



Cote ENERGY STAR pour les entrepôts au Canada

APERÇU

La cote ENERGY STAR pour les entrepôts s'applique aux entrepôts réfrigérés et non réfrigérés, les centres de distribution et les entrepôts en libre-service. L'objectif de la cote ENERGY STAR est d'offrir une évaluation équitable du rendement énergétique d'une propriété, par rapport à des propriétés semblables, en tenant compte du climat, des conditions météorologiques et des activités commerciales de la propriété. Une analyse statistique d'un groupe de bâtiments semblables est effectuée afin de définir et de normaliser les aspects des activités d'un bâtiment qui contribuent de façon notable à sa consommation. Grâce à cette analyse, il est possible d'obtenir une équation qui permet d'établir la consommation d'énergie prévue d'une propriété en fonction de ses activités commerciales. La consommation d'énergie prévue pour un bâtiment est ensuite comparée à sa consommation d'énergie réelle pour obtenir le rang centile, sur une échelle de 1 à 100, de son rendement énergétique par rapport au parc immobilier national.

- **Types de propriétés.** La cote ENERGY STAR pour les entrepôts s'applique à quatre types de propriétés : les entrepôts réfrigérés et non réfrigérés, les centres de distribution et les entrepôts en libre-service. La cote s'applique aux bâtiments individuels d'entrepôts réfrigérés et non réfrigérés, de centres de distribution et d'entrepôts en libre-service. Lorsqu'il s'agit d'un entrepôt en libre-service qui fait partie d'un complexe, la cote s'applique au complexe.
- **Données de référence.** L'analyse pour les entrepôts au Canada repose sur les données de l'Enquête sur l'utilisation commerciale et institutionnelle d'énergie (EUCIE) réalisée par Statistique Canada pour le compte de Ressources naturelles Canada (RNCAN), et représente l'année de consommation 2014.
- **Ajustements pour les conditions météorologiques et les activités commerciales.** L'analyse comprend des ajustements pour :
 - la hauteur du plafond de l'entrepôt
 - le pourcentage de la superficie du bâtiment qui est chauffée
 - les conditions météorologiques et le climat (en utilisant les degrés-jours de chauffage et de refroidissement obtenus grâce au code postal)
 - la densité de travailleurs
 - le pourcentage de la superficie du bâtiment qui est refroidie (entrepôt frigorifique)
- **Date de publication.** Il s'agit de la première publication de la cote ENERGY STAR pour les entrepôts au Canada.

Ce document présente des renseignements détaillés sur la conception de la cote ENERGY STAR de 1 à 100 pour les entrepôts. Pour obtenir plus d'information au sujet de l'approche générale pour concevoir la cote ENERGY STAR, consultez notre document de référence technique sur la cote ENERGY STAR à l'adresse : https://portfoliomanager.energystar.gov/pdf/reference/ENERGY%20STAR%20Score_fr_CA.pdf.

Cote ENERGY STAR pour les entrepôts au Canada

Les prochaines sections du présent document fournissent des précisions sur la conception de la cote ENERGY STAR pour les entrepôts :

APERÇU	1
DONNÉES DE RÉFÉRENCE ET FILTRES.....	3
VARIABLES ANALYSÉES	5
RÉSULTATS DE L'ÉQUATION DE RÉGRESSION.....	10
TABLEAU DE RÉFÉRENCE DE LA COTE ENERGY STAR.....	11
EXEMPLE DE CALCUL	14

DONNÉES DE RÉFÉRENCE ET FILTRES

La cote ENERGY STAR pour les entrepôts s'applique aux entrepôts réfrigérés et non réfrigérés, les centres de distribution et les entrepôts en libre-service. Les données de référence utilisées pour établir le parc de bâtiments semblables reposent sur les données provenant de l'Enquête sur l'utilisation commerciale et institutionnelle d'énergie (EUCIE). Cette enquête a été réalisée par Statistique Canada pour le compte de Ressources naturelles Canada à la fin de 2015 et au début de 2016. Les données énergétiques pour l'enquête proviennent de l'année civile 2014. Le fichier de données brutes recueillies pour cette enquête n'est pas accessible au public; toutefois, un rapport fournissant un sommaire des résultats est accessible sur le site Web de Ressources naturelles Canada à l'adresse : <http://oee.nrcan.gc.ca/organisme/statistiques/bnce/apd/menus/eucie/2014/tableaux.cfm>.

Pour analyser l'énergie d'un bâtiment et ses caractéristiques d'exploitation à l'aide des données de l'enquête, on applique quatre types de filtres en vue de définir le groupe de bâtiments semblables aux fins de comparaison et de contourner les limites techniques des données : filtres de type de bâtiment, filtres de programme, filtres de restrictions de données et filtres analytiques. Une description complète de chacune de ces catégories est fournie dans notre document de référence technique sur la cote ENERGY STAR à l'adresse : https://portfoliomanager.energystar.gov/pdf/reference/ENERGY%20STAR%20Score_fr_CA.pdf. La **figure 1** présente un résumé de chaque filtre servant à élaborer la cote ENERGY STAR pour les entrepôts ainsi que le bien-fondé de chaque filtre. Une fois tous les filtres appliqués, l'ensemble des données restantes comporte 221 cas observés. En raison de la confidentialité des données de l'enquête, RNCAN n'est pas en mesure de définir le nombre de cas observés après chaque filtre.

