

Rapport final

Analyse des bénéfices
économiques et
environnementaux associés
à la mise en place d'une
économie de fonctionnalité
en lien avec la
consommation énergétique
de bâtiments

Équipe solution #12

Auteurs : Marc Journeault, Danielle Monfet,
Annie Levasseur et Rim Khelifa

Date : Avril 2024



CERIEC
Centre d'études
et de recherches
intersectorielles
en économie
circulaire



Le lab construction est un projet du Centre d'études et de recherches
intersectorielles en économie circulaire de l'ÉTS (CERIEC).

Table des matières

Sommaire exécutif	2
Les auteurs	3
1 Introduction	4
2 Méthodologie	6
2.1 Terrain d'étude	6
2.1.1 Pavillon A de l'ÉTS	6
2.1.2 Bâtiment commercial (BC)	6
2.1.3 Énergir Chaleur et Climatisation Urbaines (ECCU)	6
2.2 Années de référence	7
2.3 Sources de données	7
2.3.1 Analyse documentaire – volet environnemental	7
2.3.1.1 Pavillon A de l'ÉTS	7
2.3.1.2 Bâtiment commercial (BC)	9
2.3.1.3 Facteurs d'émission	9
2.3.2 Analyse documentaire – volet économique	9
2.3.3 Entretiens	10
3 Résultats	11
3.1 Analyse des impacts environnementaux	11
3.1.1 Consommation énergétique et gaz à effets de serre	11
3.1.2 Pavillon A de l'ÉTS	11
3.1.3 Bâtiment commercial (BC)	14
3.1.4 Autres impacts environnementaux	16
3.2 Analyse des impacts économiques	17
3.2.1 Analyse quantitative des impacts économiques	17
3.2.2 Analyse qualitative des impacts économiques	22
3.2.2.1 Résilience et fiabilité	22
3.2.2.2 Collaboration et accès aux compétences	25
3.2.2.3 Économies d'échelle	26
4 Synthèse et conclusion	28

Sommaire exécutif

Depuis septembre 2022 l'Écosystème de Laboratoires d'Accélération en Économie Circulaire (ELEC) vise à promouvoir l'économie circulaire (EC) dans des secteurs comme la construction, le textile et l'agro-alimentaire. Le Lab Construction, premier laboratoire de l'ELEC, s'est concentré sur cette industrie en raison de son impact environnemental significatif et de son importance économique au Québec.

Issus de l'une des solutions potentielles identifiées au sein de ce Lab, le présent projet a pour objectif d'analyser la pertinence du recours à l'économie de fonctionnalité (ÉF), qui consiste à vendre l'usage d'un bien plutôt que le bien lui-même, à travers un cas réel d'application dans les bâtiments. Plus spécifiquement, cette étude vise à analyser les impacts économiques et environnementaux de l'intégration de l'ÉF pour l'approvisionnement en énergie (chauffage et refroidissement) de deux bâtiments (le Pavillon A de l'ÉTS et un bâtiment commercial (BC)) reliés à un réseau de chaleur et de froid géré par le réseau Énergir Chaleur et Climatisation Urbaines (ECCU) à Montréal.

La comparaison des impacts environnementaux et économiques associés au chauffage et au refroidissement effectuée à partir d'une production autonome ou par une connexion au réseau urbain ECCU pour ces deux bâtiments ont été quantifiés en utilisant des données mesurées de consommation et des modèles permettant d'évaluer différents scénarios. L'analyse des impacts environnementaux a permis de démontrer que le raccordement à un réseau urbain de boucles énergétiques amène une réduction de la consommation d'énergie et des émissions de GES comparativement à l'utilisation d'une chaudière au gaz naturel pour produire de la chaleur dans les bâtiments analysés. Cependant, la consommation énergétique et les GES sont plus importants lors d'un raccordement à l'ECCU dans le cas où la chaleur serait produite par une chaudière tout électrique ou en mode biénergie. Le raccordement à un réseau urbain de boucles énergétiques entraîne d'autres gains environnementaux, notamment la réduction de la consommation d'eau et de produits chimiques associés aux tours d'eau pour le refroidissement ainsi que la réduction des risques de fuite de fréon et la présence de légionelle dans les tours d'eau. Les impacts économiques ont quant à eux été étudiés en combinant des approches quantitatives et qualitatives. L'analyse quantitative a comparé les coûts associés à la production autonome de chaleur et de froid avec ceux de la connexion au réseau ECCU. Cette analyse quantitative, basée sur de nombreuses estimations, n'a pas permis de conclure sur des avantages ou désavantages économiques significatifs d'une connexion au réseau urbain ECCU comparativement à une production autonome. Cependant, l'analyse qualitative a mis en lumière de nombreux bénéfices stratégiques d'une connexion au réseau urbain ECCU comparativement à une production autonome de chaleur et de froid, tels que l'accroissement de la résilience et de la fiabilité, une plus grande tranquillité d'esprit, l'approche collaborative et les économies d'échelle potentielles.

En conclusion, cette étude démontre qu'être raccordé à un réseau urbain de boucles énergétiques peut, selon les scénarios évalués, représenter un choix environnemental et économique plus judicieux que d'investir dans des équipements locaux, soulignant ainsi les avantages indéniables de l'économie de fonctionnalité.

Les auteurs

Marc Journeault, Ph.D., MBA, CPA, est professeur titulaire à l'École de Comptabilité de l'Université Laval et détenteur d'un Ph.D. en Sciences économiques et de gestion de l'Université Catholique de Louvain en Belgique. Il est responsable du Centre de recherche en Comptabilité et Développement Durable (CerCeDD) et cotitulaire du Réseau Québécois de Recherche en Économie Circulaire (RQREC). Durant les quinze dernières années, le professeur Journeault a coordonné et participé à de nombreux projets de recherche visant à démontrer l'apport du développement durable à la création de valeur, l'innovation et la compétitivité des entreprises et organisations. Ses travaux de recherche furent publiés dans des revues internationales prestigieuses, tel Accounting Organization and Society, Journal of Management Accounting Research, British Accounting Review et Journal of Environmental Management.

Annie Levasseur, Professeure, École de Technologie Supérieure – Université du Québec, Département de génie de la construction, Directrice scientifique du Centre d'études et de recherches intersectorielles en économie circulaire (CERIEC) et titulaire de la Chaire de recherche du Canada sur la mesure de l'impact des activités humaines sur les changements climatiques.

Danielle Monfet, Professeure dans le département de génie de la construction à l'École de technologie supérieure et directrice du Laboratoire de Thermique et Science du bâtiment. Elle s'intéresse à la modélisation et la simulation des performances énergétiques des bâtiments et des espaces d'agriculture en environnement contrôlé (AEC). Elle a aussi une expertise dans l'utilisation de données mesurées pour évaluer les performances réelles de concepts innovants, proposer des stratégies d'efficacité énergétique, développer des méthodes de suivi des performances en temps continu des systèmes ainsi que pour la calibration de modèles énergétiques. Elle vise à développer des approches et outils qui permettront de répondre à des enjeux diversifiés pour différents milieux (communautaire, commercial, etc.).

Rim Khelifa, Ph.D., professionnelle de la recherche au Centre de recherche en Comptabilité et Développement Durable (CerCeDD) et détentrice d'un Ph.D. en Sciences forestières de l'Université Laval. En reconversion professionnelle depuis 2021, ses travaux portent sur de nombreux projets en lien avec le développement durable et l'économie circulaire tels que l'analyse des flux de matières au sein de l'appareil gouvernemental québécois, l'analyse des coûts des flux de matières et l'économie de fonctionnalité.

1 Introduction

Dans le cadre d'une collaboration entre Desjardins et l'École de technologie supérieure (ÉTS), le Centre d'Étude et de Recherches Intersectorielles en Économie Circulaire (CERIEC) a initié en septembre 2022 un ensemble de laboratoires d'accélération regroupés au sein d'un écosystème novateur appelé l'ÉLEC (Écosystème de Laboratoires d'Accélération en Économie Circulaire). L'ÉLEC a pour mission de servir de terrain d'expérimentation dédié à la recherche, au développement, et au transfert de pratiques et de technologies novatrices favorisant l'implantation de l'économie circulaire (EC) dans des filières et des stratégies jugées prioritaires, telles que le secteur des plastiques, de la construction et de l'agro-alimentaire. Les projets qui en découleront viseront à développer et à expérimenter des solutions en vue de leur éventuelle généralisation.

Le présent projet s'inscrit dans le cadre des travaux du Lab Construction, premier laboratoire de cet écosystème. Il se concentre spécifiquement sur l'une des 16 solutions ayant été identifiées lors des travaux de ce lab, soit l'intégration d'une économie de fonctionnalité (ÉF) dans les opérations d'un bâtiment. L'ÉF représente l'une des stratégies de l'EC et vise à vendre l'usage d'un bien plutôt que le bien lui-même. Cette approche permet d'éviter la surconsommation de ressources, de promouvoir l'expertise et la valeur des services et de combattre l'obsolescence programmée par la production de biens durables et réparables. Les bénéfices de cette ÉF sont la mise en œuvre de modèles d'affaires inédits et résilients, l'accroissement de la compétitivité des entreprises, le développement et le maintien d'emplois locaux qualifiés et la réduction des gaz à effets de serre (GES).

