

Étude de cas

Le Centre de valorisation des données de l'Université Laval:

Un centre de données à la fine
pointe de la technologie qui innove
en matière de développement
durable

**Présenté au ministère de l'Environnement
et de la Lutte contre les changements
climatiques**

Septembre 2021



L'équipe de réalisation

Université Laval

Rédaction

Claire Bourget

Directrice intelligence d'affaires
et recherche marketing

[Académie de la transformation numérique](#)

Experts interviewés

Daniel Bourgeois

Directeur en électricité

[SNC-Lavalin](#)

Étienne Drouin

Service des immeubles

[Université Laval](#)

Éric Boulanger

Direction des technologies de l'information

[Université Laval](#)

Un mot sur

l'Université Laval

Animée par un esprit d'innovation et la recherche de l'excellence, l'Université Laval fait partie des principales universités de recherche au Canada. Elle s'y classe au 7^e rang grâce à des fonds de plus de 400 M\$ alloués à la recherche l'an dernier. Leader en formation à distance, elle compte plus de 1 650 professeurs, plus de 2 300 chargés de cours et autres membres du personnel enseignant et de recherche qui partagent leur savoir avec quelque 45 000 étudiants, dont 27 % sont inscrits aux cycles supérieurs. L'Université valorise la diversité et est fière des membres de sa communauté, qui proviennent de 135 pays. Plus ancienne université francophone d'Amérique du Nord, l'Université Laval a formé à ce jour plus de 319 000 personnes qui participent, chacune à leur façon, au progrès des sociétés.

// Table des matières

Introduction	4
Le projet du Colosse comme source d'inspiration à la construction du Centre de valorisation des données	5
Historique	6
Originalité du projet	7
Considérations économiques	11
Acceptabilité sociale	12
Contexte de création du Centre de valorisation des données	13
Objectifs de fiabilité à atteindre	14
Quelques caractéristiques du programme de certification de l'Uptime Institute	18
Principales mesures écoresponsables intégrées dans la conception et la construction du Centre	19
Récupération d'énergie pour le reste du campus de l'Université	23
Performance obtenue	27
Récupération des équipements en fin de vie	28
Conclusion	29
Références	30

// Introduction

Le Centre de valorisation des données offre un espace pour accueillir des milliards de données générées par la recherche, les entreprises et les organisations gouvernementales.

C'est dans le contexte de l'augmentation de la quantité de données générées et exploitées dans tous les domaines du savoir ainsi que de la montée du numérique que l'Université Laval s'est dotée de nouvelles infrastructures rendues nécessaires pour traiter et exploiter des données dites « massives ». En septembre 2019, l'Université Laval annonçait officiellement l'ouverture de son nouveau Centre de valorisation des données. Financé par les deux paliers de gouvernement du Québec et du Canada, ce nouveau centre a été réalisé au coût de 21,5 M\$. Le bâtiment ultramoderne qui l'habite est situé sur la rue de la Terrasse à proximité de la Faculté de médecine dentaire.

« Pour l'Université, le Centre de valorisation des données, c'est un tremplin qui va nous propulser dans nos capacités de recherche », avait déclaré Sophie D'Amours, rectrice lors du lancement en septembre 2019. Avec ce Centre, l'Université Laval offre des services de pointe permettant d'appuyer les activités de recherche qui génèrent ou nécessitent le traitement de grandes quantités de données. On citait alors en exemple lors du lancement les travaux de recherche de Sentinelle Nord, et aussi ceux de l'espace collaboratif PULSAR. Avec ce Centre, l'Université soutient aussi de nouveaux programmes d'enseignement, entre autres le programme de maîtrise en informatique avec majeure en intelligence artificielle. Le Centre est aussi disponible pour y louer des espaces serveur à des clients externes, notamment des organismes gouvernementaux.

En plus d'augmenter considérablement la capacité à traiter et à exploiter des données massives liées à la recherche et à l'enseignement, notamment sur l'intelligence artificielle, le Centre est véritablement un exemple à suivre en matière de développement durable. La construction de ce dernier s'est en effet appuyée sur des principes de développement durable, qui permettent d'améliorer la performance des infrastructures de l'Université Laval par la récupération énergétique provenant entre autres de la chaleur des serveurs du Centre.

C'est à la demande du ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) que l'Académie de la transformation numérique (ATN) a préparé cette étude de cas. Les sujets abordés dans celle-ci sont les suivants : la vision de développement durable à l'origine du projet, le contexte de création du Centre et ce qui en a inspiré l'écoconstruction, les moyens mis en place pour récupérer ou économiser l'énergie et enfin, la mesure des performances obtenues.

// Le projet du Colosse comme source d'inspiration à la construction du Centre de valorisation des données

L'Université Laval avait déjà connu une première expérience d'un centre de données massives dont elle s'est inspirée par la suite pour la construction du Centre de valorisation des données. Il s'agit du Colosse, une tour de béton de 20 mètres de haut et de 11 mètres de diamètre ayant hébergé de 1960 à 2000 un accélérateur de particules dédié à la recherche nucléaire (voir figure 1). L'Université Laval avait décidé finalement de transformer cet immeuble en salles de serveurs. Le projet, dirigé localement par Marc Parizeau, Ph.D, professeur de génie informatique et directeur scientifique par intérim de Calcul Québec, comprenait l'aménagement d'un lieu de même que l'achat du supercalculateur.

Ce projet de transformation de vocation d'immeuble demeure un bel exemple de la collaboration de plusieurs entités institutionnelles, que ce soit au niveau de l'expertise, du partage des ressources ou du support en gestion de projet. Avec la collaboration du Service des immeubles de l'Université Laval, ce projet a également impliqué des experts externes en efficacité énergétique, en plus d'impliquer les départements de Génie informatique-électronique, de Génie physique et de Génie mécanique de même que l'équipe de la Direction des technologies de l'information de l'Université Laval.



Figure 1 : Tour hébergeant l'accélérateur Van der Graaf, vers 1965



Figure 2 : Tour hébergeant le Colosse, supercalculateur, 2014

// Historique

À la même période où différentes options étaient envisagées pour trouver un nouvel usage à cette tour du Campus de l'Université Laval ayant logé jusqu'alors un accélérateur de particules, on était à la recherche de locaux pour loger une nouvelle salle de serveurs appelée le supercalculateur Colosse. Une salle adjacente à l'accélérateur avait au préalable été envisagée pour le Colosse.

On a assez vite réalisé qu'il était possible de tirer profit des caractéristiques très particulières de ce lieu. La forme des locaux était plutôt inusitée, mais on a réalisé que la tour permettrait de créer un confinement uniforme entre une partie périphérique froide et une partie centrale chaude, que l'épaisseur des murs pouvait protéger des variations extérieures de température et qu'on n'avait pas besoin non plus de fenêtres. Une fois transformé, l'intérieur comprenait 4 étages : le niveau 1 logeant les systèmes électromécaniques, les niveaux 2 à 4 logeant aux serveurs.

Avec cette réorientation de la vocation de l'édifice, on a évité la démolition du bâtiment, de même que la construction d'un nouveau. On a évité aussi d'avoir à entretenir une infrastructure inutilisée ou mal utilisée (entrepôt, etc.).

Un bâtiment durable, c'est aussi celui qui demande peu de ressources en entretien et opération. La simplicité des systèmes électromécaniques s'inscrit dans cette logique. Le bâtiment avait aussi l'espace et la capacité de ventilation suffisants pour ajouter des serveurs; un troisième palier a été aménagé à cette fin.

Étant donné les expérimentations précédentes (accélération de particules), plusieurs échantillonnages de la radioactivité ont été pris avant la reconversion, et ce, afin de garantir la sécurité du personnel ainsi que l'innocuité des déchets et matériel excédentaire. Aucune trace de radioactivité n'a été décelée. Le sablage de l'ancienne peinture extérieure a nécessité des soins particuliers (recouvrement par une toile) pour éviter la dispersion des contaminants potentiels associés à la peinture au plomb.

