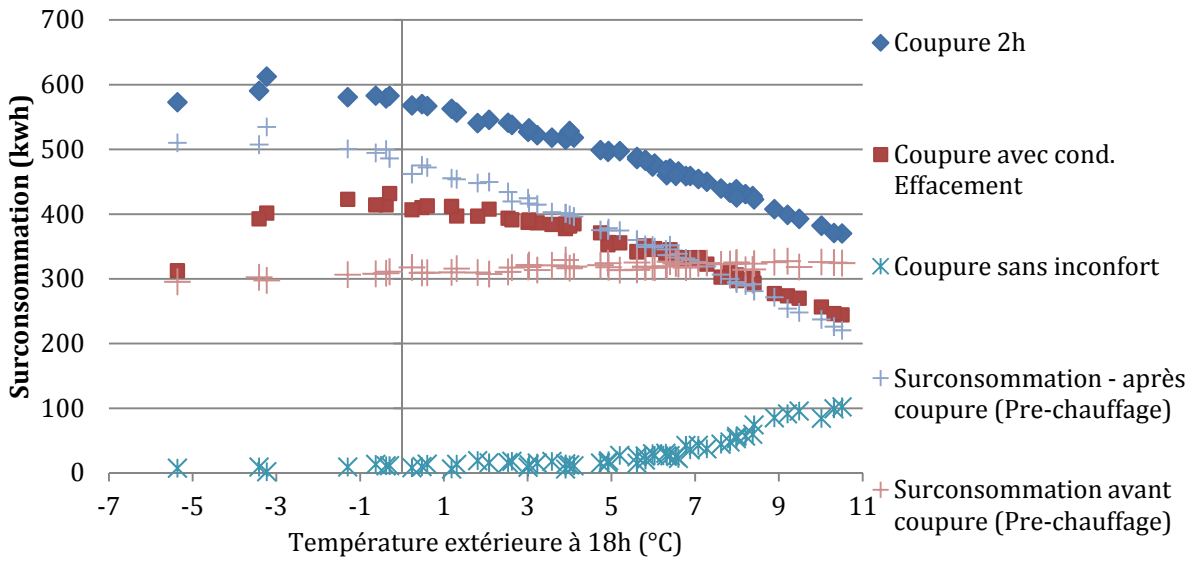

Figure 5-10 - Surconsommation du groupe de bâtiments, pour les différentes stratégies de contrôle

La Figure 5-10 montre que la stratégie avec condition d'effacement permet de réduire la surconsommation d'environ 100 kWh par rapport à la coupure simple.

La surconsommation pour la coupure sans inconfort suit la même évolution que l'impact énergétique. Pour des températures très faibles, la flexibilité des coupures deviennent minime car les valeurs de l'impact énergétique et de la surconsommation sont très réduites.

Le préchauffage va créer une surconsommation avant la coupure. Cette surconsommation se caractérise par un niveau de consommation presque constant. La surconsommation après la coupure avec cette stratégie est plus faible que la coupure simple car le bâtiment a été préchauffé et donc les bâtiments ont stocké de la chaleur.

La figure suivante montre la surconsommation pour les coupures avec foisonnement et pour la stratégie de passage en mode-éco.

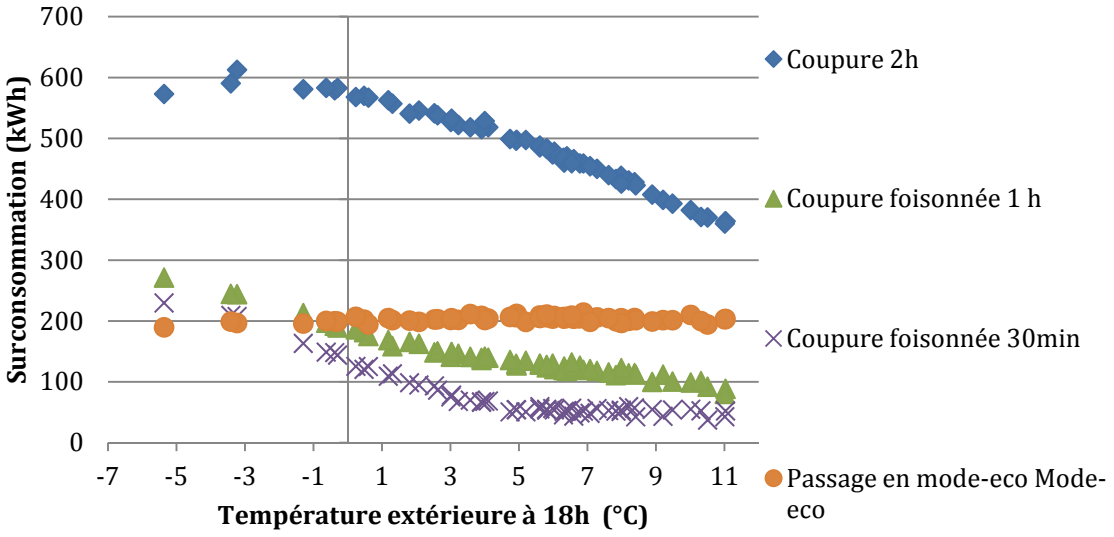

Figure 5-11 - Surconsommation du groupe de bâtiments – Coupure foisonnée et passage en mode-éco

La surconsommation pour les coupures avec foisonnement présente des valeurs beaucoup plus réduites que la coupure simple.