Malgré son potentiel, il existe à ce jour peu de recherches en ÉF ainsi que sur les impacts économiques, environnementaux et sociaux de la mise en place d'une telle stratégie de circularité. De plus, l'ÉF est un modèle d'affaires encore peu développé au Québec. Les clients, donneurs d'ouvrages et soumissionnaires sont peu informés et peu accompagnés sur ce sujet. Il semble donc pertinent de documenter des cas réels en ÉF, afin de pouvoir démontrer la pertinence du modèle sur le plan économique et environnemental, et de constituer ainsi un argumentaire en faveur de cette stratégie de circularité.

Les travaux du lab construction ont identifié l'ÉF comme étant une solution prometteuse à l'intégration de la circularité dans le domaine de la construction. Ainsi, en continuité de ces travaux, le présent projet vise à démontrer l'apport potentiel de l'ÉF au domaine de la construction. Plus spécifiquement, il a comme objectif d'identifier les bénéfices économiques et environnementaux de la mise en place d'une ÉF dans le domaine du chauffage et du refroidissement des bâtiments.

Ce projet de recherche s'est décliné en deux principaux volets. Une revue de la littérature a tout d'abord été effectuée afin de mettre en lumière la recherche portant sur l'ÉF et plus spécifiquement celle portant sur l'ÉF dans le domaine des opérations des bâtiments (incluant le chauffage et le

refroidissement des espaces) (voir Journeault, Khelifa & Steux, 2024¹). Par la suite, deux études de cas ont été réalisées afin d'analyser les bénéfices économiques et environnementaux de la mise en place d'une ÉF associées au chauffage et refroidissement des bâtiments : une portant sur le Pavillon A de l'ÉTS et l'autre portant sur un bâtiment commercial (BC). Ces deux bâtiments sont associés à la centrale urbaine Énergir, Chaleur et Climatisation Urbaines (ECCU) qui offre un service de chaleur et de froid à différents bâtiments dans le centre-ville de Montréal. Le présent rapport présente les résultats de l'analyse environnementale (consommation énergétique et GES) et économique pour les deux études de cas réalisées.

¹ Journeault, M., Khelifa, R., & Steux, C. (2024). Revue de littérature - Économie de fonctionnalité dans la construction : Bénéfices environnementaux et économiques.

2 Méthodologie

2.1 Terrain d'étude

2.1.1 Pavillon A de l'ÉTS

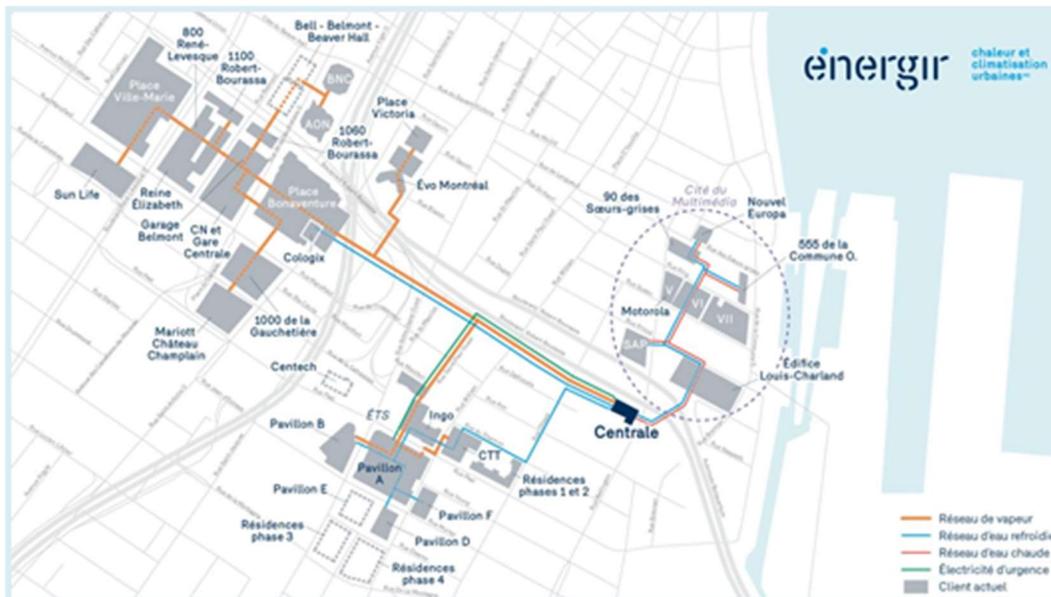
Le Pavillon A de l'ÉTS à Montréal est un bâtiment moderne de 77 731 m² situé au 1100, rue Notre-Dame Ouest. Il abrite des laboratoires de recherche, des salles de cours, des espaces de collaboration, et des installations technologiques avancées. Ce pavillon est conçu pour favoriser l'innovation et la créativité dans les domaines de l'ingénierie et de la technologie.

2.1.2 Bâtiment commercial (BC)

Ce bâtiment commercial (ci-après BC) de 30 195 m² héberge un des centres administratifs de la Ville de Montréal.

2.1.3 Énergir Chaleur et Climatisation Urbaines (ECCU)

Énergir Chaleur et Climatisation Urbaines (ECCU), une entreprise québécoise filiale d'Énergir, est un des plus grands réseaux urbains au Canada. Fondée en 1947, elle exploite trois réseaux souterrains distincts d'eau chaude, de vapeur et de climatisation qui desservent près de 2 millions de mètres carrés de superficie d'immeubles. Le réseau ECCU dessert ainsi plusieurs clients du centre-ville de Montréal en chaleur et refroidissement.



Source : <https://energirccu.com/energies-urbaines>

L'entreprise utilise diverses sources d'énergie pour faire fonctionner ses quatre chaudières pour délivrer la chaleur et ses cinq centrifugeuses pour le refroidissement. Elle est aussi en mesure de fournir de l'électricité d'urgence à ses clients. Elle est aussi engagée dans des projets d'efficacité énergétique impliquant de plus en plus de sources d'énergie renouvelable (hydroélectricité, solaire, biocombustible, gaz naturel (GN) renouvelable) afin de réduire les émissions de GES associées à la production de chaleur et de refroidissement.

2.2 Années de référence

Les années de référence sont différentes pour les deux études de cas. Pour le Pavillon A de l'ÉTS, pour le chauffage, une comparaison a été effectuée entre une production autonome reposant sur une modélisation des données et un raccordement à l'ECCU pour les années 2018 et 2019, tandis que pour le froid, la comparaison a été effectuée en se basant sur les données mesurées de refroidissement du bâtiment en 2019 et une modélisation du raccordement à ECCU.

Pour le BC, les données pour le raccordement à l'ECCU sont basées sur des mesures réelles de consommation d'énergie mensuelles qui ont été partagées pour l'année 2021. Les données de production autonome de chaleur et de froid reposent sur une modélisation du bâtiment et de ses systèmes énergétiques pour cette même année.

Les analyses sont basées sur les années civiles.

2.3 Sources de données

Deux sources de données furent utilisées dans le cadre de ce projet : l'analyse de documents et des entretiens réalisés auprès des parties prenantes concernées.

2.3.1 Analyse documentaire – volet environnemental

L'analyse du volet environnemental a reposé, dans un premier temps, sur l'obtention de données énergétique de la part des entreprises offrant et recevant le service. Dans un second temps, une analyse des données a permis d'établir un portrait global (c.-à-d., "Avant/Après") en termes de consommation permettant d'en évaluer les impacts environnementaux et économiques.

Les facteurs d'émission utilisés représentent les émissions directes (les émissions des autres étapes du cycle de vie telles que l'extraction du GN ou la construction des centrales hydroélectriques ne sont pas considérées ici).

2.3.1.1 Pavillon A de l'ÉTS

Plusieurs données furent colligées pour le pavillon A de l'ÉTS. Ces données ont été analysées et exploitées pour différents scénarios.

Systeme de chauffage : Pour la vapeur, les données de consommation ont été analysées pour l'année 2018 et 2019. À partir de ces données, la capacité des chaudières pour le scénario fictif a été estimée tel que décrit au Tableau 1 **Erreur! Source du renvoi introuvable.** Trois stratégies d'exploitation sont par la suite analysées : (1) utilisation de chaudières au GN; (2) utilisation de chaudières électriques; (3) approche biénergie, c.-à-d., utilisation de chaudières

électriques à l'exception des périodes où la température extérieure horaire est inférieure à -12°C.

Tableau 1 : Capacité des chaudières

Source d'énergie	Nom	Capacité
GN	B1GN	1026
	B2GN	2063
Électricité	B1E	1000
	B2E	2500

Pour les chaudières au GN, l'efficacité de la chaudière a été estimée à l'aide d'une courbe de performance selon la charge partielle de fonctionnement (voir équation (1)). Pour les chaudières électriques, l'efficacité utilisée est de 100%.

$$\eta = 0,00000833 \cdot x^3 + 0,00050000 \cdot x^2 - 0,32369048 \cdot x + 104,63571429 \quad (1)$$

Où x est la charge partielle de la chaudière.

Système de refroidissement : Pour le refroidissement, les données de consommation associées à l'utilisation des refroidisseurs (RF), des tours de refroidissement (TR) et des pompes associées ont été analysées pour l'année 2019. Les caractéristiques des équipements sont détaillées au Tableau 2. Des courbes ont été développées pour estimer le coefficient de performance (COP) des refroidisseurs (Figure 1). La consommation électrique des refroidisseurs est estimée en divisant les besoins en eau glacée par le COP. Les besoins en eau glacée ont aussi été utilisés pour estimer la consommation électrique associée par ECCU en utilisant un COP de 5.628.