En 2015, l'Association québécoise de la maîtrise de l'énergie a d'ailleurs décerné son prix Énigme-Bâtiment existant – secteur institutionnel au Colosse de l'Université Laval pour cette transformation. Au cours de la même année, le Colosse a aussi gagné le prix Pilier d'or de l'Association des gestionnaires de parcs immobiliers institutionnels.

// Originalité du projet

La disposition des serveurs de manière cylindrique verticalement était et demeure unique au monde. Les salles conventionnelles sont généralement disposées en carré sur un étage, avec un plancher surélevé pour la climatisation. Comme nous le verrons plus loin, c'est le cas notamment du Centre de valorisation des données.

Dans la configuration transformée sur trois étages, les serveurs ont été placés plus rapprochés les uns des autres, procurant une réduction des longueurs de filage en cuivre, diminuant d'une part les risques réseautiques d'erreur (facteur important pour un supercalculateur) et d'autre part le poids du câblage. La réduction de longueur de filage a représenté une diminution à la source de matériel neuf, autre avantage environnemental.

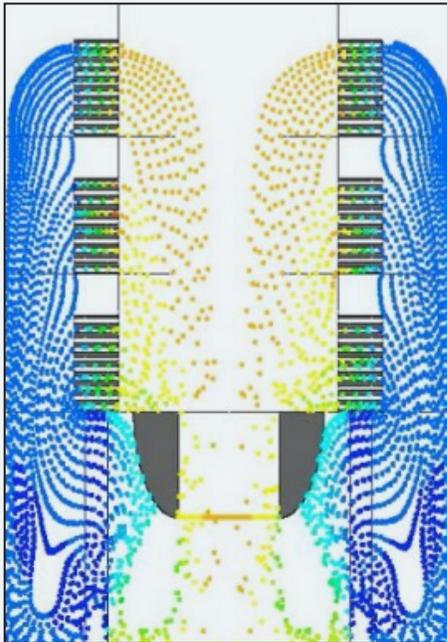


Figure 3 : Modélisation de l'écoulement et de la température de l'air

Le système de refroidissement des serveurs était innovateur. L'exploitation du bâtiment comme un conduit de ventilation était un design inusité qu'on pouvait classer dans l'écoconception. À la phase concept, une simulation assistée par ordinateur de l'écoulement d'air a permis d'évaluer la température de l'air en différents endroits du cylindre et de démontrer l'efficacité de la distribution de l'air. En plus de valider la faisabilité du concept, ces données colligées ont été utilisées pour rassurer les fournisseurs d'équipement de calcul informatique de pointe qui éprouvaient de sérieuses inquiétudes.

Par la simplicité du design, le refroidissement des serveurs était optimal. En l'absence de conduits de ventilation, la vitesse d'écoulement de l'air fut diminuée de moitié en comparaison à une installation standard avec plancher surélevé. La puissance des ventilateurs fut réduite au minimum, ce qui généra des économies d'énergie substantielles.

Le concept de refroidissement des serveurs était également innovateur sur le plan de la sélection des équipements mécaniques. Les concepteurs ont opté pour des équipements standards moins coûteux que les systèmes spécialisés pour salle informatique. La disposition regroupée des six ventilateurs axiaux à entraînement direct a permis une redondance et une facilité d'entretien.

La configuration des serveurs sur trois étages a également permis de maximiser le différentiel de température de l'air de ventilation (alimentation vs retour). Ceci a permis de sélectionner les serpentins d'eau réfrigérée à 20 degrés Celsius de différentiel de température sur l'eau, ce qui était exceptionnel.

Plusieurs éléments de ce projet ont concouru à **l'efficacité énergétique**. En voici une brève explication :

Confinement de l'air froid/chaud : Puisque l'installation fut faite dans une tour de quatre étages, le confinement s'exerça entre un périmètre froid et un noyau chaud. L'air d'alimentation et de retour traversait les planchers grillagés pour atteindre les équipements mécaniques situés au bas de la tour.



Il s'agissait donc d'un système de ventilation sans conduit d'air permettant une basse vitesse d'écoulement, une très faible pression statique en raison de la faible turbulence, et une force motrice minimale. La température d'alimentation/retour était de 19 et 32 degrés Celsius respectivement. Les lignes directrices suggèrent une plage de 18 à 27 degrés Celsius à l'alimentation. Les serveurs du Colosse opéraient donc dans des conditions favorables.

Figure 4 : Périmètre froid à gauche et noyau chaud à droite (avec les serveurs au fond à droite)

Ventilation efficace : Six ventilateurs axiaux à entraînement direct et débit variable opéraient à très basse vitesse, soit moins de 25 Hz. La vitesse des ventilateurs était modulée pour maintenir un différentiel de pression statique fixe entre le périmètre froid et le noyau chaud. Ce contrôle novateur permettait de réduire la consommation d'énergie des ventilateurs en ajustant le débit d'air en fonction de la demande de refroidissement des ordinateurs.



Figure 5 : Au niveau 1 :
équipement de mécanique
conventionnels, i.e. serpentins de
refroidissement et ventilateurs à
l'intérieur

Refroidissement efficace : L'évacuation de la chaleur était assurée par le réseau central d'eau réfrigérée du campus de l'université. Ce réseau avait alors une efficacité globale annuelle de 0,576 KW/tonne. Les serpentins de refroidissement ont été sélectionnés pour un différentiel de température côté eau de plus de 20 degrés Celsius, soit de deux à trois fois le standard de l'industrie. Le système d'apport d'air extérieur ajoutait une contribution par du refroidissement gratuit répondant à 50 % des besoins. Lorsque la température extérieure était inférieure à 13 degrés Celsius, l'air extérieur était chauffé par le rejet de chaleur du Colosse, via un réseau de glycol.

Récupération de chaleur : En hiver, la chaleur rejetée dans le réseau central d'eau réfrigérée était reprise par d'autres pavillons du campus. Ces pavillons possédaient (et possèdent encore aujourd'hui) des pompes thermiques eau/eau qui génèrent de l'eau de chauffage à 40 degrés Celsius, tout en produisant de l'eau réfrigérée. L'eau de chauffage basse température est utilisée pour du chauffage de prises d'air et de gaines chaudes de systèmes de ventilation. Considéré comme étant très bon, le coefficient de performance de ces pompes thermiques était de l'ordre de 7. La source d'énergie thermique de ces pavillons est la vapeur produite par une centrale fonctionnant au gaz naturel et au mazout. L'économie annuelle était de l'ordre de 130 000 m³ de gaz naturel, ce qui évite l'émission de 245 tonnes de CO² équivalent.

Humidification efficace : L'humidification de l'air extérieur nécessaire à la pressurisation et à la dilution était générée par un humidificateur adiabatique.

Power Usage Effectiveness (PUE): L'indicateur d'efficacité qui caractérise les salles de serveurs est le Power Usage Effectiveness (PUE) qui est le rapport entre la consommation totale de la salle sur la consommation des équipements informatiques. Les données recueillies sur une base continue d'un an démontraient un **PUE de 1,28** pour le Colosse. Selon un sondage réalisé en 2010 par Energy Star (EPA), la moyenne des PUE se situait à 1,91, et s'échelonnait entre 1,25 (salle performante) et 3,75 (Réf.: Energy star for data centers, 2010). Le Colosse était donc très performant pour l'époque (construit en 2010), et encore aujourd'hui sachant que les meilleures salles de serveurs ont un PUE de l'ordre de 1,10. De plus, pour atteindre un tel niveau, il faut déployer des moyens extraordinaires.

