



Projet de fin d'études

Mutualisation des systèmes énergétiques à l'échelle du Macro-lot



Effets de la mutualisation des systèmes énergétiques sur le bilan énergétique globale dans le cas du macro-lot Rosa-Park à Paris.

Thibaut Banéat sous la direction de Mindjid Maizia

Polytech Tours, Département d'Aménagement et Environnement, 35 Allée Ferdinand de Lesseps, 37200 Tours

Avertissements

Cette recherche a fait appel à des lectures, enquêtes et interviews. Tout emprunt à des contenus d'interviews, des écrits autres que strictement personnel, toute reproduction et citation, font systématiquement l'objet d'un référencement. L'auteur (les auteurs) de cette recherche a (ont) signé une attestation sur l'honneur de non plagiat.

Formation par la recherche, Projet de Fin d'Etudes en génie de l'aménagement et de l'environnement

La formation au génie de l'aménagement et de l'environnement, assurée par le département aménagement et environnement de l'Ecole Polytechnique de l'Université de Tours, associe dans le champ de l'urbanisme, de l'aménagement des espaces fortement à faiblement anthropisés, l'acquisition de connaissances fondamentales, l'acquisition de techniques et de savoir-faire, la formation à la pratique professionnelle et la formation par la recherche. Cette dernière ne vise pas à former les seuls futurs élèves désireux de prolonger leur formation par les études doctorales, mais tout en ouvrant à cette voie, elle vise tout d'abord à favoriser la capacité des futurs ingénieurs à :

- Accroître leurs compétences en matière de pratique professionnelle par la mobilisation de connaissances et de techniques, dont les fondements et contenus ont été explorés le plus finement possible afin d'en assurer une bonne maîtrise intellectuelle et pratique,
- Accroître la capacité des ingénieurs en génie de l'aménagement et de l'environnement à innover tant en matière de méthodes que d'outils, mobilisables pour affronter et résoudre les problèmes complexes posés par l'organisation et la gestion des espaces.

La formation par la recherche inclut un exercice individuel de recherche, le projet de fin d'études (P.F.E.), situé en dernière année de formation des élèves ingénieurs. Cet exercice correspond à un stage d'une durée minimum de trois mois, en laboratoire de recherche, principalement au sein de l'équipe Dynamiques et Actions Territoriales et Environnementales de l'UMR 7324 CITERES à laquelle appartiennent les enseignants-chercheurs du département aménagement.

Le travail de recherche, dont l'objectif de base est d'acquérir une compétence méthodologique en matière de recherche, doit répondre à l'un des deux grands objectifs :

- Développer toute ou partie d'une méthode ou d'un outil nouveau permettant le traitement innovant d'un problème d'aménagement
- Approfondir les connaissances de base pour mieux affronter une question complexe en matière d'aménagement.

Afin de valoriser ce travail de recherche nous avons décidé de mettre en ligne sur la base du Système Universitaire de Documentation (SUDOC), les mémoires à partir de la mention bien.

Résumé

Au vu des nouveaux enjeux énergétiques qui vont être mis en place dans les futures années, il est nécessaire d'étudier de nouvelles solutions dès à présent. Celles-ci devront être complémentaires de ce qui existe déjà. Les macro-lots ont, en partie, pour objectif de répondre à grande échelle, à ces enjeux. Cette étude présente la consommation énergétique du macro-lot Rosa Park de Paris. Un modèle qui intègre à cette consommation, de nouvelles approches de production et de valorisation énergétique. L'objectif étant de prouver que la mutualisation des systèmes énergétiques de ce macro-lot peut permettre une économie d'énergie sur la facture totale. L'utilisation de trois activités présentent dans l'étude de cas permet de réaliser une comparaison. Le premier cas présente un système individualisé, ce que l'un produit est utilisé seulement pour sa propre consommation. Le deuxième étant donc le cas d'un réseau de mutualisation, ce que l'un produit est redistribué au profit d'un autre. Cette comparaison des deux cas, permet, avec l'application d'un modèle, d'en sortir des chiffres significatifs quant au gain énergétique que l'un ou l'autre des systèmes peut apporter au macro-lot étudié. Ainsi, cet article démontre les bénéfices engendrés par la mise en place d'un réseau de mutualisation des systèmes énergétiques, au détriment d'un système individualisé.

Mot clés : Macro-lot, Systèmes énergétiques, Mutualisé, Individualisé, Bilan énergétique

1 Introduction

1.1 Contexte du Macro-lot

L'aménagement est aujourd'hui largement régi par une cogérance entre le public et le privé, où le premier est généralement initiateur du projet et le deuxième réalisateur. Dans la conception de projets d'aménagement, les dialogues et les échanges entre acteurs sont favorisés au détriment d'une approche descendante où la collectivité fixe les règles. Dans ce contexte de gestion et production de la ville, le recours à des opérations d'aménagements groupées comme les « macro-lots » se démocratisent au détriment d'une production basée sur des parcelles. Le « macro-lots » est une opération d'aménagement associant le public et le privé. Il n'a pas de valeur juridique mais est « une modalité de production de la ville ». Il est obligatoirement régi par plusieurs maîtres d'ouvrage. Ainsi chaque unité foncière va être élaborée par différents architectes et maîtres d'œuvre, et chaque unité possèdera différents maîtres d'ouvrage (Réseau national des aménageurs, 2015). L'objectif de ces macro-lots étant d'aboutir à une offre plus cohérente et plus concertée en accueillant des activités variées (habitats, bureaux, commerces, etc) (Raineau.L., 2011).

Ces îlots mixtes, apparaissent dans un contexte où les enjeux environnementaux ont une place de premier ordre. En effet, alors que la France s'est engagée à réduire les émissions de CO₂ sur son territoire, le secteur du bâtiment (tertiaire et résidentiel) possèdent une part de responsabilité non négligeable avec près de 45% de la consommation d'énergie finale française. Pour y remédier, différents objectifs ont été fixés tel que la volonté d'augmenter de 32% la part de production d'énergie renouvelable d'ici 2030 et d'améliorer l'efficacité énergétique dans le secteur du bâtiment. Différentes solutions existent pour y répondre. Parmi elle, la rénovation du parc de bâtiments ou l'amélioration des systèmes de chauffages et des équipements

électriques. Cependant pour atteindre ces objectifs, d'autres pistes sont étudiées comme l'utilisation du macro-lot.

1.2 Revue de cas de mutualisation énergétique

Lors des phases de conceptions et d'études énergétiques d'un nouveau bâtiment, la méthode de mutualisation urbaine est de plus en plus fréquemment prise en compte. Effectivement, depuis peu, de nombreux cas d'applications ont émergés en France. Néanmoins, et comme le dit l'article de Zélia Hampikian, aujourd'hui cela reste un modèle compliqué à mettre en place car il nécessite d'être en possession de deux facteurs de proximité. Le premier étant la proximité géographique des lieux de production et de consommation énergétique. Le deuxième étant le facteur de proximité social (Hampikian.Z, 2017). Ce dernier prend en compte les difficultés d'entente entre deux propriétaires pour mutualiser la production de l'un avec la consommation de l'autre.