Tableau 2 : Caractéristiques des équipements de refroidissement

Source d'énergie	RF1- RF2	RF3	TR1- TR2	TR3
Capacité, kW	2813	1723	-	-
Ventilateur, kW	-	-	37	30
Pompe, kW	-	-	22,3	7,45

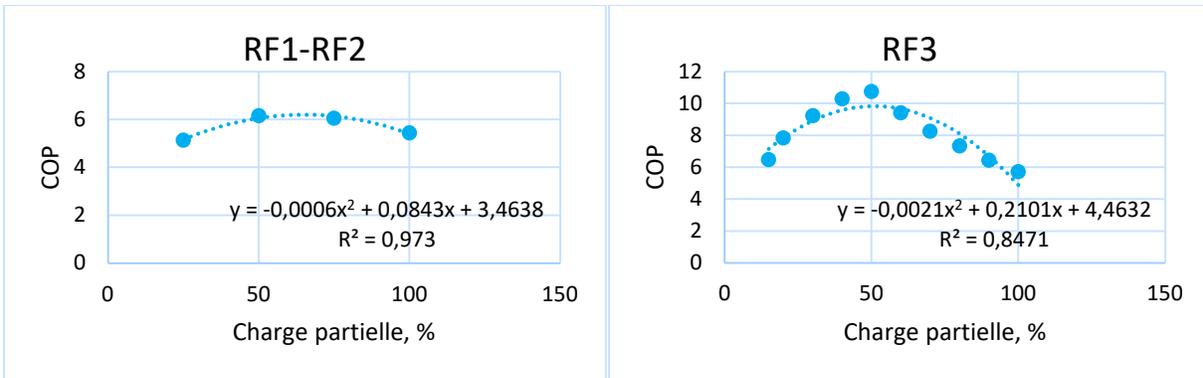


Figure 1 : COP des refroidisseurs selon la charge partielle

2.3.1.2 Bâtiment commercial (BC)

Pour le BC, les données de consommation mensuelles ont été partagées pour l'année 2021. Afin de créer un scénario fictif et d'estimer la consommation d'énergie horaire, un modèle du bâtiment a été créé dans l'outil de modélisation OpenStudio à l'aide des plans d'architecture et mécaniques. Le modèle a été calibré par la suite à l'aide des données mesurées, puis modifié pour créer le scénario fictif. Trois stratégies d'exploitation ont été analysées : (1) utilisation de chaudières au GN (efficacité de 85%); (2) utilisation de chaudières électriques (efficacité de 100%); (3) approche biénergie, c.-à-d., utilisation de chaudières électriques à l'exception des périodes où la température extérieure horaire est inférieure à -12°C. Pour tous les scénarios, le refroidissement est assuré par une boucle d'eau glacée alimentée par un refroidisseur (COP nominal de 5.5) et une tour de refroidissement.

2.3.1.3 Facteurs d'émission

Les facteurs d'émission utilisés sont tels que décrit au Tableau 1.

Tableau 1 : Facteurs d'émission

Facteur d'émission	2018	2019
ECCU vapeur (kg·CO ₂ ·GJ ⁻¹)	47,43	47,03
GN (kg·CO ₂ ·GJ ⁻¹)	49,863	
Électricité (kg·CO ₂ ·GJ ⁻¹)	0,567	

2.3.2 Analyse documentaire – volet économique

L'analyse du volet économique a également reposé sur l'obtention de données de la part des organisations offrant et recevant le service, incluant notamment des factures de relevés énergétiques de consommation de vapeur et d'eau refroidie, des lettres d'offre initiale pour la réalisation d'un projet d'offre de service de chauffage et de froid et des analyse de coûts de distribution énergétique, ainsi que des sources externes, tels que les tarifs d'électricité d'Hydro-Québec pour les années étudiées ainsi que les prix du GN du réseau Énergir.

2.3.3 Entretiens

En plus de l'analyse documentaire, cinq entretiens semi-dirigés d'environ 1h30 chacun ont été réalisés avec des experts et des professionnels du domaine de la construction, de la gestion immobilière et de l'économie circulaire. Les personnes interviewées comprenaient notamment un responsable en développement durable et des gestionnaires associés à la gestion des actifs immobiliers des bâtiments analysés ainsi qu'un responsable d'Énergir chaleur et climatisation urbaines (ECCU). Ces entretiens furent réalisés entre janvier 2022 et décembre 2023. Ceux-ci ont été essentiels pour recueillir des informations précieuses sur le fonctionnement global du raccordement des deux bâtiments étudiés au réseau de l'ECCU, les pratiques actuelles, les avantages perçus et défis rencontrés en matière d'intégration de l'ÉF dans leur système de chaleur et de refroidissement.

3 Résultats

3.1 Analyse des impacts environnementaux

3.1.1 Consommation énergétique et gaz à effets de serre

Les résultats présentés pour le Pavillon A de l'ÉTS incluent l'analyse détaillée pour les différents scénarios de chauffage et une analyse pour le refroidissement s'appuyant sur les données de consommation de 2019. Pour le BC, les résultats de simulation post-calibration sont tout d'abord présentés suivis des résultats pour les trois scénarios d'exploitation.

3.1.2 Pavillon A de l'ÉTS

Les résultats pour le Pavillon A de l'ÉTS sont détaillés pour la portion consommation d'énergie (Tableau 2) et les émissions de GES associées (Figure 2) pour le chauffage. L'utilisation d'un système avec chaudières au GN augmente les émissions de GES d'environ 12% comparée aux émissions de GES d'ECCU alors que l'utilisation d'un système biénergie les réduit de 89% et 85% en 2018 et 2019, respectivement. Les résultats montrent que le modèle d'économie de fonctionnalité, comparé au système au GN, permet une réduction des émissions de GES dans le cas du Pavillon A de l'ÉTS. Cette réduction est liée à l'efficacité globale de ECCU qui est supérieure à celle pour une chaudière au GN telle qu'indiquée au Tableau 1. En revanche, le chauffage fourni par ECCU provenant de vapeur produite à partir de GN, l'utilisation d'un système électrique ou biénergie (électricité et GN) permet des réductions d'émissions plus importantes que le gain d'efficacité entraîné par le modèle d'économie de fonctionnalité.

Tableau 2 : Consommation d'énergie pour le chauffage – Pavillon A

	Consommation 2018 (GJ)					Consommation 2019 (GJ)				
	ECCU (vapeur)	Chaudière gaz naturel	Chaudière électricité	Biénergie		ECCU (vapeur)	Chaudière gaz naturel	Chaudière électricité	Biénergie	
				Chaudière gaz naturel	Chaudière électricité				Chaudière gaz naturel	Chaudière électricité
Janvier	1 974	2 161	1 974	661	1 376	2 015	2 201	1 477	933	847
Février	1 466	1 579	1 466	117	1 359	1 800	1 964	1 608	397	1 371
Mars	1 552	1 668	1 552	4	1 548	1 645	1 770	1 358	29	1 340
Avril	646	676	646	0	646	728	772	479	0	479
Mai	322	337	322	0	322	709	742	709	0	709
Juin	328	344	328	0	328	245	257	245	0	245
Juillet	229	240	229	0	229	221	232	221	0	221
Août	229	239	229	0	229	266	278	266	0	266
Septembre	206	216	206	0	206	208	218	208	0	208
Octobre	536	561	536	0	536	555	581	564	0	564
Novembre	862	905	862	36	829	1 259	1 331	718	0	718
Décembre	1 222	1 296	1 222	82	1 147	1 125	1 190	878	131	815
Annuel	9 571	10 223	9 571	899	8 754	10 776	11 535	8 731	1 490	7 783