Réduction totale de la consommation d'énergie : L'économie d'énergie associée à un PUE de 1,28, comparée à un PUE de 1,91 s'élève à 1 685 880 kWh/an. En d'autres termes, l'infrastructure électromécanique de soutien du Colosse ne consommait que 30 % de l'énergie consommée par une infrastructure standard. En y ajoutant la récupération de chaleur, soit 1 150 000 kWh/an, la réduction totale de la consommation d'énergie en comparaison d'une salle de serveurs standard était de 2 835 880 kWh/an, soit une réduction de la facture d'énergie de près de 200 000 \$/an à un coût de 0,07 \$/kWh.

Réduction des GES : Globalement on a pu éviter des émissions de gaz à effet de serre à plusieurs moments du projet : en phase de construction (fabrication du béton et de la structure métallique, machinerie) et en phase d'opération (consommation énergétique moindre, récupération de chaleur). Seules les émissions évitées grâce à la récupération de chaleur ont été quantifiées : 245 tonnes de CO² équivalent, ce qui correspond aux émissions d'une soixantaine de voitures annuellement.

Suivi : En phase d'opérations, le département de Génie informatique, la Direction des technologies de l'information et le Service des immeubles maintiennent les communications, procurait une mise en service en continu de l'installation. En effet, Florent Parent, chef de la division des calculs haute performance, surveille en temps réel la consommation des équipements informatiques et la consommation des systèmes mécaniques tels que réseau d'eau refroidie, consommation électrique totale. Grâce au logiciel Splunk permettant la lecture de données non structurées, il devient possible d'établir des liens avec les fonctions informatiques, la consommation énergétique et de calculer le PUE. Il était aussi possible d'ajuster les systèmes de ventilation, réfrigération, etc.

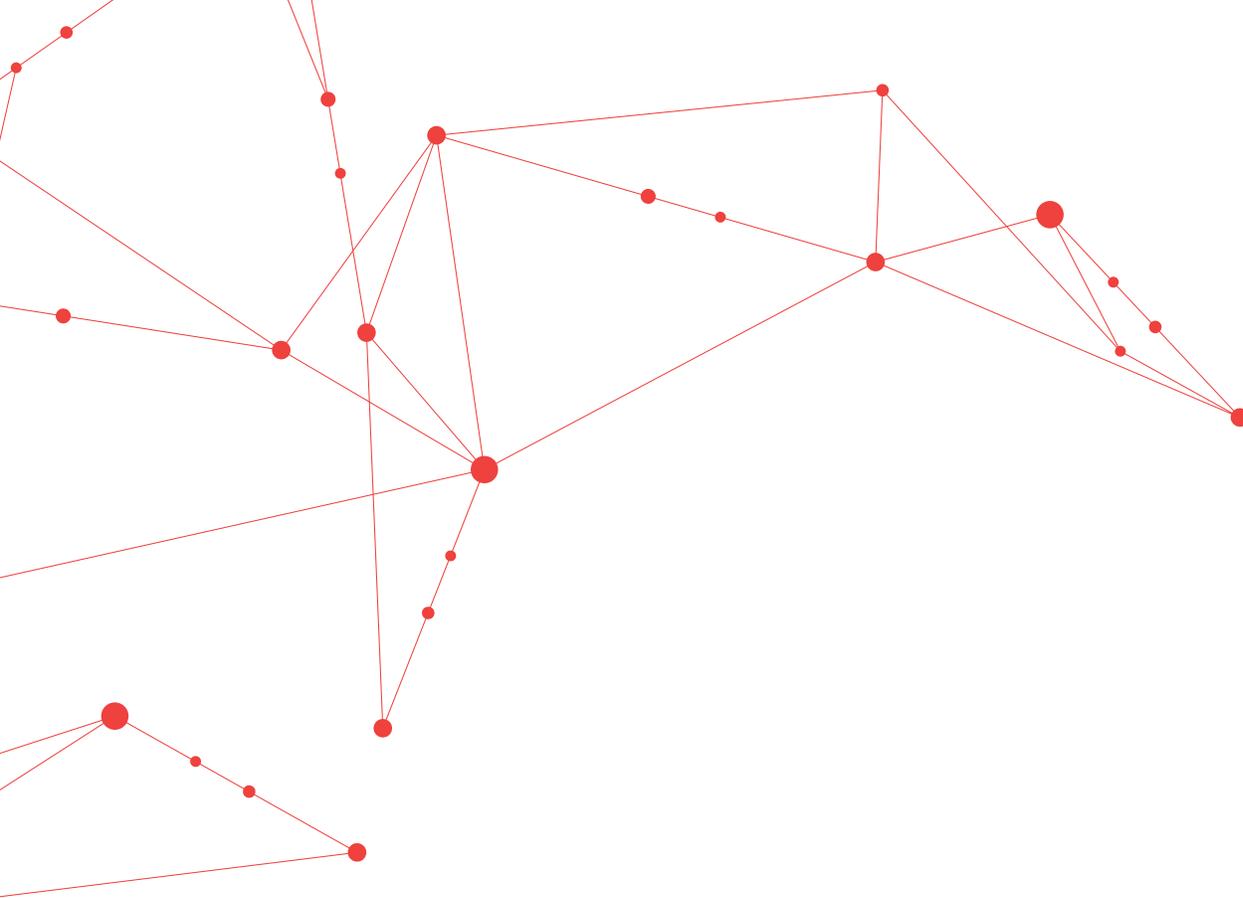
// Considérations économiques

Les coûts reconnus pour la construction d'une salle de serveurs de même calibre (même densité et même « tier ») oscillaient entre 7 \$/W (salles préfabriquées, en 2014) et 10 \$/W (en 2010) (selon différentes sources d'information colligées par l'équipe de l'Université Laval en 2014). L'installation du Colosse a coûté 2,96 \$/W pour un total de 3 260 329,74 \$. Il est évident que des coûts ont été évités en récupérant le bâtiment existant.

La mécanique de ventilation et de refroidissement était composée d'équipements standards pouvant être obtenus auprès de nombreux fournisseurs, donc à un prix très concurrentiel à l'achat et à l'entretien. Les systèmes spécialisés de type monobloc ou de type « *rack mounted* » avaient été écartés. On estimait qu'environ 500 000 \$ en construction avaient été économisés grâce à la conception et aux systèmes électromécaniques déployés, par rapport à une installation conventionnelle. En entretien, la diminution des coûts annuels au niveau mécanique représentait 11 600 \$.

L'efficacité de la ventilation éliminait tout îlot de chaleur aux serveurs. L'écoulement de l'air s'effectuait sans turbulence (le design cylindrique évitant les effets de coin); de plus le filage ne créait pas de restriction à l'écoulement. La durée de vie des serveurs fut prolongée par ces caractéristiques. Également, l'installation peut accepter une augmentation de 50 % de la densité des serveurs, sans modification à la mécanique.

Même inoccupé, il en aurait coûté 29 000 \$ annuellement pour maintenir et entretenir le bâtiment. Ces coûts ont été évités.



// Acceptabilité sociale

Le silo de l'accélérateur, datant de 1962, a toujours constitué un repère visuel sur le campus. Selon l'étude « Le patrimoine moderne du Campus de l'Université Laval: le pavillon Alexandre-Vachon » (ABCP Architecture et urbanisme, 2009), sa conservation était essentielle à la préservation du patrimoine du campus.

L'extérieur du silo a été restauré par la réfection de la peinture et la mise en valeur d'un artéfact rappelant la recherche qui s'y effectuait (électro-aimant bleu et rouge). Autre élément favorisant l'intégration dans le paysage: les systèmes électromécaniques étaient localisés au sous-sol, ce qui n'affectait pas l'aspect visuel extérieur.