De nombreuses études de mutualisation ne prennent pas en compte le facteur de distance. En effet, dans la majorité des études réalisées, les points de production et de récupération, se trouvent dans un périmètre se comptant en kilomètres de la source à alimenter. Comme en témoigne, par exemple, le réseau de chaleur implanté dans la ville de Dunkerque. Ils ont profité de la forte activité industrielle présente à proximité de la ville pour créer un réseau de chaleur. Celui-ci permet de mutualiser la chaleur fatale industrielle rejetée pour alimenter une certaine partie de logements situés dans la ville. Etant donné, que la distance du réseau total se compte en kilomètres, les pertes liées à l'inertie et donc de températures sont conséquentes. De fait, la récupération de chaleur effective est moindre, comparé à la récupération de chaleur initiale. C'est d'ailleurs cette forte inertie qui rend difficile le stockage de la récupération de chaleur. En effet, si celle-ci est stockée, elle perd en température. Par conséquent, le gain possible ne serait pas aussi important que si la chaleur récupérée est directement consommée.

Néanmoins, selon Jacques Lucan, la variété des activités présente dans les macro-lots pourrait, au travers de la mutualisation du système de production énergétique et de récupération de chaleur, permettre une économie d'énergie significative (Lucan.J, 2012). En effet, les heures d'occupation et donc de consommation d'énergie diffèrent selon l'activité exercée dans un bâtiment. Phénomène qui peut entraîner une complémentarité énergétique.

1.3 Objectif de l'article

Comme le démontre l'article de Zélia Hampikian, il y a peu d'études de réalisées sur la méthode de mutualisation énergétique dans les macro-lots. Effectivement, ceux sont, pour la plupart, des études théoriques qui soulèvent les difficultés quant à l'application de cette méthode. Que ce soit aussi bien des difficultés sociales, que des difficultés techniques. Ainsi, cet article se concentre sur la mutualisation des systèmes énergétiques appliqué au cas d'un macro-lot. Pour cela, des simulations de bilans énergétiques sont réalisées pour aboutir à une comparaison. Elle est faite dans un cas où, les systèmes de productions et de consommations sont totalement individualisés. Et, a contrario, dans un cas où, tous ces systèmes sont mutualisés. Il va donc être prouvé que les propos de Jacques Lucan, exposés plus haut, sont vrais. Par conséquent, l'objectif est de démontrer que la mutualisation des systèmes énergétiques d'un macro-lot lui permet d'être moins énergivore.

2 Méthodologie

2.1 Model théorique de mutualisation énergétique

Pour connaître l'influence de la mutualisation urbaine sur un bilan énergétique il faut réaliser une comparaison. En effet, pour se rendre compte du réel impact de la mutualisation, il faut partir d'un modèle référentiel qui est le bilan énergétique d'un système individualisé. Pour ce faire, il faut tout d'abord déterminer la consommation de chauffage, pour 24 heures, de chacune des fonctions présentent dans le cas d'étude. Il est décidé de le faire sur 24 heures, car c'est l'échelle qui permet de représenter au mieux les plages horaires de consommations de chaque fonction. Ainsi, il est vu les différences d'activités et de puissances appelées sur une journée pour l'entièreté du Macro-lot. Même principe pour définir la consommation électrique. De ce fait, il est obtenu la puissance appelée à chaque instant de chaque fonction présente dans le macro-lot. A cela est relié les possibles points de récupération et de production d'énergie qu'offrent les différentes fonctions composant le macro-lot d'étude. En ce qui concerne les systèmes de récupération d'énergie, le produit d'une consommation et d'un facteur de récupération permet d'obtenir la puissance récupérable. Ainsi, pour un système individualisé, la récupération et production énergétique d'une fonction est soustraite à la consommation totale

de cette même fonction. Pour un système mutualisé, c'est la globalité énergétique produite et récupérée dans le macro-lot qui est soustraite à la globalité des consommations du macro-lot. Finalement, une méthode de comparaison est utilisée pour avoir l'idée des excédents énergétiques ainsi que des déficits dans chacun des cas étudiés.

2.2 Application à un macro-lot

Dans un premier temps, il a été décidé de s'appuyer sur un bâtiment déjà existant. Cela permet d'avoir des données d'entrées et ainsi les ordres de grandeur d'un réel macro-lot. L'ensemble de ces données est présenté et expliqué dans la partie étude de cas, suivant celle-ci. Dans un souci de pertinence des résultats, l'étude est réalisée sur deux journées bien distinctes. Effectivement, l'ensemble des résultats est d'une part pour une journée sélectionnée en hiver, et d'autre part, pour une journée d'été. Cette décision a été prise, car les besoins des utilisateurs diffèrent d'une saison à l'autre. En particulier, les besoins en chauffage. Comme il est vu plus tard, en hiver la puissance appelée en chauffage est bien supérieure à celle appelée en été. Avoir la possibilité d'analyser les résultats pour ces deux extrêmes permet, par conséquent, de couvrir un large panel d'éventualités entre la mutualisation sur différents états. A la suite du regroupement de toutes ces données, à savoir les températures pour ces deux journées, ainsi que les surfaces et fonctionnalités du macro-lot, il en est déduit la consommation.

Dans cette partie, il est nécessaire de bien réaliser une distinction entre la consommation électrique, dite consommation des usages spécifiques hors chauffage, et le chauffage. En effet, il est réalisé un système logique pour la consommation électrique. Celui-ci prend en considération l'état de marche et d'arrêt d'un appareil, selon le même fonctionnement qu'un interrupteur. Pour la sélection des usages électrique, qui permettent de déterminer la courbe de charge électrique journalière, l'étude se fie à la même démarche que celle effectuée par le Réseau de Transport d'Electricité (RTE). Comme pour leur bilan électrique 2018, est pris en considération dans cette étude, les usages : informatique, audiovisuel, froid, éclairage et électroménager (RTE 2018). Contrairement à cette consommation, le chauffage ne fonctionne pas sous forme « d'interrupteur ». Effectivement, l'utilisation de thermostat fait que la mise en marche d'une chaudière fonctionne selon la différence de température intérieure voulue et de température extérieure. C'est la raison pour laquelle il ne peut être utilisé le même système logique entre le calcul de la consommation des usages spécifiques hors chauffage et celle du chauffage. Dans ce deuxième cas, est utilisé la même base de variables que pour le calcul de l'énergie d'un bâtiment. Néanmoins, la variable Degrés-Heure est remplacé par une variable Δt qui correspond à l'écart de température entre la température extérieure « t_e » et la température intérieure voulue par les usagers « t_i » (voir Annexe 1). Après l'ajout de celle-ci, il est obtenu une courbe de charge permettant d'identifier les besoins en chauffage et Eau Chaude Sanitaire pour chacune des fonctions présentes dans le macro-lot étudié. Dans le but de rendre les valeurs plus proches de la réalité, il est gardé les variables de déperditions de

l'enveloppe et de la ventilation, ainsi que les apports dûs aux usagers et au solaire. L'ensemble des données d'entrées utilisé pour le calcul des besoins électrique tout confondu se trouve dans le tableau 1.