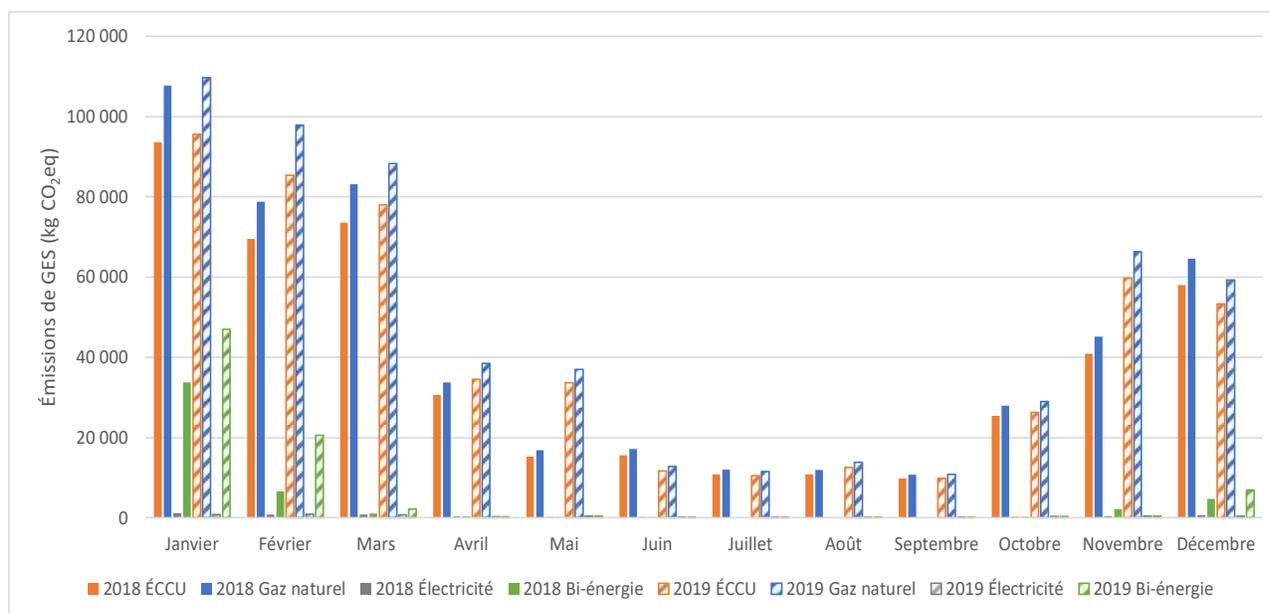


Figure 2 : Émissions de GES pour le chauffage – Pavillon A

Au niveau du refroidissement, la comparaison est complétée pour la période du 1 mai au 30 septembre 2019. La consommation d'électricité associée pour le refroidissement est présentée au Tableau 3 tandis que les émissions de GES associées pour le refroidissement sont présentées à la Figure 3. Les émissions de GES associées ont été estimées en utilisant le facteur spécifié au

Tableau 1. Pour la période étudiée, l'utilisation d'ECCU permet une réduction des émissions de GES d'environ 15%. Cette réduction est plus importante pour les mois où la consommation est plus importante (juillet et août).

Tableau 3 : Consommation d'électricité en kWh pour le refroidissement – Pavillon A

	ÉTS	ECCU
Janvier		
Février		
Mars		
Avril		
Mai	14 061	25 996
Juin	68 195	88 664
Juillet	450 463	316 402
Août	126 647	109 547
Septembre	28 805	63 535
Octobre		
Novembre		
Décembre		
Annuel	688 171	604 143

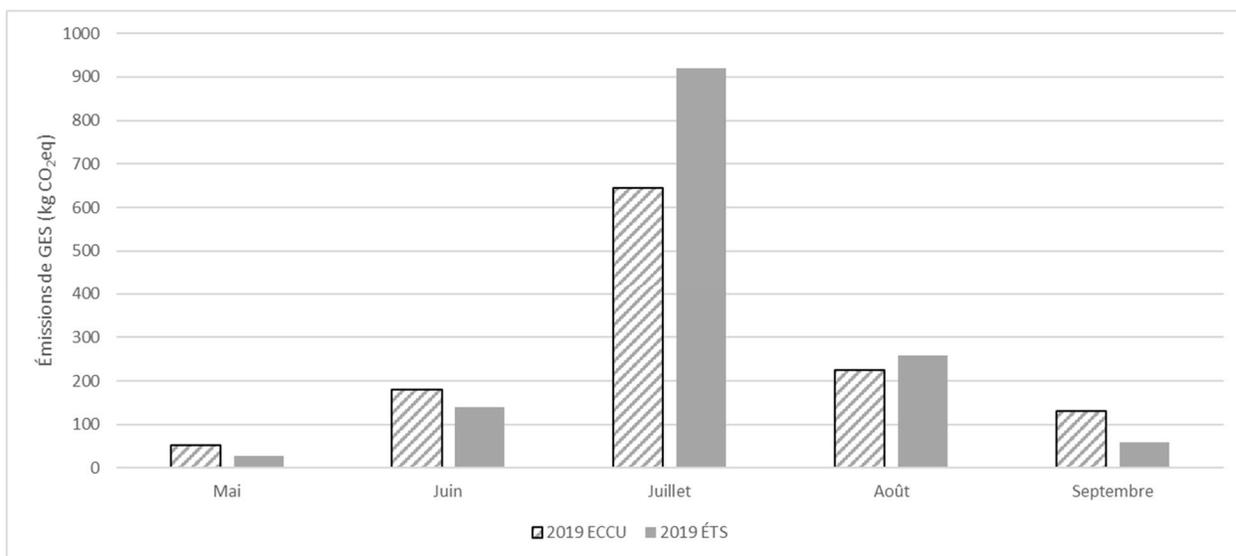


Figure 3 : Émissions de GES pour le refroidissement – Pavillon A

3.1.3 Bâtiment commercial (BC)

Pour le BC, une première collecte d'information a été complétée qui inclut les plans d'architecture et mécanique, une visite des installations mécaniques, et les données de consommation énergétique.

À partir de ces données un modèle énergétique du bâtiment a été développé (Figure 4). Ce modèle permet de compléter les différentes analyses, incluant un scénario fictif d'utilisation de systèmes de production d'eau chaude et d'eau glacée installé dans le bâtiment.

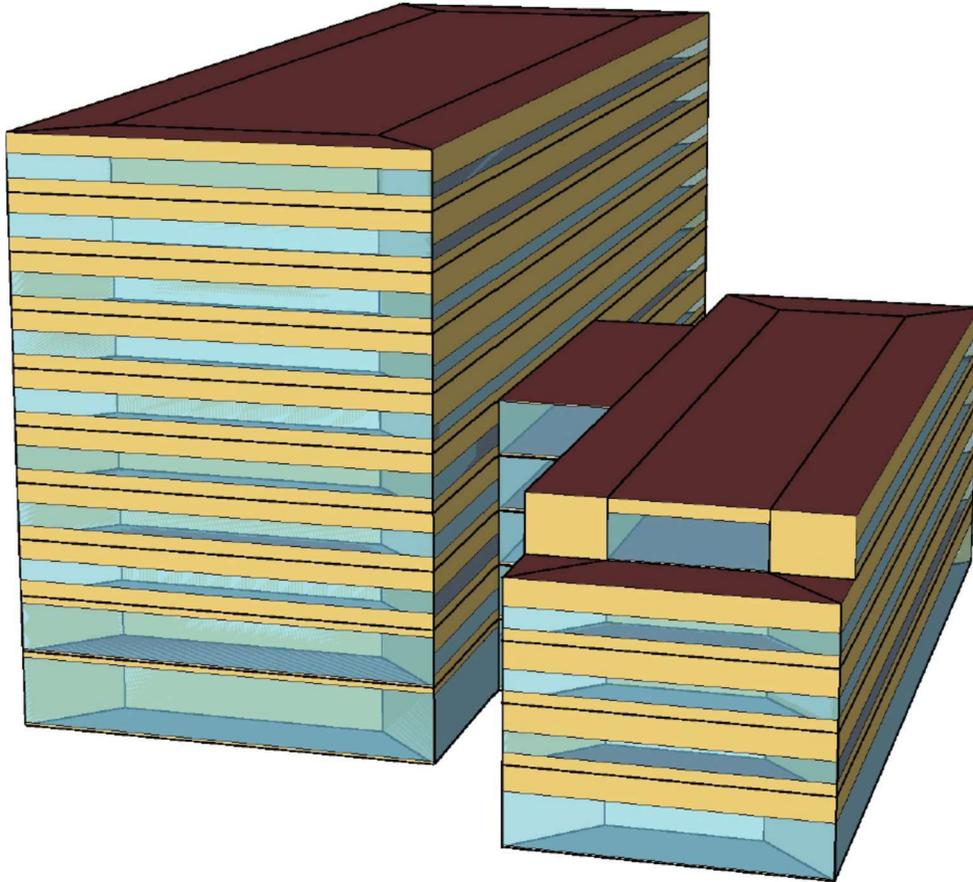


Figure 4 : Aperçu du modèle énergétique du BC

Les données journalières et mensuelles ont été utilisées pour calibrer le modèle. Le modèle est considéré comme calibré puisque les critères statistiques listés au Tableau 4 sont selon les valeurs recommandées par l'ASHRAE Guideline 14 (2014)².

Tableau 4 : Résultats de la calibration

	CV- RMSE	NMBE
Eau chaude	34	-5
Eau refroidie	27	-5
Électricité	6	4

Les données de consommation du bâtiment de référence, c.-à-d., selon les données horaires générées avec le modèle calibré, ainsi que trois différents scénarios sont présentés au Tableau 5, alors que les variations des émissions de GES sont présentées à la Figure 5.

Tableau 5 : Consommation d'énergie – BC

	Modèle simulé de référence			Tout électrique	Électrique + chauffage au gaz		Électrique + chauffage biénergie	
	Électricité, kWh	Eau chaude MJ	Eau refroidie MJ	Électricité kWh	Électricité kWh	Gaz naturel MJ	Électricité kWh	Gaz naturel MJ
Janvier	288 397	735 156	122 952	514 567	320 112	898 735	485 197	115 754
Février	267 373	716 794	110 165	485 859	295 836	876 537	447 160	157 717
Mars	301 374	474 009	304 857	479 928	358 167	571 652	462 778	53 418
Avril	290 186	235 185	527 463	421 385	365 165	275 922	415 953	0
Mai	288 829	117 777	712 377	387 763	363 789	131 520	382 246	0
Juin	291 234	43 236	1 090 125	383 444	376 213	55 342	378 207	0
Juillet	295 752	43 623	1 000 511	383 982	376 167	58 679	378 655	0
Août	296 460	37 927	1 166 012	390 533	384 063	52 602	385 245	0
Septembre	290 388	55 432	837 132	373 496	362 087	74 080	368 361	0
Octobre	282 255	122 588	514 804	378 435	348 770	156 079	373 287	0
Novembre	295 947	407 939	261 437	459 967	352 051	509 425	454 438	0
Décembre	301 324	703 954	142 128	523 418	337 051	862 326	504 332	62 860
Annuel	3 489 518	3 693 620	6 789 962	5 182 777	4 239 472	4 522 900	5 035 860	389 749

² ASHRAE. Guideline 14-2014, Measurement of energy and demand savings. Atlanta, Georgia, USA: American Society of Heating, Ventilating, and Air Conditioning Engineers; 2014.