La fonction actuelle est en continuité avec la fonction originale de recherche, facilitant l'acceptabilité du projet parmi toutes les options proposées. En effet, jusqu'à une douzaine d'options avaient alors été envisagées, allant du hall d'entrée à un musée. Ce lieu historique, qui fait partie des premiers bâtiments du Campus, comprend maintenant une infrastructure de calcul informatique de pointe de classe mondiale. Le Colosse est aujourd'hui une plateforme nationale de calcul haute performance à la disposition des membres du consortium Calcul Québec et autres clients externes.

// Contexte de création du Centre de valorisation des données

L'Université Laval se préoccupe depuis 2006 de ses émissions de gaz à effet de serre et elle s'est dotée d'un rigoureux plan en efficacité énergétique. La construction du Centre de valorisation des données spécialisé en collecte, traitement et valorisation des données massives de l'Université Laval s'inscrit donc dans ce plan. On souhaitait dès le départ du projet créer des synergies créatrices de richesse et d'innovation et optimiser les processus et contribuer aussi à l'atteinte des objectifs canadiens en matière de changements climatiques.

Issues d'une collaboration entre les équipes du Service des immeubles, de la Direction des technologies de l'information et des activités d'enseignement et de recherche, ce projet de construction a été financé à hauteur de 21,5 M\$ par les gouvernements du Québec et du Canada, par l'entremise du programme fédéral du Fonds d'investissement stratégique pour les établissements postsecondaires. Un des objectifs était de louer des espaces serveurs à des clients externes. Par exemple, les serveurs du Centre hospitalier universitaire de Québec-Université Laval (CHU) étaient hébergés au Centre à son ouverture.

«(...) Le Centre vient renforcer nos installations actuelles et augmenter considérablement notre capacité à gérer, à transporter et à traiter les données provenant des travaux de recherche et de diverses sphères d'activité» avait mentionné Sophie D'Amours, rectrice de l'Université Laval lors du lancement.

«Nous sommes désormais capables d'offrir des services de pointe permettant d'appuyer les activités de recherche, qui génèrent ou nécessitent de grandes quantités de données, comme les travaux de recherche de Sentinelle Nord ou ceux de l'espace collaboratif PULSAR. Nous pouvons aussi soutenir de nouveaux programmes d'enseignement, entre autres le programme de maîtrise en informatique avec majeure en intelligence artificielle. Le Centre permet également de soutenir des initiatives de type laboratoire expérimental virtuel. Il servira ainsi d'incubateur et de banc d'essai pour les entreprises» avait également affirmé André Darveau, vice-recteur à l'administration de l'Université Laval. Le Centre se veut aussi physiquement hautement sécuritaire et complètement fermé.

Figure 6 : Le CVD, un bâtiment à très haute disponibilité, éco énergétique et à l'allure ultramoderne

Photo Métro Média – François Cattapan



// Objectifs de fiabilité à atteindre

Avec la collaboration de la firme SNC Lavalin, il fut établi au départ que le besoin serait de loger dans le Centre **57 cabinets de serveurs** d'une puissance moyenne par cabinet de l'ordre 10.5 KW pour un total de **600 KW**¹. En fonction de ce besoin, il fut établi par l'équipe d'ingénieurs qu'une salle d'une dimension de 195 mètres carrés (14 mètres x 14 mètres) serait requise. Cette valeur de 600 KW est importante, car pour la construction d'un centre de données, il s'agit de la donnée de base à partir de laquelle toute la conception des infrastructures est établie. La conception se fait donc à partir de cette valeur de la puissance requise qui est ici de l'ordre de 600 KW.

Au départ, il a été établi que les nouvelles installations allaient répondre aux exigences de la firme internationale **Uptime Institute** spécialisée depuis 1993 en certification de performance d'infrastructure numérique dans la conception, la construction et l'exploitation de sites de centres de données dans plus de 100 pays. Cette entreprise est connue en particulier pour avoir développé la notion de « Tier » pour les centres de données, largement adopté dans le monde.²

Dans le cas précis du nouveau centre de données de l'Université Laval, un niveau Tier III ou N+1 avait été établi comme niveau cible de fiabilité. Le N représente la puissance de base requise qui est ici de 600 KW. Un tel niveau de certification implique entre autres que tout un chacun des composants du centre de données est dupliqué afin d'augmenter la fiabilité du système, ce qui signifie que tous les composants et circuits de distribution sont redondants. Dit autrement, à ce niveau de fiabilité, on doit être en mesure de faire la maintenance de n'importe quelle composante du réseau sans coupure d'alimentation électrique des serveurs et sans coupure du système de refroidissement des serveurs, et ce, même en situation de panne d'Hydro-Québec. Il pourrait s'agir par exemple, d'une maintenance à faire sur l'une ou l'autre des génératrices du système (il y a au total 3 génératrices). A ce niveau cible de fiabilité, pendant une panne d'alimentation électrique, on doit être capable de faire par exemple un changement d'huile sur une des génératrices du système sans jamais avoir d'impact sur l'alimentation du centre de données. N'importe quelle composante doit être isolée pour maintenance sans provoquer d'arrêt.

¹ 600 KW est l'équivalent de 30 maisons ou 750 grille-pains (information fournie à titre d'illustration par les experts de SNC Lavalin)

² Pour plus d'informations : <https://uptimeinstitute.com/tier-certification>

³ ASSC signifie alimentation statique sans coupure

La configuration N+1 s'est traduite par la mise en place de 3 séries d'ASSC³ (UPS en anglais) de 300 KW/série (total de 900 KW), de 3 génératrices de 500 KW chacune (total de 1500 KW), ainsi que de 3 refroidisseurs de 100 T chacun (total de 300 tonnes). À pleine charge, deux des trois unités fonctionnent, laissant la troisième en redondance.

En plus des 3 génératrices dédiées à la salle des serveurs du CVD, deux génératrices de 1 mégawatt chacune ont été installées afin de desservir un réseau d'urgence sous-terrain (possibilité d'expansion en y greffant d'autres pavillons). Le réseau d'urgence sous-terrain dessert plusieurs pavillons évitant ainsi l'installation de réservoir pétroliers et de génératrices dans chacun de ceux-ci (économie d'espace dans les pavillons). Les coûts d'entretien et de main d'œuvre s'en trouvent donc réduits et les inconvénients liés aux essais mensuels des génératrices (bruits, vibrations, coupures électriques) sont éliminés.

Les deux génératrices de 1 mégawatt sont raccordées sur un système de gestion de la puissance qui fait démarrer une ou deux génératrices selon la demande ou si l'une d'elle tombe en panne. Cela assure la redondance de ce système.

Au niveau le plus élevé du programme de certification d'Uptime Institute, soit le niveau Tier IV, on est tolérant à un bris de n'importe quel équipement même en situation de panne. Ce système de classification ne tient pas compte cependant des éléments externes comme l'alimentation en énergie ou en eau. Hydro-Québec qui alimente en électricité le Campus de l'Université Laval enregistre en général peu de pannes.

Mentionnons que l'Université Laval s'est inspirée du programme de certification de l'Uptime Institute sans en obtenir la certification officielle, et ce, pour des raisons de coûts. Selon l'expert de SNC Lavalin consulté, le Centre satisfait tout à fait les critères requis. Des tests ont été faits et la salle satisfaisait tous les critères de l'Uptime Institute. Les deux tableaux suivants présentent un résumé des exigences définies par cette organisation de même que le taux de disponibilité requis selon le type de certification :

Résumé des exigences définies par le Uptime Institute

Dans ce tableau, la « Distribution Électrique Critique » regroupe l'ensemble du réseau de distribution électrique de la sortie de l'onduleur jusqu'aux équipements informatiques.