Intitulés		L	B	C	Unités	Justifications
Besoins en chauffage						
Conductance	Ubat	0,34	0,34	0,34	W/m²/an	Logement RT 2012 : 0,33 à 0,35
Surface enveloppe	Senv	25 585	1 993	2 451	m²	1/3 de la surface total de l'enveloppe
Volume	Qv	185 750	65 000	81 250	m³	
Surface vitrée	Svit	12 383	4 333	5 417	m²	1/6 de la surface plancher (RT 2012)
Facteur solaire du vitrage	FS	0,55	0,55	0,55		Fenêtre métal en double vitrage
Surface plancher	Sp	74 300	26 000	32 500	m²	
Rendement du système de chauffage	pf	0,9	0,9	0,9		Chauffage électrique urbain d'un bâtiment collectif
Températures intérieures	Ti _i	17-19	0-21	0-18	°C	
Taux de renouvellement d'air	nv _i		0,2-0,5			
Rayonnement solaire global instantané (hiver et été)	y _i		0-450 et 0-950		W/m²	
Apports internes	ai _i	0-4	0-7	0-7	W/m²	RT 2000
Besoins énergétiques de l'ECS						
Volume d'un ballon d'ECS	V	200	-	-	m³	
Puissance nécessaire pour élever la température de l'eau de 1°C	P	1,16	-	-	W	
Températures d'eau en entrée	Tee	10-12	-	-	°C	Variée selon l'été et l'hiver
Températures d'eau en sortie	Tes _i	0-55	-	-	°C	
Besoins des usages spécifiques hors chauffage						
Éclairage		8	10	10	W/m²	Norme NF X 35-102

Tableau 1 Données d'entrées pour le calcul de la consommation du macro-lot

En ce qui concerne la partie production, elle est réalisée en deux parties bien distinctes, comme la consommation. Tout d'abord, il n'y a non pas de la production de chaleur, mais de la récupération de chaleur. En effet, aujourd'hui, des systèmes de refroidissement -par exemple- sont dotés de ce qui s'appelle des récupérateurs de chaleur. Dans le cas d'un système de refroidissement par eau, les tuyaux d'eau froide circulent dans le système à refroidir. A la sortie de ce système, l'eau circulante en ressort réchauffée. Encore aujourd'hui, cette chaleur est rejetée dans l'environnement. Néanmoins elle peut être récupérée et directement injectée dans les réseaux d'Eau Chaude Sanitaire pour permettre de chauffer des locaux. C'est une solution qui a été retenue dans cette étude en ce qui concerne la récupération de chaleur pour les bureaux constituant le macro-lot.

L'exemple cité ci-dessus correspond à l'identique à celui d'un DataCenter. Pour définir la puissance de chaleur récupérable, il nous faut la consommation totale de l'infrastructure pour lui affecter un facteur de récupération (Annexe 2). Pour cela, il faut déterminer la taille du Datacenter. En prenant en considération que nous avons 26 000m² de bureaux, cela revient à environ 118 entreprises avec en moyenne

20 postes ordinateurs dans chaque. C'est-à-dire, un total de 2 360 ordinateurs reliés au Datacenter, lui étant directement installé dans le bâtiment. En France, la majorité des Datacenters ont une surface inférieure à 500m² ou supérieur à 2000m² (Arnould, F, Barbier, A and Thoraval, G, 2016). À la vue de ces deux extrêmes, la surface de celui de l'étude sera fixé à 500m². C'est celle qui a été jugé plus proche de la réalité. Quant au facteur de récupération, il dépend du système installé. Soit un système eau/eau avec la chaleur qui est évacuée vers des aéroréfrigérants, soit un système entièrement eau (Castagna, G, De Carlan, F, Guiot, T, Leonard, JC. 2017). Le premier système est moins efficace. En effet, l'étape de transmission de chaleur vers les aéroréfrigérants inflige une forte perte d'énergie. Les variables exogènes utilisées sont exposées dans le tableau 2.

Intitulés			Unités
Surface du DataCenter	S	500	m²
Consommation surfacique	C _s	580	W/m²
Facteur récupération système eau/eau	f _b	41	%
Facteur récupération système entièrement eau	f _e	83	%

Tableau 2 Données d'entrées pour le calcul de récupération de chaleur du DataCenter

Intitulés			Unités
Chambre froide positive Fruits et Légumes 120m3	FL	9	kW
Chambre froide positive Boucherie 120m3	Bouc	9	kW
Chambre froide positive Charcuterie/Traiteur 100m3	TC	8.2	kW
Chambre froide positive SAS 160 m3	SAS	12.3	kW
Chambre froide négative Surgelés 100 m3	Surg	9	kW
Chambre froide négative Boulangerie 50 m3	Boul	4.8	kW
Frigo négatif	Pf_{nu}	700	W
Frigo positif	Pf_{pu}	500	W
Nombre Frigo négatif	nf_n	160	U
Nombre Frigo positif	nf_p	200	U
Performance récupérateur de chaleur	F	50-90	%

Tableau 3 Données d'entrées pour le calcul de récupération de chaleur du commerce

Hormis le fait de récupérer de l'énergie par le biais des systèmes de refroidissement, il peut aussi être utilisé la puissance frigorifique ou les besoins en froid d'un établissement. En effet, les appareils frigorifiques rejettent de l'air chaud pour produire du froid. Avec l'installation d'un récupérateur de chaleur, comme on l'a dit plus haut, au niveau de ces appareils, une quantité d'énergie sous forme de chaleur peut être réutilisée. C'est la raison pour laquelle, il faut dans un premier temps, analyser et calculer les besoins en froid de nos locaux. Ici, la seule fonctionnalité susceptible d'être utile à l'étude est le commerce. En effet, la partie commerciale alimentaire a la nécessité d'exploiter énormément de systèmes frigorifiques. Pour la chaîne de froid alimentaire, un hypermarché contient de nombreuses chambres froides ainsi que des meubles frigorifiques. Pour en déterminer le nombre, et être le plus proche de la réalité, il a été demandé à un hypermarché, semblable à celui présent dans l'étude, les informations requises. Ajouté à cela les puissances de chacun des appareils, et il en est obtenu les besoins totaux en froid de l'hypermarché. Pour finir, la dernière étape permettant de déterminer la récupération de chaleur totale du système frigorifique, nécessite d'avoir un facteur de récupération (Annexe 3). Néanmoins, ce facteur varie en fonction du type de récupérateur de chaleur qui est installé (nr-pro).

Il est décidé de réaliser l'étude dans le cas le moins favorable, mais aussi dans le cas le plus favorable. Cela permet de connaître le pourcentage de couverture des besoins minimums ainsi que maximums. Les données d'entrées utiles à l'élaboration de ce calcul sont présentées dans le tableau 3.

Ensuite, va être pris en compte la production d'énergie verte. Dans le cadre de l'étude, le macro-lot se situe en ville. Il est donc choisi d'installer seulement du photovoltaïque sur le toit du macro-lot. C'est la seule source de production d'énergie renouvelable prise en compte. Pour en définir la puissance de production, il est nécessaire de connaître la surface totale qui peut être installée. Celle-ci est égale à la surface totale du toit du macro-lot. Néanmoins, étant donné qu'il y a différentes fonctions présentes, il a été décidé de répartir cette surface de panneau photovoltaïque proportionnellement à la surface plancher de chacune d'elle. Ensuite, il est aussi nécessaire de mettre en variable extérieur le rayonnement solaire. Etant à Paris, il faut donc utiliser les valeurs trouvées pour cette zone, pour les deux périodes voulues, été et hiver. Enfin, un rendement du panneau solaire doit être affecté. L'ensemble des variables exogènes sont dans le tableau 4.