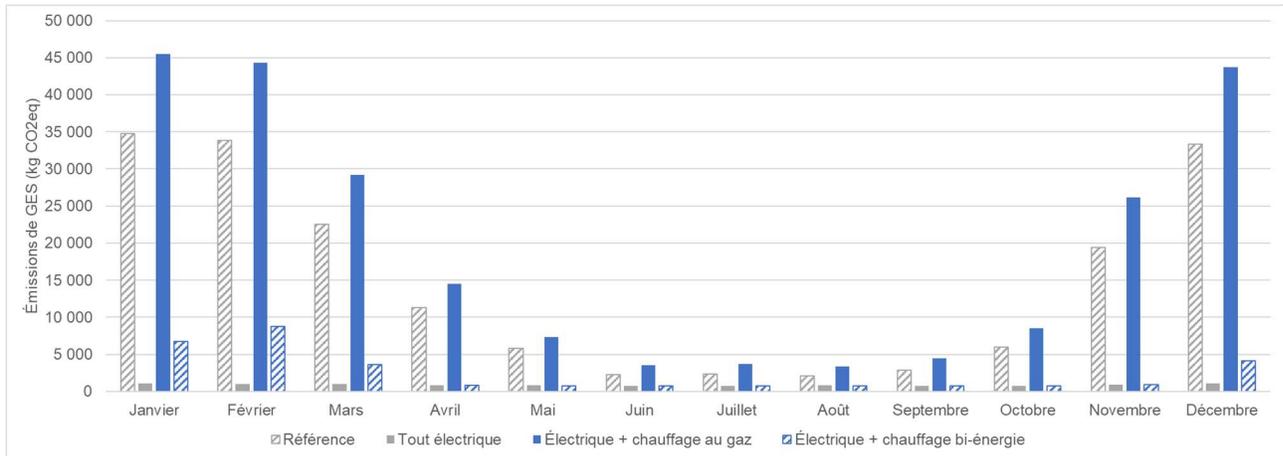


Figure 5 : Émissions de GES – BC

L'utilisation d'une chaudière au GN pour le chauffage engendre une augmentation de 32% des émissions de GES comparé à l'utilisation d'ECCU. En revanche, le scénario tout électrique, mène à une réduction de 94% des émissions alors que l'approche biénergie engendre une réduction de 83%.

3.1.4 Autres impacts environnementaux

Au delà des impacts environnementaux associés à la consommation énergétique et des GES y étant associés, il ressort des entretiens effectués dans le cadre de ce projet, que l'utilisation du service de chaleur et refroidissement fourni par la centrale ECCU présente d'autres avantages environnementaux significatifs, notamment en termes d'impacts associés aux pratiques traditionnelles de production autonome de chaleur et de froid. Tout d'abord, toutes les personnes interrogées sont unanimes sur le fait que la suppression des systèmes de refroidissement individuels sur place élimine le risque de fuites de fréon, un gaz réfrigérant utilisé dans de nombreux systèmes de climatisation et de réfrigération. De plus, l'absence de refroidisseurs individuels signifie également la suppression des tours d'eau associées. Cela se traduit par une économie d'eau substantielle, éliminant ainsi les pertes et réduisant l'usage de produits chimiques dans le traitement de l'eau. Par conséquent, il n'est plus nécessaire de se conformer aux réglementations strictes liées au traitement de l'eau, telles que les échantillonnages hebdomadaires pour détecter la présence de la légionelle, ainsi que d'autres risques associés. Le recours au service de la centrale Énergir contribue donc selon les répondants à la préservation des ressources en eau, à la réduction des produits chimiques déversés dans les égouts, et à la simplification des processus de conformité réglementaire.

3.2 Analyse des impacts économiques

3.2.1 Analyse quantitative des impacts économiques

Une analyse comparative des coûts associés au chauffage et au refroidissement des bâtiments selon que cette chaleur et ce froid soient générés par une production autonome ou par une connexion au réseau ECCU a été effectuée pour le Pavillon A de l'ÉTS (pour le chauffage pour les années 2018 et 2019) et le BC (pour le chauffage et le refroidissement pour 2021). Pour réaliser cette analyse comparative, deux types de coûts ont été analysés : (i) les coûts associés à l'énergie utilisée pour chauffer et refroidir les bâtiments et (ii) les coûts associés aux infrastructures de production de chaud et de froid (p. ex., achats et entretiens des équipements de chauffage et de refroidissement, coûts de raccordement au réseau de chaleur et de froid, etc.).

Dans le cadre de notre étude, seules les données réelles associées à la connexion au réseau ECCU étaient disponibles, via la facturation de l'ECCU pour le Pavillon A de l'ÉTS et le BC. Cette facturation est effectuée en fonction de la chaleur et du froid consommés par ces bâtiments et inclus l'ensemble des coûts d'infrastructure (e.g., coûts de raccordement, des équipements à la centrale du réseau de chaleur et froid, et coûts énergétiques associés à leur production et acheminement aux bâtiments (dans le cas du GN). Il est à noter que puisque le Pavillon A de l'ÉTS n'était pas encore raccordé à l'eau refroidie de l'ECCU en 2018 et 2019, notre analyse des coûts portera uniquement sur la chaleur pour ce bâtiment. Ces coûts annuels pour le Pavillon A de l'ÉTS et le BC sont présentés dans le Tableau 8 ci-dessous³ :

Tableau 8: Coûts annuels associés à la connexion au réseau urbain ECCU

	Pavillon A l'ÉTS		BC
	2018	2019	2021
Chaleur (vapeur)	271 808 \$	285 168 \$	-
Chaleur (vapeur) + Froid (eau refroidie)	-	-	428 287 \$

Le calcul des coûts associés à la production autonome de chaleur et de froid a été plus complexe. En effet, les données spécifiques concernant le coût d'achat et d'entretien des équipements (chaud et froid) ainsi que les données énergétiques pour le Pavillon A de l'ÉTS et le BC n'étaient pas disponibles. Face à ces importantes limitations, nous avons dû recourir à des estimations pour déterminer les coûts d'infrastructure et les coûts énergétiques associés à une production autonome de chaleur et de froid.

D'abord, les coûts d'infrastructures ont été estimés à partir d'un devis proposé par Énergir à l'un de leurs clients ayant des besoins similaires à ceux des bâtiments de notre étude. Ces données ont été calculées par une firme indépendante d'Énergir ce qui en assure une bonne qualité et fiabilité.

³ Il est à noter que ces coûts ne tiennent pas compte de ristournes éventuelles qui pourraient avoir été versées par ECCU à l'ÉTS ou au BC.

Bien que ces analyses ne soient pas directement associées à l'ÉTS et au BC, elles ont l'avantage d'être complètes et précises et tiennent compte de la réalité inflationniste économique actuelle. Notons toutefois que la superficie du bâtiment associée aux données obtenues (111 484 m²) étant supérieure à celle du Pavillon A de l'ÉTS (77 731 m²) et du BC (30 195 m²), un ajustement a dû être réalisé afin d'obtenir des coûts réalistes spécifiques à la présente étude. Plus précisément, pour le surcoût en mécanique et en architecture ainsi que pour les coûts d'opération, cet ajustement a été calculé en tenant compte d'une portion fixe (60%) et d'une portion variant en fonction de la superficie du bâtiment (40%) afin de tenir compte de l'évolution asymétrique de ces coûts dans la réalité. Les coûts associés aux subventions approximatives ont été calculés en se basant sur le pourcentage de la subvention estimée dans les données obtenues par rapport aux surcoûts en mécanique et en architecture. Les coûts associés aux infrastructures de chaleur et de refroidissement ont été estimés comme étant répartis comme suit : 60% pour le froid et 40% pour le chaud dans le cas des scénarios à chaudière au GN et des chaudières électriques. Vint pour cent supplémentaires attribuables aux équipements ont été ajouté dans le cas du scénario biénergie. Bien que cette méthode soit quelque peu simpliste et probablement pas totalement représentative des coûts réels associés aux infrastructures qui seraient requises au Pavillon A de l'ÉTS et au BC pour chauffer et refroidir ces bâtiments, cette méthode s'est avérée la meilleure estimation possible compte tenu des données et informations disponibles. Ces coûts sont présentés dans le Tableau 9 ci-dessous.