Composant	Tier I	Tier II	Tier III	Tier IV
Électricité et froid pour le fonctionnement en charge	N	N+1	N+1	N après n'importe quelle défaillance de l'un d'entre eux
Circuits de distribution	1	1	1 actif et 1 alternatif	2 actifs simultanément
Distribution Électrique Critique ¹	1	1	2 actifs simultanément	2 actifs simultanément
Maintien du service en cas de maintenance	Non	Non	Oui	Oui
Tolérance aux pannes	Non	Non	Non	Oui
Compartmentage	Non	Non	Non	Oui
Refroidissement continu	Non	Non	Non	Oui

Source : https://fr.wikipedia.org/wiki/Uptime_Institute

Taux de disponibilité

Il est souvent associé à chaque Tier un niveau de disponibilité statistique. Ainsi les centres de données Tier IV ont un taux de disponibilité annoncé de 99,995 %. Cette valeur qui correspond à 26 minutes de coupure par an doit être correctement interprétée. Cette durée peut se traduire par 30 secondes de coupure par semaine (ne correspondant pas à l'objectif de disponibilité), ou une demi-journée tous les 10 ans, correspond à l'objectif recherché.

Il convient donc d'être très prudent dans l'interprétation des valeurs ci-dessous :

Type de tier	Caractéristiques	Taux de disponibilité	Indisponibilité statistique annuelle	Maintenance à chaud possible	Tolérance aux pannes
Tier I	Non redondant	99,671 %	28,8 h	✗ Non	✗ Non
Tier II	Redondance partielle	99,749 %	22 h	✗ Non	✗ Non
Tier III	Maintenabilité	99,982 %	1,6 h	✓ Oui	✗ Non
Tier IV	Tolérance aux pannes	99,995 %	0,4 h	✓ Oui	✓ Oui

Source : https://fr.wikipedia.org/wiki/Uptime_Institute

La norme Tier Standard d'Uptime Institute est la norme mondialement reconnue pour la fiabilité et les performances globales des centres de données. Il permet de choisir différents niveaux de performances en fonction des applications prévues et des paramètres métier associés à ces applications. Avec plus de 2 500 certifications de niveau délivrées dans plus de 110 pays à travers le monde, la certification de niveau d'Uptime Institute est la norme de l'industrie pour la conception, la construction et les opérations en cours.

Source : uptimeinstitute.com/tier-certification

Au Canada, selon les informations disponibles sur le site d'Uptime Institute, une vingtaine d'entreprises seulement détiennent une certification Tier III ou Tier IV.⁴ Le programme menant au Tier III comprend trois types de certification : Tier III Design, Tier III Facility et Tier III Operations. Le site Web de l'entreprise fournit le détail de ces trois certifications.

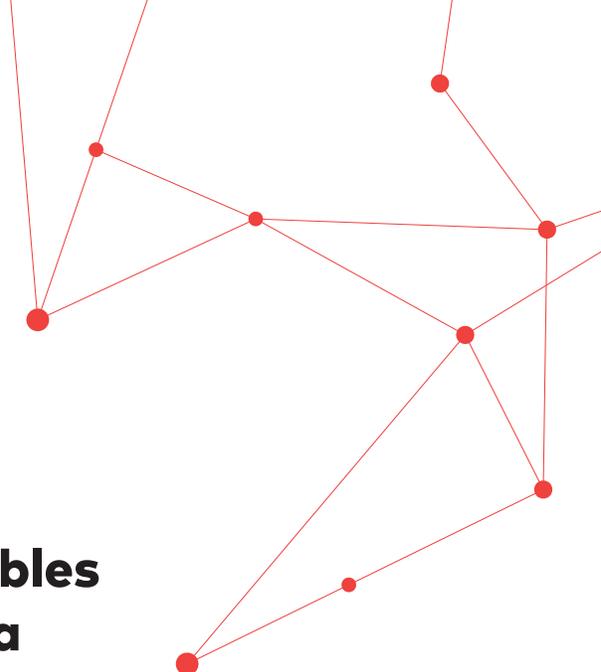
⁴ Pour consulter la liste complète des entreprises certifiées Tier III ou Tier IV : uptimeinstitute.com/uptime-institute-awards/list

// Quelques caractéristiques du programme de certification de l'Uptime Institute

Tirés du site Web Wikipédia, voici quelques éléments complémentaires sur le programme de certification pour centres de données offerts par l'Uptime Institute⁵ :

- Dans les processus de certification Tier III et IV, l'Uptime Institute considère que l'électricité est intégralement produite par les groupes électrogènes. L'alimentation par un fournisseur externe n'est considérée que comme une source d'économie (non de résilience). Il n'y a donc aucune contrainte sur le nombre de fournisseurs externes ni, plus surprenant, sur le nombre d'adductions électriques du site. Le sujet n'est même pas étudié lors de la certification.
- La certification Uptime Institute n'impose aucune contrainte d'architecture et ne juge que de la capacité du site à répondre aux évènements endogènes (pannes, incident, maintenance). Par conséquent le niveau de redondance n'induit en rien le niveau de tiering. Par exemple, un centre de données qui aurait une redondance très élevée $2(N+1)$ avec une vanne de jonction entre les deux réseaux d'eau glacée relève au maximum du Tier II. En effet, la maintenance de cette vanne commune impose l'arrêt des deux boucles, donc l'arrêt du centre de données.
- En revanche, il est (dans la théorie) possible d'atteindre le niveau Tier IV en redondance $N+1$, même si dans les faits cela conduisait à une architecture très compliquée et difficilement exploitable. En règle générale, les centres de données Tier III ou IV ont un niveau de redondance allant de $2N$ à $2(N+1)$.
- La certification repose sur les résultats et n'impose pas de contraintes d'architecture telles que la présence de faux plancher, la méthode de climatisation, les tensions d'alimentation, etc. La certification ne formule aucune exigence sur la localisation du site.
- La notion de Tier III+ peut être rencontrée, mais ne correspond pas à un niveau existant chez Uptime Institute.
- Le *tiering* couvre l'intégralité des composants du centre de données. Une seule non-conformité entraîne le déclassement. Il est donc impropre de faire mention par exemple de centre de données Tier IV pour l'électricité et Tier III pour la climatisation.
- Dans les faits, une grande partie des centres de données relève d'un niveau Tier II.

⁵ Voir https://fr.wikipedia.org/wiki/Uptime_Institute



// Principales mesures écoresponsables intégrées dans la conception et la construction du Centre

Les prochaines sections présentent les moyens écoresponsables utilisés par les équipes de l'Université Laval pour la création de leur Centre de valorisation des données. Il s'agit principalement de moyens visant la **récupération énergétique**. Par ces moyens, l'Université vise à continuer d'améliorer la performance de ses infrastructures.

Voici d'abord les principales mesures implantées pendant la conception et la construction du Centre de valorisation des données :

Mise en service améliorée

La mise en service (MES) est un processus qualité. Il a pour objectifs le contrôle progressif de la qualité des travaux et le transfert harmonieux des ouvrages au personnel d'opération ainsi qu'au client, de sorte que l'ouvrage réponde en tout point, dès l'occupation des locaux, aux exigences de performance, de qualité et de fonctionnement établies dans le programme de construction. Cette méthodologie commence dès la phase conception avec le **recueil des besoins du projet** et la révision des bases de conception. Elle continue lors de la phase construction avec la vérification de la performance des systèmes, la supervision du processus de formation, l'élaboration du manuel de fin de projet et l'optimisation des séquences de fonctionnement.

Une fois les installations en place, le processus se poursuit pendant la première année d'opération du bâtiment pour assurer l'optimisation saisonnière et le suivi des garanties. À cela s'ajoutent des essais en charge inspirés de ceux exigés par le Uptime Institute ont été effectués à 100 % de charge dans la salle des serveurs en mode urgence. Ces essais ont servi à démontrer que l'entretien des systèmes électriques, les UPS, les génératrices, les systèmes de ventilation, et le réseau d'eau refroidie peuvent être fait successivement en mode urgence et répondre donc à la norme.