Intitulés		L	B	C	Unités
Surface des panneaux	S	9000	3250	4000	m ²
Rendement	a		0,2		
Rayonnement solaire global instantané (hiver et été)	y_t		0-450 et -950		W/m ²

Tableau 4 Données d'entrées pour le calcul de la production solaire

2.3 Méthode de comparaison

Finalement, une méthode de comparaison permet de répondre à la problématique initiale qui a construit cette étude. Effectivement, cette méthode mis en place permet d'étudier le bilan énergétique du macro-lot d'étude à différents états et avec différentes exploitations des systèmes énergétiques qu'il possède. Pour cela, la globalité des résultats sont regroupés pour identifier le plus facilement possible les facteurs permettant d'affirmer, ou pas, l'hypothèse originelle. Pour rappel, cette hypothèse est la suivante ; La mutualisation urbaine d'un macro-lot permet une économie d'énergie. Ainsi, l'opposition du cas individualisé et mutualisé nous dirige vers la justification de cette hypothèse. Si celle-ci s'avère être vraie, alors il en sera ressorti l'économie réalisée grâce à la couverture globale de récupération et de production sur la facture journalière du sujet. Les facteurs qui seront mis en comparaison sont alors les différentes variables vues précédemment. Il y a dans un premier temps, une étude réalisée sur les températures qui permet de savoir si la saison influe sur l'importance de cette mutualisation des systèmes énergétiques. Puis, dans un second temps, c'est le facteur de performance des systèmes de refroidissements et des récupérateurs de chaleur utilisé qui est mis en étude. Ensuite, il y a une comparaison similaire, mais qui s'applique, cette fois-ci, non pas sur le chauffage, mais, sur les usages électriques spécifiques. En effet, après la mutualisation des systèmes de chauffage il est vu la mutualisation des autres systèmes électriques. Ici, la structure de la comparaison est différente. Etant donné que la production ne diffère pas de modèle entre chaque fonction, elles ne sont pas détaillées pour chacune d'elles, comme pour la récupération de chaleur. Ainsi, la comparaison est présentée dans un tableau concernant les valeurs d'hiver et un autre celle d'été.

3 Etude de cas

Le macro-lot du quartier Rosa Park est le sujet sur lequel l'étude, ici présente, est réalisée. Ce bâtiment est situé au Nord-Est de Paris dans le 19^{ème} arrondissement. Il représente le plus long bâtiment de Paris avec une longueur de plus de 600 mètres. Anciennement utilisé comme entrepôt de l'entreprise américaine McDonalds, ils ont décidé en 2006 de le mettre en vente. Après avoir été racheté par la SAS ParisNordEst, le projet a été de le réaménager, dans le but d'en faire un lieu plurifonctionnel (semavip). Par conséquence, ce macro-lot a les caractéristiques parfaites pour la réalisation de cette étude. D'une part, il se situe dans une zone géographique présentant un climat banal, qui peut être assimilé à une grande partie des régions. D'autres part, il se compose de plusieurs fonctions. Effectivement, il compte des logements, des commerces, des bureaux, des équipements publics et des zones d'activités de loisirs. Un cas, qui permet donc de maximiser les possibilités de mutualisation énergétiques. Etant donné le peu d'informations quant à l'usage de la zone de loisir et d'équipement public, ce point n'est pas pris en compte dans la suite de cette étude. Pour

le reste, des données sont disponibles et peuvent donc être traitées. Le bâtiment est constitué d'une totalité de 1 120 logements représentant ainsi une surface totale de 74 300m² comme présenté dans le tableau 1. Dans la zone commerciale, est compris un hypermarché d'une surface d'environ 2 500m². Comme vu plus tôt, il va être un acteur majeur dans la récupération de chaleur. Tout comme le datacenter, qui fait partie intégrante de la zone de bureau présente dans le macro-lot Rosa Park.

4 Analyse des résultats

4.1 Bilan énergétique de chaleur

Comme dit dans la méthodologie, il a été pris en compte les températures d'une journée en hiver et en été comme données d'entrée. Les résultats, pour chacune des journées, seront présentés. Cependant, aucune consommation de chauffage n'est prévue, pour la période estivale, en ce qui concerne les commerces et les bureaux. Tous les résultats pour ces deux activités concernent une journée avec des températures hivernales.

La récupération de chaleur, via le DataCenter présent dans la zone de bureaux, doit suivre un profil constant. En effet, les systèmes informatiques le constituant, traitent en permanence (24h/24) les données d'informations transmises par chacune des entreprises reliées à celui-ci. Toutefois, des variations de puissance peuvent se faire voir. Par exemple, à l'envoi ou la réception d'e-mail. Cependant, ces variations étant très faibles, elles ne sont pas prises en considération dans le modèle. C'est pourquoi, il est supposé une consommation constante de l'infrastructure approchant les 290 kW. De la même manière que les commerces, le système de refroidissement mise en place dans le Datacenter va influencer le taux de récupération. Il est ainsi obtenu le tableau 5 pour les deux systèmes de refroidissement.

	Récupération de chaleur des bureaux pour f_b	Récupération de chaleur des bureaux pour f_e
Somme sur 24 heures en MWh	2,85	5,78
Taux de couverture en MWh	0,48	0,84
Taux de couverture en quantité en %	33%	58%
Temps de couverture en %	16%	16%
Excédent en MWh	2,38	4,93

Tableau 5 Résultats de la récupération de chaleur du Datacenter dans un cas individualisé

La chaleur produite par le datacenter est importante à exploitée. Cette énergie fatale, généralement rejetée dans l'environnement, peut couvrir une importante part des besoins en chauffage de l'ensemble des 26 000m² de bureaux. S'il est possible d'installer un réseau entièrement d'eau, la consommation en chauffage tombe de 58%. Aujourd'hui, la majorité des datacenters équipés, possèdent un réseau eau/eau avec des aéroréfrigérants. Ce qui permet, tout de même, une économie de 33% d'énergie. Le taux de couverture étant encore plus faible que pour les commerces, l'excédent est plus important dans le cas d'un système individuel pour les bureaux. En effet, 10% de plus, par rapport aux commerces. Différence qui est due aux horaires d'occupations des lieux. En effet, les bureaux ferment en moyenne vers 18h, tandis que les commerces sont ouverts jusqu'à 21h.

Les données d'entrées de l'hypermarché ont permis de créer un système logique dans le but de calculer le besoin en froid total de l'hypermarché à chaque instant de la journée. Ce besoin en froid suit le profil du Datacenter, il est constant. Effectivement, les denrées alimentaires stockées dans les meubles frigorifiques, ainsi que dans les chambres froides doivent être conservées, de jour comme de nuit, à une température constante. Les seules déperditions, qui auraient pu créer des variations, sont les pertes lors de l'ouverture des frigos par les clients, néanmoins, elles sont infimes et donc pas prises en compte dans ce cas. Il est ainsi obtenu la puissance frigorifique totale de l'hypermarché, avec une valeur de 264.3 kW à chaque instant « t » de la journée. Cette puissance correspond à notre besoin en froid. Sachant que le besoin en froid est proportionnel à la récupération de chaleur, il faut donc appliquer le facteur de performance du récupérateur de chaleur. Ce qui permet d'en sortir le tableau 6.