Tableau 9 : Coûts d'infrastructures – production autonome chaleur et de froid

Investissement initial

	Coûts estimés pour le Pavillon A de l'ÉTS Chaleur uniquement	Coûts estimés pour le BC Chaleur + froid
Surcoût en mécanique (tour d'eau, chaudières et main-d'œuvre)	486 698 \$	980 626 \$
Surcoût en architecture	184 920 \$	372 586 \$
Subventions approximatives	<u>(184 765 \$)</u>	<u>(372 274 \$)</u>
Investissement initial net	486 853 \$	980 938 \$
Amortissement de l'investissement initial net sur 10 ans (coût annuel)	48 685 \$	98 094 \$

Coûts d'opération

	Coûts estimés pour le Pavillon A de l'ÉTS Chaleur uniquement	Coûts estimés pour le BC Chaleur + froid
Coût de maintenance annuel	16 523 \$	33 292 \$
Gains associés à la libération de l'espace (par an)	<u>15 293 \$</u>	<u>30 813 \$</u>
Coût d'opération annuel	31 816 \$	64 105 \$

Total des coûts associés aux infrastructures d'une production autonome de chaleur et de froid

	Coûts estimés pour le Pavillon A de l'ÉTS Chaleur uniquement	Coûts estimés pour le BC Chaleur + froid
Coût annuel associé à l'investissement initial	48 685 \$	98 094 \$
Coût annuel associé aux opérations	<u>31 816 \$</u>	<u>64 105 \$</u>
Coût annuel total	80 501 \$	162 199 \$

Les coûts énergétiques ont quant à eux été estimés à partir de la modélisation énergétique effectuée pour le Pavillon A de l'ÉTS et le BC. Le coût théorique de la consommation de GN a été estimé en procédant tout d'abord à la conversion des données de consommation fournies en kilowatts équivalents (kWeq) en kWeq par heure (kWh_{eq}) puis en gigajoules (GJ) (facteur de conversion de kWh en GJ utilisé de 0,0036). Finalement, pour l'estimation du coût annuel du GN, la consommation a été multipliée par le tarif appliqué par Énergir (\$ par GJ) pour l'année respective (2018, 2019 ou 2021). À ce tarif ont été ajoutés les coûts de distribution fournis par Énergir (\$ par GJ) et basés sur la consommation moyenne de GN de ces bâtiments. Les coûts théoriques associés à l'électricité ont été déterminés à l'aide d'une approche similaire à celle du GN, passant de la consommation en kilowatts (kW) à une consommation en kilowattheures (kWh). Pour l'électricité, le tarif LG a été identifié comme le plus adapté aux besoins spécifiques du Pavillon A de l'ÉTS et du BC. La structure du tarif mensuel LG étant la suivante :

$$\text{Tarif mensuel LG} = \text{Tarif du kilowatt de puissance à facturer (\$)} + \text{Tarif par kilowattheure (¢)}$$

La puissance maximale appelée au cours de la période de consommation visée a été identifiée, puisqu'elle correspond à la puissance à facturer conformément à la définition fournie par le guide Hydro-Québec. Notons cependant que lorsque cette puissance maximale identifiée était inférieure à 5000 kW (ce qui représente la puissance à facturer minimale pour ce tarif), la puissance à facturer

retenue sur laquelle se sont basés nos calculs était de 5000 kW. Les estimations des coûts énergétiques associés à la production autonome de chaleur et de de froid ont été effectuées à partir de trois différentes sources d'énergie : (i) GN, (ii) électricité et (iii) biénergie (GN et électricité). Ces estimations sont présentées dans les Tableaux 10 et 11.

Tableau 10 : Coûts énergétiques annuels - production autonome de chaleur
Pavillon A de l'ÉTS (2018 et 2019)

	Consommation 2018					Consommation 2019				
	Chaudière gaz naturel	Chaudière électricité	Biénergie			Chaudière gaz naturel	Chaudière électricité	Biénergie		
			Chaudière gaz naturel	Chaudière électricité	Total			Chaudière gaz naturel	Chaudière électricité	Total
Chaleur	104 195 \$	156 681 \$	9 080 \$	148 907 \$	157 988 \$	120 983 \$	149 551 \$	16 435 \$	140 481 \$	156 916 \$

Tableau 11 : Coûts énergétiques annuels - production autonome de chaleur et de froid
BC (2021)

	Tout électrique	Électrique + chauffage au gaz			Électrique + chauffage biénergie		
	Électricité	Électricité	Gaz naturel	Total	Électricité	Gaz naturel	Total
Chaleur et froid	248 819 \$	215 768 \$	51 136 \$	266 904 \$	243 667 \$	4 204 \$	247 871 \$

Une synthèse de l'ensemble des coûts estimés associés à la production autonome de chaleur et de froid, et ce, pour les trois types d'énergies choisies, est présentée dans les Tableaux 12 et 13 qui représentent le coût total annuel associé aux infrastructures (Tableau 9) additionné aux coûts énergétiques (Tableaux 10 et 11) :

Tableau 12 : Coûts totaux - production autonome de chaleur
Pavillon A de l'ÉTS (2018-2019)

	2018			2019		
	Chaudière gaz naturel	Chaudière électricité	Biénergie	Chaudière gaz naturel	Chaudière électricité	Biénergie
Infrastructure	80 501 \$	80 501 \$	96 602 \$	80 501 \$	80 501 \$	96 602 \$
Consommation	104 195 \$	156 681 \$	157 988 \$	120 983 \$	149 551 \$	156 916 \$
Total	184 696 \$	237 182 \$	254 590 \$	201 485 \$	230 052 \$	253 518 \$

Tableau 13 : Coûts totaux - production autonome chaleur et froid

BC (2021)

	Tout électrique	Électrique + chauffage au gaz	Électrique + chauffage biénergie
	Chaudière gaz naturel	Chaudière électricité	Biénergie
Infrastructure	162 198 \$	162 198 \$	194 638 \$
Consommation	248 819 \$	266 904 \$	247 871 \$
Total	411 017 \$	429 102 \$	442 509 \$

Une fois les coûts associés au chauffage et au refroidissement des bâtiments selon que cette chaleur et ce froid soient générés par une production autonome ou par une connexion au réseau ECCU effectuée, il est possible de comparer ces deux options. La différence (soustraction) entre les coûts associés à la facturation effectuée par le réseau Énergir (Tableau 8) et les coûts totaux associés à une production autonome (Tableaux 12 et 13) est présentée aux Tableaux 14 et 15 ci-dessous :

Tableau 14 : Coûts-bénéfices nets associés à une connexion au réseau urbain de boucles énergétiques comparativement à une production autonome de chaleur

Pavillon A de l'ÉTS (2018-2019)

	2018			2019		
	Chaudière gaz naturel	Chaudière électricité	Biénergie	Chaudière gaz naturel	Chaudière électricité	Biénergie
Production autonome	184 696 \$	237 182 \$	254 590 \$	201 485 \$	230 052 \$	253 518 \$
Connexion au réseau urbain ECCU	271 808 \$	271 808 \$	271 808 \$	285 168 \$	285 168 \$	285 168 \$
(coûts) - bénéfices	(87 111) \$	(34 626) \$	17 218 \$	(83 683) \$	(55 116) \$	(31 650) \$

Tableau 15 : Coûts-bénéfices nets associés à une connexion au réseau urbain de boucles énergétiques comparativement à une production autonome de chaleur et de froid

BC (2021)

	Tout électrique	Électrique + chauffage au gaz	Électrique + chauffage biénergie
	Chaudière gaz naturel	Chaudière électricité	Biénergie
Production autonome	411 017 \$	429 102 \$	442 509 \$
Connexion au réseau urbain ECCU	428 287 \$	428 287 \$	428 287 \$
(Coûts) - bénéfices	(17 270) \$	815 \$	14 222 \$

Les résultats de cette analyse montrent que dans certains cas, il peut être légèrement plus économique d'avoir un équipement local par rapport à une connexion à l'ECCU (par exemple dans le cas du Pavillon A de l'ÉTS (Voir Tableau 14) alors que dans d'autres cas, tel que pour le BC, il apparaît globalement légèrement plus économique d'être connecté au réseau ECCU (voir Tableau 15). Dans tous les cas, il est important de tenir compte qu'il s'agit de calculs basés sur des estimations et que l'écart mesuré ici est dans ce contexte peu significatif.

3.2.2 Analyse qualitative des impacts économiques

Au-delà de l'analyse quantitative des impacts économiques associés à l'adoption d'une stratégie d'économie de fonctionnalité dans le domaine des énergies liées aux bâtiments, plusieurs autres impacts économiques se dégagent de notre analyse. En effet, les entretiens approfondis réalisés auprès de divers acteurs impliqués dans le projet ont mis en lumière plusieurs aspects stratégiques qui plaident en faveur de l'adoption d'une économie de fonctionnalité dans le domaine des énergies liées aux bâtiments. Ces aspects stratégiques, regroupés sous les thématiques de (i) la résilience et la fiabilité, (ii) la tranquillité d'esprit, (iii) la collaboration et accès aux compétences et (iv) les économies d'échelle, bien que difficilement quantifiable, représentent un aspect central et porteur de cette analyse des impacts économiques. Chacun de ces apports stratégiques sont détaillés ci-dessous.