Voici les principales étapes du processus de mise en service (MES):

- 1.** Élaborer un plan de mise en service;
- 2.** Former l'équipe de mise en service (MES);
- 3.** Établir une méthodologie pour systématiser la vérification de l'installation et la réalisation des vérifications statiques, via des formulaires de vérifications;
- 4.** S'assurer de la réalisation des tests et essais, obtenir la documentation qui y est associée et en assurer le suivi;
- 5.** Effectuer des tests de performance afin de s'assurer des performances optimales des équipements et systèmes selon les paramètres de conception, et ainsi prévoir et régler tout problème pouvant être relié à une sous-performance de ceux-ci;
- 6.** Assurer une formation complète du personnel d'opération et d'entretien;
- 7.** Réaliser un manuel de fin de chantier complet et convivial pour le personnel d'opération et d'entretien;
- 8.** Optimiser les séquences de fonctionnement et résoudre les problèmes identifiés.

Gestion des déchets de construction

Cette gestion a consisté à s'assurer que les divers déchets de construction sont triés au poste de transbordement et recyclés.

Contrôle de débit d'eau pluviale

Le conduit d'eau pluviale a été surdimensionné et équipé d'une valve de débordement automatique afin de réduire le volume rejeté au réseau pluvial de la Ville de Québec.

Gestion de la qualité de l'air en chantier de construction

Les actions suivantes ont été posées afin de diminuer les inconvénients liés à la poussière (inspiration LEED):

- Des clôtures munies d'une membrane géotextile ont été installées autour de la zone de chantier;
- L'arrosage périodique des remblais a été effectué;
- Le nettoyage des rues adjacentes au chantier.

Qualité de l'air intérieur

Des matériaux architecturaux à faible émanation ont été sélectionnés afin d'améliorer la qualité de l'air à l'intérieur du bâtiment (inspiration LEED).

Simulation de la dispersion des polluants par CFD et application d'une stratégie de dilution

La simulation CFD (Computational Fluid Dynamics ou méthode des fluides dynamiques) a été utilisée pour aider la conception des cheminées des génératrices selon l'orientation des vents dominants pour prévenir la contamination des prises d'air frais des pavillons voisins. Les fumées sont donc projetées à haute vitesse et diluées à l'aide des ventilateurs des génératrices.

Simulation du niveau de bruit des génératrices et conception de silencieux permettant de réduire le bruit sur le campus et le voisinage en deçà des niveaux exigés par les règlements municipaux sur le bruit

Le pavillon de Médecine Dentaire reçoit des patients dans la clinique dentaire qui est adjacente au CVD. Une étude de bruit a été effectuée avant la conception du bâtiment afin de s'assurer que le niveau sonore des génératrices n'affecte pas le bon déroulement des chirurgies. Les silencieux des prises d'air frais et de l'échappement des gaz des génératrices ont donc été conçus en conséquence.

Innovation en design

Les infrastructures matérielles et logicielles ont été construites autour d'une architecture dite « Agile » pouvant répondre à diverses contraintes liées à des projets de natures différentes et permettre aux projets d'évoluer au fil des besoins. Ce type d'architecture préconise une adaptativité et une modularité tout au long de la gestion de projet. Un centre de données modulaire permet une bonne adéquation entre la capacité et la charge de travail des systèmes d'alimentation et de refroidissement pour améliorer l'efficacité du travail et réduire la surconfiguration. Le Centre est donc conçu pour être démonté et chaque composant peut être remis à neuf, réutilisé, recyclé avec zéro déchet et transformé pour donner lieu à une croissance économique circulaire.

Le Centre a également été construit avec des matériaux en architecture à faibles émissions. De plus, la toiture possède un revêtement élastomère blanc servant à prévenir les îlots de chaleur.

Le bâtiment a été conçu en 2 volumes, soit 1 volume principal qui forme la base (« l'énergie ») surmonté d'un autre volume d'une superficie d'environ 350m² abritant la salle de serveurs (« le cerveau »). Symboliquement, la salle de serveurs est donc appelée le cerveau. L'intention architecturale était de jouer avec la contradiction et dualité qu'il y a entre le besoin de créer une boîte noire opaque et complètement étanche, une seule fenêtre, puis le désir de mettre en lumière (mais de manière intrigante) le centre de données massives en termes d'innovation technologique. La base du bâtiment (regroupant les locaux techniques, mécaniques et électriques) est reliée par tunnel au reste du campus. Elle est représentée avec un traitement extérieur très sobre au parement de maçonnerie, d'une couleur très foncée qui donne du caractère tant au bâtiment lui-même qu'au paysage bâti avec les 2 bâtiments voisins.

// Récupération d'énergie pour le reste du campus de l'Université

S'inspirant de l'expérience de la construction du Colosse, l'équipe d'ingénieurs de SNC Lavalin a conçu le Centre de valorisation des données un peu sur le même modèle tout en poussant un peu plus loin le principe utilisé pour la récupération de l'énergie. À ce jour, il s'agit du seul centre de données conçu de cette façon par la firme SNC Lavalin.

Mentionnons que le bâtiment devait initialement être installé à l'intérieur du Centre des infrastructures informatiques (CII) de l'Université, mais étant donné le niveau d'énergie pouvant être retourné au réseau, une décision fut prise de le construire à proximité de la Centrale d'énergie à environ 25 mètres de là, et ce, afin d'y raccorder les lignes d'eau refroidie. De cette façon, le Centre pouvait aussi contribuer à la production d'eau refroidie pour le campus. Cette décision prise en tout début de projet fut assurément influencée par le projet Colosse qui avait démontré qu'il était possible de récupérer de la chaleur provenant des serveurs en période hivernale et s'en servir pour chauffer d'autres parties du campus.

Il fut aussi décidé que le bâtiment d'une superficie totale de 13 000 pieds carrés serait implanté de manière à profiter du dénivelé du terrain pour enfouir une partie de celui-ci afin de minimiser les pertes d'énergie solaire et profiter du froid au niveau du sol.

Le Centre est construit sur deux paliers. L'étage principal d'une superficie de 850 mètres carrés regroupe les équipements techniques, mécaniques et électriques. Ce sont ces mêmes équipements qui assurent une alimentation statique sans coupure.



Tout l'étage supérieur d'une superficie de 350 mètres carrés contient la salle de serveurs. L'air froid ambiant de la zone des serveurs (21C-22C) est alimenté par des ventilateurs dont la quantité d'air poussée est modulable au besoin. L'air chaud qui se dégage des serveurs se retrouve ainsi dans l'environnement ambiant. C'est ce même air chaud provenant du travail des serveurs qui, ajouté à celui dégagé par l'ensemble des équipements du sol alimente le système de refroidissement. Une fois refroidi, ce même air est ensuite redirigé vers la zone confinée des serveurs.

Figure 7 : Section de la salle de serveurs du Centre de valorisation des données

Mode de fonctionnement de la récupération d'énergie

En hiver, la chaleur du Centre est rejetée dans le réseau central d'eau réfrigérée de l'Université. La Centrale d'énergie située à 25 mètres du Centre est reliée par tunnels possédant de nombreux tuyaux. Cette tuyauterie est une pièce centrale du réseau urbain du campus. En effet, plusieurs conduites de transport permettent de transférer l'énergie produite dans les centrales de production pour alimenter les pavillons pour suffire à leurs besoins de chauffage, de refroidissement et d'électricité.