La surconsommation pour le mode-éco reste d'environ 100 kWh plus faible que l'impact énergétique. Cette surconsommation est presque constante pour toutes les températures.

A présent, on va analyser les puissances maximales appelées à la fin du temps de contrôle, donc à 20 heures. La figure suivante montre la puissance maximale appelée pour chaque stratégie en fonction de la température extérieure.

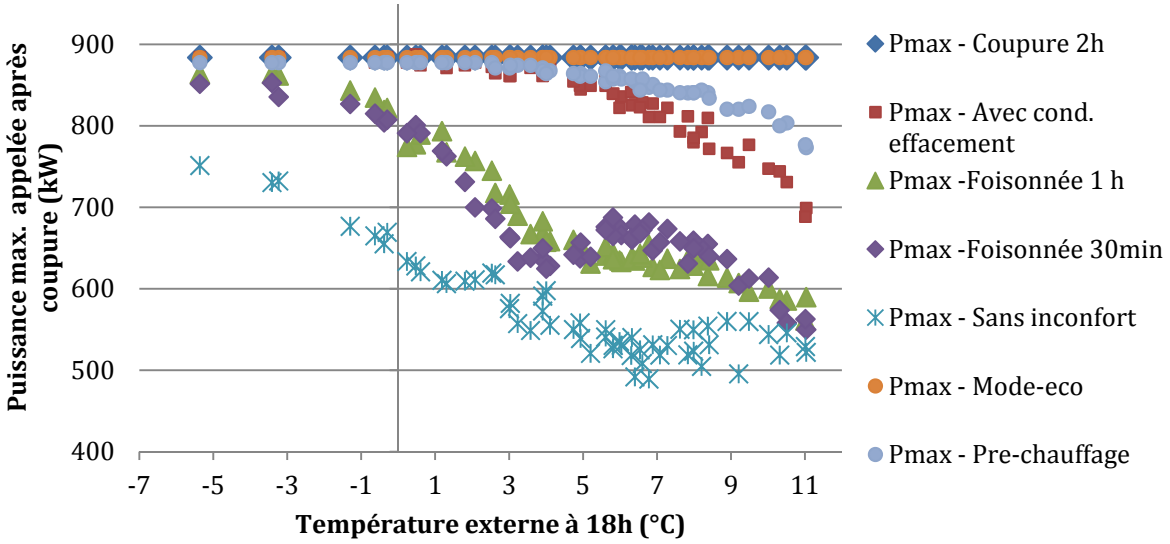

Figure 5-12 – Puissance maximales appelées en fonction de la température externe

Comme on peut en voir à partir de la Figure 5-12, la coupure simple et le passage en mode-éco vont créer un pic de consommation égal à la puissance nominale pour toute la gamme de températures extérieures. Ensuite, on observe la coupure avec préchauffage où à partir de 4°C la puissance nominale est atteinte.

La coupure avec condition d'effacement permet d'avoir des puissances maximales moins élevées que la coupure simple. Cependant, pour des températures extérieures inférieures à 3/4 °C la puissance nominale est atteinte après la coupure (avec un décalage).

Les puissances appelées pour les stratégies d'effacement avec foisonnement permettent des puissances plus réduites sauf pour des températures extérieures faibles.

La stratégie de coupure sans inconfort permet des puissances appelées après le signal d'effacement beaucoup plus faibles car chaque bâtiment a un temps de coupure différent et il n'y a donc pas de perte de foisonnement.

Ces simulations ont permis de comprendre les effets de l'application des stratégies sur un groupe de bâtiments. On a pu voir que les foisonnements des signaux de coupure permettent de réduire la consommation, tout en évitant les pics de puissance après la période de contrôle (sauf pour des températures extérieures très faibles).

Cependant, il faut savoir que sauf pour la stratégie de coupure sans inconfort, toutes les autres coupures vont affecter le confort thermique des occupants. C'est-à-dire que quelques consommateurs pourront déroger au signal de coupure du chauffage. D'avantages d'études devront ainsi être menées sur le confort thermique pour pouvoir prendre en compte ses effets dans les modèles de simulation du contrôle d'effacement.

5.8. Conclusion – Analyse de l'impact des stratégies de contrôle sur le réseau de distribution

Dans ce chapitre, on a analysé l'application des stratégies de contrôle à un groupe de bâtiments.

La coupure simple permet d'effacer complètement la puissance appelée pendant deux heures. Cependant, après la coupure il y a une perte de foisonnement des thermostats qui provoque des pics de puissance égaux à la puissance nominale du groupe de bâtiments étudiés.

On a pu déterminer qu'avec des stratégies de foisonnement l'impact énergétique sera réduit de plus de 50 % par rapport à la coupure simple. Les pics de consommation seront réduits, sauf pour des températures extérieures très faibles où la puissance du parc de bâtiments simulé atteint presque sa valeur nominale.

L'application de la coupure avec conditions d'effacement va permettre une réduction des pics de consommation après coupure, mais pour des températures extérieures plus inférieures à 4-3°C la puissance nominale du parc de bâtiments simulé est presque atteinte.

Si des coupures sont appliquées sans affecter le confort, les réductions de consommation sont très faibles, principalement quand les températures extérieures sont basses. Elles seront de plus en plus petites pour des températures extérieures basses.