L'installation de récupérateur de chaleur, sur les systèmes frigorifiques, permet d'économiser significativement sur la facture de chauffage totale de la zone commerciale. En effet, cette économie peut varier de 44% à 79%, selon le type de récupérateur installé, comme le démontre le modèle utilisé. Néanmoins, au vu des plages horaires sur lesquels les besoins en chauffage se font, une grande perte de cette énergie récupérée à lieu. Dans le cas présent, avec l'installation d'un système individuel, la perte se trouve dans un intervalle de 1.85 MWh à 3.33 MWh sur 24 heures. Cela s'explique par le fait que les commerces ont seulement la nécessité de chauffer de l'ouverture et au coucher du soleil. Ainsi, les apports solaires cumulés aux apports internes, se suffisent pour maintenir une température intérieure acceptable entre 9h et 16h. Soit, une plage horaire de 7 heures durant laquelle une récupération de chaleur est faite, mais aucun besoin n'est présent.

La zone de logement, quant à elle, ne possède pas de point de récupération de chaleur. Même s'il est possible de récupérer de la chaleur au niveau de la tuyauterie de l'eau chaude sanitaire, il est décidé de ne pas la prendre en compte dans l'étude. Ainsi, la mutualisation va prendre en considération la consommation de chauffage des logements, en hiver et été, ajouté à celle des commerces et des bureaux vue précédemment. Pour cela, un graphique, accompagnant un tableau, est réalisé et démontre les propos concernant la mutualisation des systèmes de chaleur.

	Récupération de chaleur des commerces pour F=50%	Récupération de chaleur des commerces pour F=90%
Somme sur 24 heures en MWh	3,17	5,71
Taux de couverture en MWh	0,78	1,42
Taux de couverture en quantité en %	44%	79%
Temps de couverture en %	25%	25%
Excédent en MWh	2,39	4,29

Tableau 6 Résultats de la récupération de chaleur des commerces dans un cas individualisé

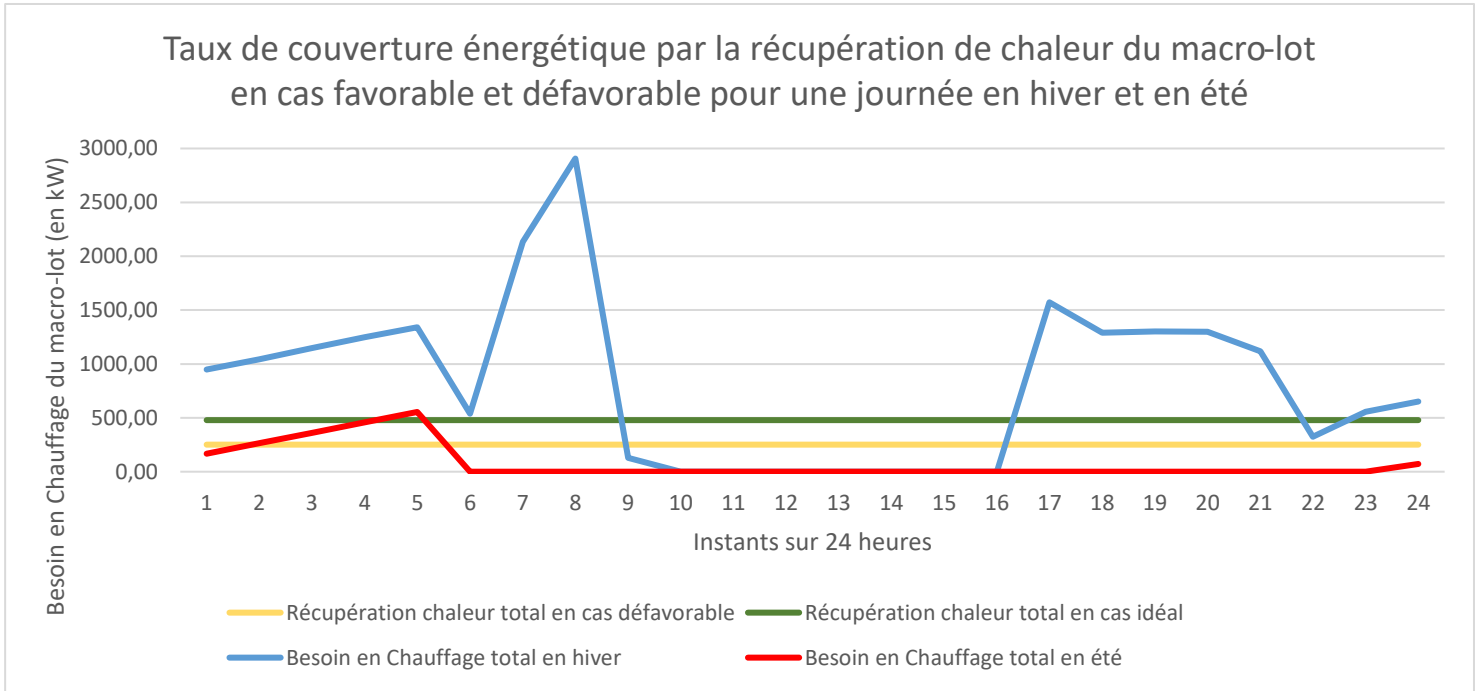


Figure 1 Bilan énergétique du chauffage

	Récupération chaleur total en cas défavorable	Récupération chaleur total en cas idéal
Somme en MWh	6,03	11,49
CAS EN HIVER		
Taux de couverture en hiver en MWh	4,14	7,68
Taux de couverture en hiver en %	21%	39%
Temps de couverture en %	71%	71%
Excédent en hiver en MWh	1,88	3,80
CAS EN ÉTÉ		
Taux de couverture en été en MWh	1,27	1,55
Taux de couverture en été en %	68%	83%
Temps de couverture en %	25%	25%
Excédent en été en MWh	4,76	9,94

Tableau 7 Résultats de la mutualisation des systèmes de chaleur

La mutualisation d'énergie de chaleur, dans le macro-lot Rosa-Park, est bien plus intéressante, en termes d'économie d'énergie, que dans un cas totalement individualisé. Comme le prouve les résultats obtenus dans le tableau 7, le taux de couverture en quantité est bien plus important lorsqu'il y a une interaction entre la récupération de chaleur et la consommation des logements en hiver. En effet, une économie de 4.14 MWh à 7.68 MWh est possible pour le macro-lot sur une durée de 24

heures. A contrario, s'il n'y a pas de mutualisation, l'énergie économisée ne dépasse pas les 2.3 MWh dans le meilleur des cas (Somme de l'économie des bureaux et des commerces en hiver). L'explication à cette grande différence peut se lire sur le graphique de la figure 1. Comme il peut être vu, dans un cas de mutualisation, la plage horaire pour laquelle il y a un besoin en chauffage, est nettement plus importante en intégrant les logements. Cela est dû au fait que les logements ont un besoin de chaleur tôt le matin, tandis que les bureaux et les commerces,

en ont besoin plus tard dans la matinée. Par conséquent, le temps de couverture par récupération s'élève à 71% de 24 heures et permet de diminuer considérablement l'excédent de quantité de chaleur récupéré. Passant de près de 9 MWh de chaleur inutilisée, dans un cas individualisé, à moins de 4 MWh en hiver, dans un système mutualisé.