Plusieurs autres conduites de transport contiennent des câbles qui permettent le fonctionnement des systèmes de ventilation et les systèmes immotiques. Parmi ces conduites, il y en a aussi qui servent pour relier le Centre aux autres centres de données ou infrastructures réseautiques utilisés sur le campus. Trois câbles de fibres optiques armées de 288 fibres chacun furent installés via des chemins distinct pour offrir une robustesse et une redondance des liens de communications du CVD vers les autres infrastructures institutionnelles.

Certains pavillons utilisent des thermopompes pour effectuer le chauffage, réduisant substantiellement l'utilisation de l'énergie fossile. D'autres sont dits exothermiques, donc produisent de la chaleur qui peut être réutilisée dans un bâtiment adjacent.

L'excédent d'énergie est récupéré et réutilisé sur le campus de l'Université Laval en période hivernale pour chauffer les pavillons.



Figure 8 : Refroidisseurs centrifuges sans huile à haut rendement énergétique utilisés dans le Centre de valorisation des données

Le Centre possède trois refroidisseurs centrifuges sans huile à haut rendement énergétique. Il s'agit d'équipements haute performance, le plus avancé en termes de refroidisseurs. Ces derniers produisent **de l'air froid**. Un système de ventilation alimente l'air froid produit par ces refroidisseurs dans la salle des UPS dans un premier temps.

Économies d'énergie des équipements

Une des façons d'en faire davantage avec les serveurs consiste à procéder à leur **virtualisation**. Pour virtualiser les serveurs, la collaboration avec l'équipe de la Direction des technologies de l'information de l'Université a été requise. Finalement, on en est arrivé à établir un rapport de 6 pour 1 en termes d'équivalence totale de performance énergétique obtenue.

Dans le cas précis du Centre de valorisation des données, il est estimé que la virtualisation des serveurs permet une économie d'énergie de l'ordre 23 %.

De façon générale, le Centre a aussi misé sur des équipements à haut rendement énergétique comme des moteurs électriques à haut rendement énergétique et à vitesse variable.

Alimentation des serveurs eux-mêmes

Autre petite innovation apportée lors de la conception a été le choix pour l'alimentation des serveurs d'utiliser des blocs d'alimentation de type 240V. Depuis des années, les centres de données utilisaient du 208V. Avec cette décision une économie d'énergie de l'ordre de 2 % à 2,5 % a été rendue possible.

Plus la tension élevée, plus l'efficacité des blocs d'alimentation (*Power Supply*) est grande.

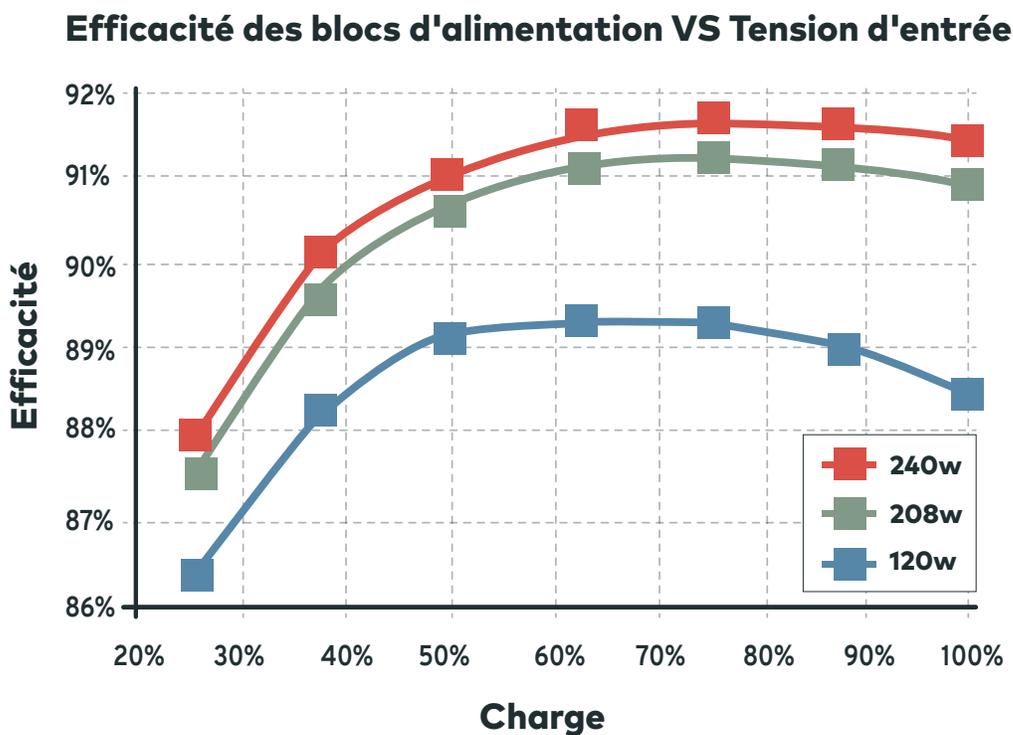


Figure 9 : Efficacité de l'alimentation

An abstract graphic consisting of a network of red dots of varying sizes connected by thin red lines. The dots are scattered across the page, with a higher density in the upper right and lower right areas. The lines form a complex, interconnected web.

Éclairage entièrement LED

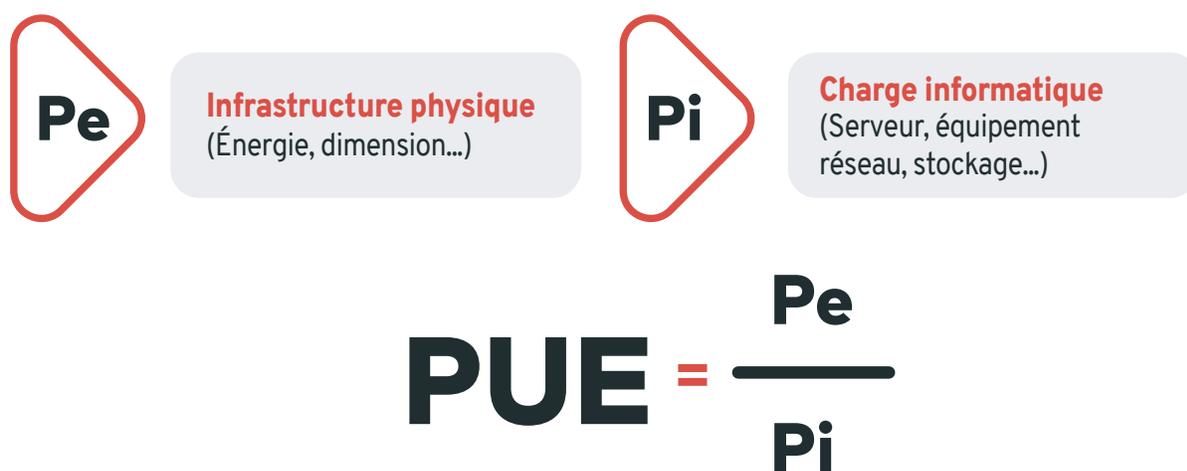
Partout dans l'immeuble logeant le centre, on a mis en place un éclairage au LED qui permet de faire des économies. On parle ici d'une économie de moitié à des niveaux comparables.

// Performance obtenue

La sommation de toutes les bonnes pratiques écoresponsables implantées par le Centre a permis des économies totales en coûts énergétiques de 44,7 % par rapport à ce qui est appelé dans l'industrie le « bâtiment de référence ».

L'alimentation des serveurs à 240V pour augmenter l'efficacité des blocs d'alimentation a permis des économies d'énergie de 2 à 2,5 %. La distribution principale et les groupes électrogènes à 480 V pour éliminer les pertes de transformation a permis des économies d'énergies de 2 %. La virtualisation des serveurs a permis une économie d'énergie de 23 %. En excluant la virtualisation des serveurs, ils estiment que l'économie en coûts énergétiques est de 34,1% comparativement à ce même « bâtiment de référence ».