3.2.2.1 Résilience et fiabilité

D'abord, le chauffage et refroidissement des bâtiments assuré par une approche en EF, sous la forme de la connexion au réseau ECCU dans le cas présent, permet aux clients d'accroître leur résilience. La résilience se définit comme la capacité à éviter des enjeux énergétiques, telle que la rupture de service, qui pourrait impacter les services de l'institution d'enseignement. Par exemple, pour l'ÉTS, il s'agit de la disponibilité continue d'eau froide ou de vapeur, afin de refroidir ou de chauffer les bâtiments afin que les activités académiques soient desservies. Avant l'implantation

du service de froid d'ECCU, une personne interrogée de l'ÉTS mentionne qu'ils ont fait face à plusieurs reprises à des défaillances avec le froid les empêchant de climatiser. Ils ont même été dans l'obligation de fermer complètement des pavillons en raison de la chaleur accablante. Dans ce contexte, une personne d'ECCU souligne qu'il n'y a eu aucune interruption de service à ECCU depuis sa fondation en 1947.

La fiabilité, soit la faible probabilité d'interruption est perçue comme un autre avantage distinctif de la connexion au réseau ECCU versus la production autonome de chaud et de froid. En effet, même si le système d'eau froide tombait en panne, les clients ne seraient pas dépourvus de services de refroidissement puisqu'une clause contractuelle oblige ECCU à fournir des installations transitoires qui permettraient la continuité des activités. Ainsi, de la machinerie temporaire serait installée à l'extérieur du bâtiment et des tuyaux seraient raccordés afin de refroidir l'immeuble. Une des personnes interrogées à l'ÉTS mentionne donc que la connexion au réseau ECCU est une approche très fiable qui permet d'éviter les interruptions. À cet effet, il mentionne que l'ÉTS est approvisionnée en vapeur par Énergir depuis 26 ans, et que durant toute cette période de partenariat, aucun incident ou interruption de fourniture de vapeur n'a été signalé, démontrant ainsi la fiabilité et la résilience du service assuré par Énergir.

Tranquillité d'esprit

L'utilisation d'une approche en ÉF en matière de chauffage et refroidissement des bâtiments entraîne également une importante diminution des préoccupations des clients inscrits dans ce modèle d'affaires. Il s'agit probablement de l'un des bénéfices les plus importants pour ceux-ci. Cette diminution des préoccupations touche principalement les trois dimensions suivantes : (i) l'embauche et la gestion du personnel (ii) les normes et les règlements (iii) la gestion de la saisonnalité et (iv) les risques sur la santé humaine.

Embauche et gestion du personnel

D'abord, la production autonome de chaud/froid augmenterait considérablement le nombre de tâches qui devraient être réalisées à l'interne chez les clients. Il faudrait notamment trouver du personnel pour s'occuper de la gestion et de l'entretien des systèmes. Toutefois, le contexte d'emploi actuel rendant le recrutement de personnel qualifié très complexe, cela pourrait se traduire par des difficultés à combler les postes et par un roulement significatif du personnel. Cet important défi pourrait représenter un enjeu stratégique majeur pour les organisations et entraîner des impacts économiques non négligeables.

Cependant, en externalisant le service énergétique via l'ECCU, les clients peuvent s'appuyer sur des experts du fournisseur de service (Énergir) pour prendre en charge l'entretien des systèmes énergétiques et la gestion de la charge de travail qui lui est associée. De plus, comme experts dans le domaine, Énergir est en mesure de recruter du personnel hautement qualifié plus facilement et de leur offrir des formations spécialisées.

Normes et règlements

La connexion au réseau de l'ECCU entraîne également une diminution du tracas relativement au suivi des normes et des règlements. À cet effet, des personnes interrogées soulignent la réduction importante de travail en lien avec les équipements sous pression, les fuites de réfrigérant et les tours d'eau. En effet, dans le cas d'une production autonome de froid, les tours d'eau sont soumises à une réglementation stricte et nécessitent plusieurs traitements pour assurer leur fonctionnement optimal. Un échantillonnage doit être réalisé chaque semaine afin de garantir la conformité de la qualité de l'eau, et des analyses régulières doivent être soumises à l'ARAQ (Association des Responsables Aquatiques du Québec) pour démontrer l'absence de légionelle. Cette situation est source de préoccupations pour les organisations concernées et représente une importante charge de travail. Cela oblige aussi les organisations à rester à jour sur la réglementation en place et sur les exigences en matière de conformité de la gestion des équipements associés à la production autonome de la chaleur et du froid. Ainsi, une approche en ÉF en matière de chauffage et refroidissement des bâtiments permet de réduire sensiblement les préoccupations de conformité aux normes et règlements, notamment en tenant compte du Projet de loi n°41 sur la cotation des édifices récemment adopté au provincial.

Gestion de la saisonnalité

La production autonome de froid amène des enjeux associés à la saisonnalité. Ces enjeux sont principalement reliés à la gestion de l'ouverture et de la fermeture des tours d'eau afin que celles-ci soient fonctionnelles lorsque nécessaire tout en réduisant le risque de bris des tuyaux et d'équipement associés au gel. À cet effet, une des personnes interrogées a mentionné que l'ouverture et de la fermeture des tours d'eau qui se situe sur le toit des bâtiments représente un défi important. Il souligne qu'il est particulièrement difficile de déterminer le meilleur moment pour démarrer la tour d'eau. En effet, au printemps, lorsque les températures commencent à augmenter, la tour d'eau est nécessaire. Cependant, si des températures négatives survenaient peu de temps après le démarrage de la tour d'eau, ceci pourrait entraîner son gel et sa rupture. Un scénario similaire se produit à l'automne, lorsque vient le temps de prendre la décision de fermer la tour d'eau. Ainsi, une décision difficile doit être prise quant à savoir s'il est préférable de fermer la tour d'eau dès les premiers gels ou de prendre le risque de la laisser fonctionner malgré la probabilité d'une hausse soudaine de température. De plus, en raison des changements climatiques, ce dilemme est de plus en plus important en raison de l'augmentation des fluctuations de températures. Une mauvaise décision en matière d'ouverture ou de fermeture des tours d'eau pourrait non seulement entraîner des coûts importants mais pourrait aussi occasionner des ruptures de services, le bâtiment devenant trop chaud ou froid pour être occupé.

Toutefois, en adoptant une approche en ÉF pour le refroidissement des bâtiments via la connexion au réseau ECCU, la gestion de la mise en service des tours d'eau n'est plus un enjeu, puisque les tours d'eau chez les clients ne sont plus nécessaires. Ainsi, le fardeau associé à ces enjeux de saisonnalité est transféré au fournisseur de service (Énergir), ce qui diminue les préoccupations pouvant être ressenties par les gestionnaires des bâtiments, les risques de ruptures de service et les coûts y étant associés. En fait, cette tranquillité d'esprit associée à la saisonnalité représente pour

l'une des personnes de l'ÉTS interrogées, l'un des avantages les plus importants de la connexion à l'ECCU.

Risques sur la santé humaine

Comme mentionné précédemment, la suppression des systèmes de refroidissement individuels dans les bâtiments élimine le risque de fuites de fréon. Une fuite de fréon peut représenter un impact environnemental et un risque pour la santé humaine car ce gaz peut être nocif et contribue au réchauffement climatique s'il est libéré dans l'atmosphère. Ces fuites, lorsqu'elles se produisent, nécessitent une documentation rigoureuse et la limitation de l'accès au local jusqu'à ce que l'air soit renouvelé. Avec l'ECCU, la nécessité de refroidisseurs individuels est éliminée, supprimant ainsi ce risque et procurant une tranquillité d'esprit accrue.

De plus, l'absence de refroidisseurs dans les bâtiments signifie également la suppression des tours d'eau associées. Cela se traduit par une élimination des risques associés à la présence de la légionelle, amenant encore une fois une tranquillité d'esprit pour les gestionnaires de ces bâtiments.

3.2.2.2 Collaboration et accès aux compétences

La collaboration et l'accès aux compétences représentent un apport stratégique central à l'adoption d'une approche en ÉF en matière de chauffage et de refroidissement des bâtiments via la connexion au réseau ECCU. En effet, le partenariat avec le réseau ECCU amène les clients connectés au réseau à avoir accès (i) à du soutien technique, (ii) à du transfert de connaissance des employés du réseau ECCU et (iii) à un réseau d'expert.

Soutien technique

D'abord, ECCU offre également un service de soutien permettant de répondre en tout temps aux questions des clients connectés au réseau. Aussi, un service de veille des installations est offert. En effet, les équipes du ECCU sont en mesure de repérer des fuites ou des bris de matériel qui entraîneraient une surconsommation de vapeur ou d'eau froide chez leurs clients connectés au réseau. Si un tel événement survient, ces derniers seraient rapidement informés afin qu'ils puissent procéder aux vérifications. Par exemple, dans le passé, le réseau ECCU a communiqué en moyenne 3 fois par année avec l'ÉTS concernant des fuites. Ce service de soutien et de veille offert par le fournisseur de services permet aux clients connectés d'optimiser leur consommation de chaleur et de froid, réduisant d'autant les coûts associés.

Transfert de connaissance entre employés

Un autre bénéfice associé à la collaboration entre le fournisseur de service et les clients du réseau ECCU est le partage d'informations et de connaissances entre les mécaniciens d'entretien des bâtiments connectés et les mécaniciens d'Énergir. À l'occasion, les mécaniciens d'Énergir se déplacent chez les clients pour réaliser des inspections et ils en profitent pour échanger avec les mécaniciens des clients. Ces visites donnent ainsi lieu à un échange d'information et de connaissance entre les différentes parties prenantes. Ces échanges et collaborations entre les équipes techniques de fournisseur de service et des clients permettent d'accroître les compétences

mutuelles, apportant des bénéfices mutuels associés notamment au potentiel de gains en efficacité, d'optimisation des processus et de prévention des bris et défaillances techniques.