En ce qui concerne la mutualisation en été, elle permet aussi de couvrir une grande partie des besoins. Cependant, cette mutualisation est moins significative à cette période-là. En effet, étant donné que la seule demande de chauffage provient des logements pour l'ECS, le taux de couverture est très important, minimum 68%, mais la quantité non utilisée est elle aussi très importante. En cause, le temps de demande, qui correspond à seulement $\frac{1}{4}$ d'une journée. Néanmoins, dans un cas individualisé, la totalité de récupération de chaleur n'est pas utilisée car, ni les bureaux, ni les commerces n'en ont besoin. Par conséquent, même en période estivale, les systèmes de chauffage du macro-lot, ont tout intérêt à être mutualisés.

La mutualisation des systèmes électriques, hors chauffage, est peu importante en hiver. Effectivement, ce n'est pas la mise en place d'un réseau mutualisé, qui va entraîner une forte économie sur la facture d'électricité du macro-lot. Comme le démontre les résultats obtenus, il n'y a pas, ou peu, d'excédent de production en individualisé. Cela signifie, que les panneaux photovoltaïques installés, ne produisent jamais plus d'électricité que de puissance appelée. Cas apart pour les logements, où une énergie de 540 kWh est possiblement redistribuée pour les besoins autres fonctions. Valeur qui représente 1% des besoins totaux du macro-lot. Une économie d'énergie faible, mais qui est tout de même présente en cas de mutualisation.

4.2 Bilan énergétique électrique hors chauffage

En ce qui concerne la partie consommation et production électrique, les caractéristiques du lieu de l'étude contrainent à certaines décisions. En effet, comme dit dans la méthodologie, étant en zone très urbaine, il est impossible d'implanter un parc éolien. C'est la raison pour laquelle, la seule source de production est celle de l'installation de panneau photovoltaïque. Contrairement à la récupération de chaleur, qui se fait sur 24 heures, la production solaire est possible seulement durant la période entre le levé et le coucher du soleil. C'est notamment la grande différence entre la production en été et en hiver. L'intermittence engendrée en production solaire rend, par conséquent, difficile la mutualisation entre les fonctions. Seconde difficulté qui se fait remarquer, c'est le manque de coordination entre les horaires de besoins et celle de la production. Effectivement, un phénomène moins important pour les bureaux et les commerces, mais qui est très contraignant pour les logements. Comme le prouve l'excédent dans le tableau 8.

Intitulés	Logements	Commerces	Bureaux		Décentralisé	Mutualisé
Consommation des usages spécifiques hors chauffage en MWh	19,31	10,44	12,99		42,74	
Production photovoltaïque en MWh	4,68	2,08	1,69		8,45	
Taux de couverture en hiver en MWh	4,14	2,08	1,69		7,91	8,45
Taux de couverture en hiver en %	21%	20%	13%		19%	20%
Excédent en été en MWh	0,54	0,00	0,00		0,54	0,00

Tableau 8 Tableau comparatif des résultats des systèmes électriques hors chauffage en hiver

Intitulés	Logements	Commerces	Bureaux		Décentralisé	Mutualisé
Consommation des usages spécifiques hors chauffage en MWh	19,31	10,44	12,99		42,74	
Production photovoltaïque en MWh	15,84	7,04	5,72		28,6	
Taux de couverture en été en MWh	8,16	6,27	5,72		20,15	23,35
Taux de couverture en été en %	42%	60%	44%		47%	55%
Excédent en été en MWh	7,68	0,77	0		8,45	5,25

Tableau 9 Comparatif des résultats des systèmes électriques hors chauffage en été

Dans le cas d'une journée d'été (tableau 9), l'intermittence est toujours présente. Cependant, la plage horaire de production est nettement plus conséquente, passant de 9 heures de production pour une journée d'hiver, à 15 heures. De plus, la production est plus importante en été. Contrairement à la consommation de chaleur, celle des usages spécifiques est la même en été qu'en hiver. Etant dans une région du Nord, il est considéré aucune climatisation. Ainsi, la consommation n'est pas plus importante en été. Donc, seule la production diverge entre hiver et été. Etant plus importante, il est donc logique d'obtenir un taux de couverture plus élevé en été.

Là encore, la mise en place d'un réseau mutualisé est très intéressante pour le macro-lot en termes d'économie d'énergie. L'excédent prouve bien qu'en cas de mutualisation, une économie de 3 MWh sur 24 heures est réalisée. Pour cause, les pics de consommations pour les commerces et les bureaux étant superposés aux pics de production, l'excédent pouvant être redistribué, est faible. Toutefois, l'inverse est remarqué dans le cas des logements. La consommation est faible au moment où la production est importante. Comme en témoigne les quantités d'excédents en cas individuel.

Finalement, que ce soit en été ou en hiver, la mutualisation des systèmes de production et de consommation électrique -autres que chauffage- est bénéfique. Même si l'économie réalisée est plus soulignée en été, elle est tout de même présente en hiver. Ainsi, s'il y a un réseau de mutualisation, il est inutile d'installer des batteries de stockage. Au vu de l'excédent de production, ça représente un coût important d'installation et des problèmes environnementaux. Une solution, qui peut être prise en considération par le propriétaire du macro-lot, est soit de diminuer la surface et, par conséquent, le coût en panneau photovoltaïque, soit vendre l'énergie inutilisée et donc réaliser de la mutualisation à une plus grande échelle que celle du macro-lot.

4.3 Bilan énergétique à l'échelle du macro-lot

Pour finir et dresser un tableau récapitulatif de l'ensemble des résultats commentés précédemment (tableau 10). Il permet de réaliser le bilan énergétique de l'ensemble du macro-lot Rosa Park. La comparaison de l'économie engendrée, dans les cas des systèmes individualisés et mutualisés permet de répondre à la question de l'étude.

	Chauffage	Usages spécifiques hors chauffage	Ensemble du Macro-lot
CAS EN HIVER			
Consommation en MWh	19,54	42,74	62,28
Production en MWh	6,02 - 11,48	8,45	14,47 - 19,93
Economie en cas individualisé en MWh	1,26 - 2,26	7,91	9,17 - 10,17
Economie en cas mutualisé en MWh	4,14 - 7,68	8,45	12,59 - 16,13
CAS EN ÉTÉ			
Consommation en MWh	1,88	42,74	44,62
Production en MWh	6,02 - 11,48	28,6	34,62 - 40,08
Economie en cas individualisé en MWh	0	20,15	20,15
Economie en cas mutualisé en MWh	1,27 - 1,55	23,35	24,6 - 24,9

Tableau 10 Comparatif des résultats à l'échelle du Macro-lot

En concordance avec les résultats obtenus plus haut, ici pour l'ensemble du macro-lot, il est prouvé que la mutualisation de l'ensemble des systèmes énergétiques permet une économie significative d'énergie. Effectivement, si la comparaison des deux dernières lignes de chaque cas est faite, il est vite ressorti le gain énergétique, systématiquement plus conséquent, avec un système de mutualisation. L'énergie perdue en cas individualisé est redistribuée en cas mutualisé. C'est la conséquence de cette économie plus importante. Il peut aussi être vu l'opposition du chauffage et des usages spécifiques. La mutualisation engendre plus d'économie en hiver qu'en été pour le chauffage. La consommation étant plus importante en hiver. Contrairement aux usages spécifiques, où la mutualisation est plus bénéfique en été. La production étant dépendante du soleil, il est logique, qu'elle soit supérieure à cette période de l'année.