Selon la mesure de l'indicateur d'efficacité énergétique pour les centres de données (en anglais, PUE pour Power Usage Effectiveness) (voir encadré) utilisé par l'industrie, lors des essais, le Centre de valorisation des données a obtenu une valeur de 1,25. Un indicateur de 1,3 était alors visé. La virtualisation n'était pas incluse dans ce calcul. Les charges mécaniques ainsi que de la salle des serveurs étant constantes, la PUE est demeurée depuis aux alentours de 1.25.



Pe: Puissance en Entrée du datacenter

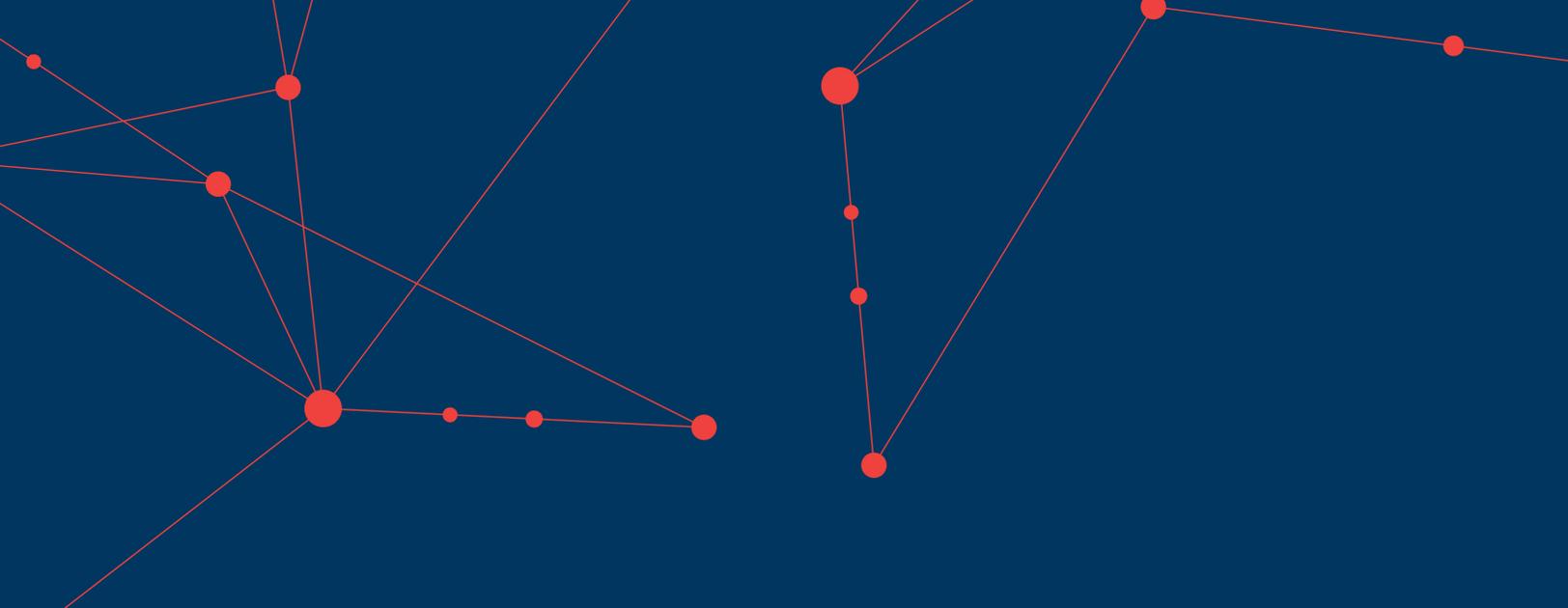
Pi: Puissance informatique

Figure 10 : Mode de calcul de l'indicateur d'efficacité énergétique pour les centres de données



// Récupération des équipements en fin de vie

Les équipements comme les serveurs en fin de vie sont envoyés au surplus UL (Université Laval) afin d'en disposer convenablement, soit par la vente à des tiers ou par la disposition à des firmes spécialisées.



// Conclusion

Le Centre de valorisation des données de l'Université Laval est en service depuis bientôt deux années. Une telle initiative a permis de démontrer qu'il y a d'autres façons plus écoresponsables pour les centres de données de simplement rejeter vers l'extérieur la chaleur générée par leurs serveurs, action appelée dans le milieu « free cooling ». Cette chaleur peut être récupérée et utilisée. C'est comme on dit un « win-win ».

Jusqu'à ce jour, le Centre a desservi principalement la communauté scientifique du campus de l'Université Laval. Des partenaires gouvernementaux (ministères, société, etc..) font aussi partie des clients hébergés au Centre. Encore peu d'initiatives externes de type « laboratoire expérimental virtuel en analyse de données massives » y ont été réalisées. Le Centre est toujours prêt cependant à accueillir, à stocker et à traiter des données massives engendrées par les entreprises et les organisations gouvernementales.

De plus, bien que la conception soit TIER III, des efforts doivent être déployés annuellement par plusieurs équipes du Service des immeubles et de la Direction des technologies de l'information de l'Université Laval afin de maintenir un tel niveau de fiabilité à long terme et rentabiliser l'investissement. Un plan de maintenance annuel rigoureux des ressources mécaniques, électriques et informatiques (tel que recommandé par l'organisme Uptime Institute) a été mis en place ainsi que toute la documentation afin d'assurer la compréhension de tous les intervenants et ainsi d'assurer un transfert de connaissances faciles advenant des changements aux personnels affectés à ces différentes tâches.

// Références

Ayre, R. W., Baliga, J., Hinton, K., & Tucker, R. S. (2010). Green cloud computing: Balancing energy in processing, storage, and transport. *Proceedings of the IEEE*, 99(1), 149-167.

Bourgeois, D. (2019). Grande conférence de l'AIEQ. Le Centre de valorisation des données de l'Université Laval.

Cattapan, F. (2019). Nouveau Centre de valorisation des données opérationnelles à l'Université Laval. Repéré à <https://www.quebechebdo.com/local/journal-lappel/183146/nouveau-centre-de-valorisation-des-donnees-operationnel-a-luniversite-laval/>.

Fabriès, C. (2019). Nouveau Centre de valorisation à l'UL : prêt à accueillir des milliards de données [VIDÉO]. Repéré à <https://www.lesoleil.com/actualite/education/nouveau-centre-de-valorisation-a-lul-pret-a-accueillir-des-milliards-de-donnees-video-2ba6cd32de434b88fe110ec6bc3c9a17>.

STARS. (2021). About STARS. Repéré à <https://stars.aashe.org/about-stars/>.

Stewart, A-A. (2019). Le Centre de valorisation des données prêt à accueillir des milliards de données. Repéré à <https://www.ulaval.ca/notre-universite/salle-de-presse/communiqués-de-presse/communiqués-2019/le-centre-de-valorisation-des-donnees-pret-a-accueillir-des-milliards-de-donnees>.

Tremblay, D. (2019). [PHOTOS] Nouveau centre de données à l'Université Laval. Repéré à <https://www.journaldequebec.com/2019/09/25/photos-nouveau-centre-de-donnees-a-luniversite-laval>.

ULaval nouvelles. (2019). Un centre de données à la fine pointe de la technologie. Repéré à <https://nouvelles.ulaval.ca/vie-universitaire/un-centre-de-donnees-a-la-fine-pointe-de-la-technologie-506193d5eb6eba6a55de8b7fce56fdd5>.

Université Laval. (2021). Certification du Service des immeubles. Repéré à <https://www.si.ulaval.ca/developpement-durable/contributions-du-service-des-immeubles/>.

Université Laval. (2021). Énergie. Repéré à <https://www.ulaval.ca/developpement-durable/milieu-de-vie/energie>.