Réseau d'experts

Le réseau ECCU a, au fil du temps, développé de nombreux partenariats avec diverses entreprises et parties prenantes qui ont développé à leur tour diverses expertises spécifiques en lien avec le réseau de chaleur et de froid. Ainsi, lorsque les clients ont des besoins, des questionnements ou des enjeux en lien avec le chauffage et le refroidissement de leur bâtiment, ils peuvent se faire référer par le réseau ECCU à l'un ou l'autre de ces partenaires, leur permettant ainsi d'avoir accès à un réseau d'experts disposant de compétences de pointes dans le domaine.

3.2.2.3 Économies d'échelle

La connexion au réseau ECCU peut entraîner diverses économies d'échelle comparativement à une production autonome de chaleur et de froid. Ces économies d'échelles peuvent se réaliser lors de l'identification de nouveaux besoins de chauffage et de refroidissement, de renouvellements technologiques, de l'ajout de nouveaux clients au réseau.

Nouveaux besoins de chauffage et de refroidissement

La connexion au réseau ECCU peut entraîner des économies d'échelle associée à de nouveaux besoins de chauffage et de refroidissement. Par exemple lors de la construction d'un nouveau bâtiment par un client adjacent à l'un des bâtiments déjà connecté au réseau ECCU, le raccordement de ce nouveau bâtiment au réseau, afin d'avoir accès au service d'eau froide et de vapeur, peut s'en retrouver simplifié. En effet, tant que la capacité maximale des canalisations de l'ECCU se rendant vers le bâtiment principal n'est pas atteinte, les nouveaux projets localisés tout près de ce bâtiment nécessitent peu d'investissements initiaux afin d'être climatisés et chauffés. Ceci permet de réduire substantiellement les coûts en comparaison à l'achat et l'installation d'équipement associés à la production autonome de chaleur et de froid de ce nouveau bâtiment. Ce potentiel d'économie d'échelle peut donc représenter un bénéfice économique futur pour les clients connectés à un réseau de chaleur et de froid.

Renouvellement technologique

Un autre des bénéfices associés à la centralisation des équipements au sein d'un fournisseur de service de chaleur et de froid est l'économie d'échelle associée au renouvellement technologique de ces équipements. Lorsqu'un nouvel équipement plus performant devient disponible sur le marché, il peut être beaucoup plus simple et potentiellement moins coûteux de changer un équipement centralisé que de devoir changer l'ensemble des équipements qui se retrouveraient au sein des différents bâtiments s'ils n'étaient pas connectés au réseau de chaleur et de froid. Cette économie d'échelle peut se traduire en une importante économie de coût pour l'ensemble du système fournisseur-clients du réseau ECCU. La répartition (distribution) de cette économie pourra cependant dépendre du modèle d'affaires associé au réseau de chaleur.

Ajout de nouveaux clients au réseau

L'ajout de nouveaux clients au réseau de l'ECCU peut entraîner une importante économie d'échelle pour le système, notamment en termes d'amortissement des investissements de déploiement du réseau et en termes de production de chaleur et de froid. Premièrement, la mise en place d'un réseau de chaleur et de froid comme celui de l'ECCU nécessite des investissements initiaux substantiels, car plusieurs travaux doivent être réalisés pour le déploiement initial des installations (ouvrir les rues, installation de tuyaux souterrains, etc.). Tel que mentionné dans la section précédente, lorsque les canalisations sont en place et qu'ils ne sont pas au maximum de leur capacité, très peu de coûts supplémentaires sont nécessaires pour refroidir ou chauffer un bâtiment supplémentaire situé à proximité de l'une de ces canalisations. De plus, les équipements possédés par l'ECCU et produisant la chaleur et le froid peuvent aussi ne pas être utilisés à leur pleine capacité. L'ajout d'un client supplémentaire peut alors permettre d'ajouter des ventes de ces unités de chaleur ou froid sans devoir ajouter de nouveaux équipements. Dès lors, dans les circonstances où l'ajout de nouveaux clients au réseau de chaleur et de froid n'utilise que les capacités excédentaires des infrastructures en place, les coûts pour chaque unité de chaleur ou de froid produite et livrée aux clients s'en verraient diminuer. Un autre aspect mentionné lors des entretiens est que les clients pourraient tirer profit de l'expansion du réseau ECCU, par un accroissement de la possibilité d'échanger de l'énergie entre les bâtiments.

En somme, ces économies d'échelles associées à l'ajout de clients au réseau ECCU peuvent se traduire par une réduction des coûts de production et de distribution de la chaleur et de froid. Cependant, dans le contexte où le réseau ECCU est détenu par une entreprise privée, ces économies d'échelles, tout comme celles associées au renouvellement technologique discuté dans la section précédente, pourraient être au bénéfice du fournisseur de service. En revanche, dans un contexte différent, où par exemple, les clients seraient propriétaires d'un réseau de chaleur et de froid (le réseau de chaleur et de froid étant par exemple une coopérative ou une entreprise codétenue), les bénéfices associés à ces économies d'échelles pourraient être répartis sur l'ensemble des clients. Ainsi, le modèle d'affaire du réseau de chaleur et de froid a un impact important sur les bénéfices associés aux économies d'échelles.

4 Synthèse et conclusion

La présente étude a été menée dans l'objectif d'analyser les bénéfices économiques et environnementaux potentiels associés à la mise en place d'une économie de fonctionnalité en lien avec la consommation énergétique d'un bâtiment. Les résultats issus de cette étude démontrent spécifiquement les nombreux bénéfices environnementaux et économiques de l'intégration de l'ÉF dans les opérations de chauffage et de refroidissement des bâtiments. Une synthèse de ces bénéfices est présentée dans le Tableau 16.

Tableau 16 : Tableau synthétisant les bénéfices identifiés de l'intégration de l'ÉF dans les opérations de chauffage et de refroidissement dans les deux bâtiments étudiés

Types d'impacts	Bénéfices identifiés
Environnementaux	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction de la consommation de gaz naturel et d'électricité pour le refroidissement • Réduction des GES • Réduction des risques environnementaux et sociaux
Économiques	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction des coûts associés aux infrastructures (achats et entretien) et à l'énergie • Accroissement de la résilience et de la fiabilité • Tranquillité d'esprit <ul style="list-style-type: none"> ○ Embauche et gestion du personnel ○ Normes et règlements ○ Gestion de la saisonnalité • Collaboration et accès aux compétences <ul style="list-style-type: none"> ○ Accès à du soutien technique ○ Transfert de connaissance des employés du pourvoyeur de services, ○ Accès à un réseau d'expert • Économies d'échelle <ul style="list-style-type: none"> ○ Associées aux nouveaux besoins de chauffage et de refroidissement ○ Associées au renouvellement technologique ○ Associées à l'ajout de clients au réseau de chaleur et refroidissement

Sur le plan environnemental, l'ÉF a permis de réduire la consommation de GN pour le chauffage et d'électricité pour le refroidissement, les émissions de gaz à effet de serre et les risques environnementaux et sociaux associés. Sur le plan économique, elle a entraîné des économies significatives, notamment en réduisant les coûts liés aux infrastructures et à l'énergie, tout en accroissant la résilience et la fiabilité des systèmes de chauffage et de refroidissement. De plus, le raccordement à l'ECCU a permis d'augmenter la tranquillité d'esprit des clients vis-à-vis de nombreux facteurs tels que l'embauche et la gestion du personnel, répondre aux normes et règlements et gérer les activités en lien avec la saisonnalité. Ce raccordement à l'ECCU a

également permis de bénéficier de collaborations et d'accès aux compétences via un accès au soutien technique, un transfert de connaissance des employés du pourvoyeur de services et un accès à un réseau d'experts. Enfin, l'ÉF a permis d'envisager des économies d'échelle associées à la disponibilité des ressources, au renouvellement technologique et à l'ajout de clients au réseau de chaleur et refroidissement.

Cependant, cette étude présente quelques limites et pistes de recherches futures. Premièrement, les données manquantes ont contraint à baser cette étude sur des modélisations et estimations au lieu de données réelles, amenant à rester prudent sur les résultats quantitatifs obtenus. Aussi, le nombre de bâtiments analysés dans cette étude étant restreint (deux bâtiments), de futures recherches seraient requises pour confirmer les résultats obtenus et analyser l'impact de l'ÉF dans le volet énergétique dans d'autres types de bâtiments (ex : commerce de détail, usine, etc.). De plus, cette étude s'étant limitée aux bénéfices environnementaux et économiques de l'ÉF, des études futures pourraient élargir l'analyse de la mise en œuvre d'une économie de fonctionnalité en lien avec la consommation énergétique d'un bâtiment en incluant les impacts sociaux. Finalement, cette étude s'étant focalisée sur le chauffage et le refroidissement uniquement, de futures études pourraient analyser le potentiel d'application de l'ÉF à d'autres usages associés aux opérations d'un bâtiment, tels que les ascenseurs, la sécurité, le recouvrement de plancher, l'éclairage, etc.

Partenaires financiers du lab construction :