Cependant, s'il est regardé l'énergie produite initialement, ainsi que l'énergie réellement utilisée, il est observé qu'il y a dans tous les cas, sans exception, de la production rejetée. Une perte conséquente, qui pourrait être tout de même très utile. Effectivement, cette énergie en surplus peut être vendue à une fonction voisine du macro-lot. Par exemple, s'il y a la présence d'une gare à proximité. L'énergie peut très bien couvrir une part des besoins électriques du hall de la gare. En quantité, cette revente pourrait aller de 1.8 MWh minimum à 15 MWh par jour, dans un cas idéal. En considérant un prix du kWh à 0.1436€ pour l'électricité verte d'EDF, cela revient à 28 € et 228 € en fonction des jours de l'année et des systèmes (refroidissements, récupération) installés.

5 Discussion

5.1 Choix d'un modèle adapté

Finalement, cette étude a démontré, que la mutualisation des systèmes de production énergétique et de récupération de chaleur, permet une économie significative d'énergie. Le bilan énergétique d'un macro-lot est, par conséquent, plus faible dans un cas mutualisé, que dans un cas individualisé. Il peut donc être affirmé, que l'hypothèse posée en introduction de l'article, est bien vraie. Ainsi, la mutualisation des systèmes énergétiques d'un macro-lot, lui permet d'être moins énergivore. Résultats, qui sont confirmés par les propos de Jacques Lucan, exposés plus tôt.

Le modèle proposé, sur lequel repose l'entièreté des résultats, prend en considération de nombreux paramètres. En effet, à partir du peu de données trouvées, il a été élaboré un système permettant de sortir les consommations de l'étude de cas. Celle-ci prend en compte de nombreux facteurs, tels que les déperditions dues à la ventilation et dues à l'enveloppe. Mais aussi les apports solaires et internes causés, respectivement, par la surface vitrée et l'occupation (Annexe 1). De plus, l'utilisation de réelles données d'un hypermarché, permet de s'assurer de la

validité des hypothèses, mises en avant dans le modèle de récupération de chaleur des systèmes frigorifiques. Néanmoins, même si les facteurs de récupérations sont peut-être incertains, car variables, la volonté de faire varier les facteurs dans les modèles, entre le cas le moins favorable et le cas le plus favorable, permet de s'assurer de la fiabilité de la méthode utilisée. La plage de résultats possible, comprend tous les types de performances de récupérateur ou de système de récupération. Ainsi, le modèle est applicable à tous types de commerces ou de Datacenter voulant calculer l'énergie récupérable potentielle.

En ce qui concerne la validité des résultats pour la production électrique, la décision de prendre seulement du photovoltaïque permet de se rapprocher d'un cas réel. En effet, c'est aujourd'hui l'énergie propre la plus représentée en milieu urbain. Milieu qui fait référence à celui de l'étude. C'est aussi, le moyen de production le plus simple d'installation sur ce genre de structure.

5.2 Limites

Il serait intéressant d'appliquer la même méthodologie pour cette fois-ci s'apercevoir des conséquences de la mutualisation sur une année complète. Effectivement, pour mettre en évidence les différences d'activités, qui pourraient se faire dans un macro-lot, il serait nécessaire de réaliser cette étude dans l'intervalle d'une journée. De plus, la méthodologie a tout de même été réalisée à deux reprises. Son application a été menée pour deux journées différentes de l'année. Cependant, exposer des résultats sur une année entière permettrait des chiffres plus proches de la réalité. Effectivement, les données d'entrées, pour les deux journées sélectionnées, ne sont peut-être pas les plus représentatives de l'ensemble des données, sur une année entière.

Dans les modèles de chaleur, une partie de l'expertise mériterait d'être rajoutée. Le phénomène d'inertie thermique n'est pas pris en compte dans l'étude. C'est un facteur, qui gagnera à être pris en compte, pour une approche intégrant un degré d'expertise plus élevé, pour le bâtiment du macro-lot Rosa Park. Toutefois, étant donnée le peu d'informations disponibles, quant à la composition technique des matériaux de l'étude de cas, il aurait été difficile d'intégrer l'inertie du bâtiment sans commettre d'erreur. Mais, s'il avait été pris en compte l'inertie thermique du bâtiment, la consommation en chaleur aurait été légèrement plus faible ; Ayant pour cause de limiter l'utilisation de la chaudière. C'est pourquoi, la consommation de chaleur calculée permet très bien de répondre au problème de l'article, puisqu'elle reflète bien les ordres de grandeurs réels.

De plus, dans la même lignée que pour l'inertie thermique, il n'a pas été pris en compte les pertes de chaleurs possibles dans le réseau, entre les points de récupérations et ceux de consommations. Durant l'acheminement de la chaleur, sous forme d'eau ou d'air, il y a des pertes de degrés. Plus la longueur

du réseau est importante, plus cette perte de température sera, elle aussi, importante. Toutefois, cela a permis de mettre en évidence, l'importance d'une mutualisation se faisant à l'échelle d'un macro-lot et, qui plus est, d'un seul bâtiment. Effectivement, cette perte est insignifiante pour un réseau de cette taille. Le bâtiment ayant une longueur de 600 mètres pour une largeur de 70 mètres, la perte en température est très faible. Ainsi, la formation du cas d'étude Rosa-Park est très favorable pour l'utilisation de récupération de chaleur. Nos résultats sont donc soutenus par les propos de Zélia Hampikian présentés en introduction de cet article.

6 Conclusion

En énergétique, peu d'études de mutualisations urbaines ont été réalisées. La majorité des articles scientifiques traitent le cas d'une manière théorique. Ils permettent de soulever les difficultés possibles de mise en application, ou les avantages de celle-ci. Toutefois, une application par élaboration d'un modèle, à l'échelle d'un macro-lot, a quant à elle, jamais été menée. Cette étude a permis, par la mise en avant et l'utilisation de nouveaux systèmes énergétiques ingénieux, de démontrer la possibilité d'une réduction d'énergie significative par la mutualisation des systèmes.

Trois fonctions présentent dans un macro-lot ont été étudiées individuellement. Il s'agissait de la partie logement, commerce et bureaux. L'objectif étant de faire la comparaison entre la facture énergétique, entre ces fonctions, dans un système individualisé et mutualisé. Comparer, la mutualisation de ces fonctions a permis de constater que, en raison de leurs variétés d'activités et d'occupations, l'interaction entre elles avait un effet de complémentarité entre points de productions et points de consommations. Ainsi, quand l'un produit et l'autre consomme, une économie est systématiquement possible. En ce qui concerne le macro-lot Rosa Park, si un système individualisé est remplacé par un réseau mutualisé, cela amène à une économie entre 3.5 MWh et 6 MWh pour 24 heures. Les principaux facteurs de variations, étant la performance du système de refroidissement et de récupération de chaleur, ainsi que le climat (température, rayonnement du soleil...).

La réponse à cette problématique, à l'échelle d'un macro-lot, est positive. Elle prouve que des améliorations sont encore possibles dans la quête à l'économie d'énergie. L'intégration de mutualisation est bénéfique à cette échelle. Toutefois, l'étude présentée ouvre une perspective, quant à l'application du modèle de mutualisation des systèmes énergétiques à d'autres échelles. Cette étude à d'autres échelles, soulèvera peut-être, des nouveaux systèmes énergétiques, non explorés dans l'article, qui a été présenté ici.

Bibliographie

Arnould, F, Barbier, A and Thoraval, G. (2016), *L'efficacité énergétique dans les data centers : Etude gisement du parc français*, [Online]. Available at : www.actu-environnement.com/media/pdf/news-27968-data-center-atee.pdf (Accessed : 3 Octobre 2019)

Castagna, G, De Carlan, F, Guiot, T, Leonard, JC. (2017), *Data Center : Etat des lieux*, [Online]. Available at : www.efficacity.com/wp-content/uploads/2017/12/170407_Rapport-Datacenter.pdf (Accessed : 8 Octobre 2019)

EDF, *Nos offres d'électricité à prix de marché*, [Online]. Available at : <https://particulier.edf.fr/fr/accueil/offres/electricite-bis/offres-marche.html> (Accessed : 2 Décembre 2019)

Hampikian, Z. (2017). *Structuration urbaine d'un réseau de chaleur et énergie fatale : la proximité comme variable dynamique*, Flux, vol. 109-110, no. 3, pp. 9-22.

nr-pro, [Online]. Available at : <https://nr-pro.fr/accueil.html> (Accessed : 20 Octobre 2019)

Raineau, L. (2011). *Vers une transition énergétique ?*, EDP sciences : Natures Sciences Sociétés, vol.19, p133 à 143.

Reseau national des aménageurs. (2015). *Evolution des modèles contractuels de l'aménagement*

RTE. (2018) *Bilan Electrique 2018*. [Online] Available at : www.rte-france.com/sites/default/files/be_pdf_2018v3.pdf (Accessed : 28 Septembre 2019)

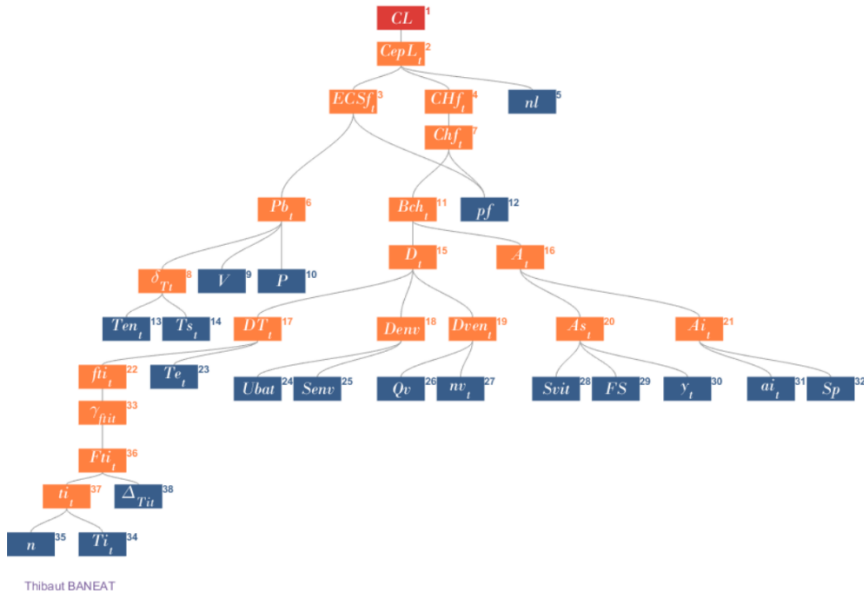
semavip, *Entrepôt MacDonald*, [Online]. Available at : www.semavip.fr/nos-projets/les-projets-en-cours/entrepot-macdonald/synth%C3%A8se-projet (Accessed : 20 Janvier 2019)

Annexe

Annexe 1.

$CL = \text{chauffage} (n, T_{it}, Ten_t, \Delta T_{it}, Te_t, Ts_t, V, Ubat, P, Senv, Qv, nv_t, pf, nl, Svit, FS, y_t, ai_t, Sp)$

Modèle pour le calcul de la consommation de chaleur d'un bâtiment



Consommation électrique en chauffage sur 24h en MWh

$$1 \quad CL = \sum (CepLi)$$

Consommation électrique en chauffage et en ECS par h en kW

$$2 \quad CepLi = (ECSfi + CHfi) \otimes nl$$

Puissance nécessaire pour chauffer l'eau chaude de l'ensemble des logements pour 1 jour

$$3 \quad ECSfi = Pb_i / pf$$

Consommation du chauffage par heure du bâtiment en W

$$4 \quad CHfi = Chfi$$

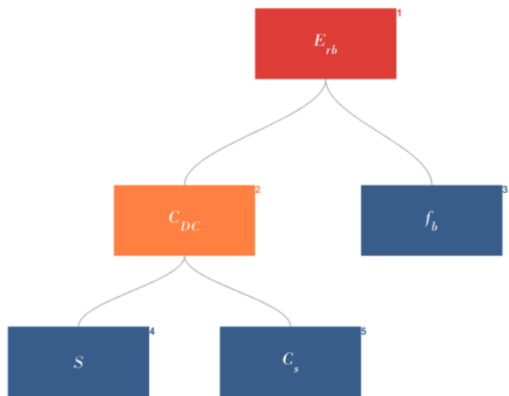
Nombre de logement

$$5 \quad nl = 200$$

Annexe 2.

$E_{rb} = \text{recupdatacenter} (S, C_s, f_b)$

Energie récupérée du DataCenter avec un eau/eau



Energie récupérée du DataCenter en kW

$$1 \quad Erb = fb \cdot CDC$$

Consomation du DataCenter en kW

$$2 \quad CDC = S \otimes (Cs \otimes 10^{(-3)})$$

Facteur de récupération d'énergie

$$3 \quad fb = 0.41$$

Surface du datacenter en m²

$$4 \quad S = 500$$

Consommation surfacique du datacenter en W/m²

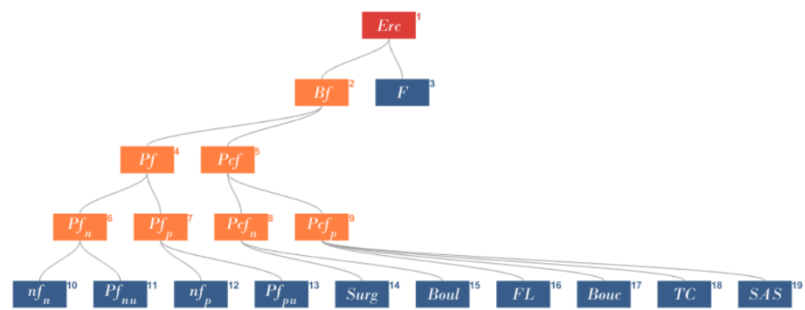
$$5 \quad Cs = 580$$

Thibaut Banéat

Annexe 3.

$Erc = recuperationcom(nf_n, Pf_{nu}, nf_p, Pf_{pu}, Surg, F, Boul, FL, Bouc, TC, SAS)$

Système logique de la récupération de chaleur fourni pour les systèmes frigorifiques de l'hypermarché



Thibaut Banéat

▲

Energie récupérer de l'hypermarché en kW

1

$Erc = Bf \otimes F$

Puissance total de besoin en froid en kW

2

$Bf = Pf + Pcf$

Facteur de récupération

3

$0.5 \leq F \leq 0.9$

Puissance total des frigos en kW

4

$Pf = Pf_n + Pf_p$

Puissance totale des chambres froides en kW

5

$Pcf = Pcf_n + Pcf_p$

▼