Figure 1 – Sommaire des filtres pour la cote ENERGY STAR pour les entrepôts

Conditions d'inclusion d'un cas observé dans l'analyse	Justification
Définie en tant que catégorie 5 dans l'enquête EUCIE – Entrepôt.	L'enquête EUCIE portait sur le secteur commercial et institutionnel et comprenait des bâtiments de tous genres. Pour ce modèle, seuls les cas déterminés comme étant principalement des entrepôts sont utilisés.
La surface consacrée à l'entreposage doit couvrir plus de la moitié du bâtiment et moins de la moitié d'un autre type d'occupation.	Filtre par type de bâtiment – Pour être pris en compte dans un groupe d'entrepôts, le bâtiment doit comporter un minimum de superficie d'entreposage.
Doit avoir des données sur sa consommation d'électricité.	Filtre du programme – Les entrepôts qui ne consomment pas d'électricité sont rares, voire inexistant; il peut s'agir d'une omission dans les données énergétiques. L'électricité peut être achetée en réseau ou produite sur place.
Il ne peut utiliser « d'autres » combustibles, dont la consommation ne serait pas déclarée.	Filtre de restrictions de données – L'enquête demandait si l'établissement consommait des combustibles autres que l'électricité achetée, l'électricité produite sur place à partir de sources renouvelables, le gaz naturel, le mazout léger, le diesel, le kérosène, le propane, la vapeur et l'eau chaude pour le chauffage collectif ou l'eau refroidie collective. Soit le type d'énergie n'était pas défini ou, dans le cas de bois, la valeur énergétique était difficilement convertible; c'est pourquoi il était difficile de comparer directement la teneur en énergie de ces combustibles. On a supprimé ces observations de l'analyse pour ces situations.
Il doit avoir été construit en 2013 ou avant.	Filtre de restrictions des données – L'enquête déclarait la consommation d'énergie pour l'année civile 2014. Par conséquent, si le bâtiment a été construit en 2014, il serait impossible d'obtenir une année complète de données sur l'énergie.

Conditions d'inclusion d'un cas observé dans l'analyse	Justification
Le bâtiment doit servir au moins 30 heures par semaine.	Filtre du programme – Les entrepôts doivent servir au moins 30 heures par semaine pour que l'on considère qu'ils sont exploités à temps plein.
Ne doit pas inclure l'énergie fournie à d'autres bâtiments.	Filtre de restrictions de données – L'enquête demandait si l'énergie déclarée pour l'établissement comportait l'énergie fournie à d'autres bâtiments, par exemple dans un campus de bâtiments pour des salles de classe mobiles. Les données relatives à l'utilisation pouvaient ne pas être incluses; c'est pourquoi ces bâtiments ont été retirés.
La taille du stationnement intérieur ou partiellement fermé en élévation doit être inférieure à 50 % de la superficie de plancher brute incluant ces aires de stationnement.	Filtre du programme – Si la superficie combinée des aires de stationnement excède celle des bureaux, le bâtiment est considéré comme un stationnement et non un entrepôt. Il s'agit d'une règle standard dans Portfolio Manager.
La dimension de l'espace vacant doit être inférieure à 50 % de la superficie de plancher brute.	Filtre du programme – Les entrepôts doivent afficher un taux d'occupation supérieur à 50 % pour être admissibles à la certification ENERGY STAR.
Doit être exploité au moins dix (10) mois par année.	Filtre de programme – Exigence de base pour que le bâtiment soit considéré comme un établissement à temps plein.
L'IE à la source doit être supérieure ou égale à 0,1 GJ/m ² et inférieure ou égale à 4,5 GJ/m ² .	Filtre analytique – Valeurs jugées aberrantes selon l'analyse des données. Celles-ci sont généralement des valeurs qui sont clairement en marge des paramètres d'exploitation normaux pour un bâtiment de ce type.
Il doit avoir une densité d'occupation (travailleurs par 100 m ²) inférieure ou égale à 6,5.	Filtre analytique – Valeurs jugées aberrantes selon l'analyse des données. Celles-ci sont généralement des valeurs qui sont clairement en marge des paramètres d'exploitation normaux pour un bâtiment de ce type.
Il doit avoir une densité de gerbeurs (gerbeurs par 100 m ²) inférieure ou égale à 1,5.	Filtre analytique – Valeurs jugées aberrantes selon l'analyse des données. Celles-ci sont généralement des valeurs qui sont clairement en marge des paramètres d'exploitation normaux pour un bâtiment de ce type.
Il doit avoir une superficie d'au moins 464,5 m ² .	Filtre du programme – L'analyse n'était pas en mesure de modéliser le comportement des bâtiments d'une superficie inférieure à 464,5 m ² (5 000 pi ²).
Il doit avoir une densité de quais de chargement (quais de chargement par 100 m ²) inférieure ou égale à 0,75.	Filtre analytique – Valeurs jugées aberrantes selon l'analyse des données. Celles-ci sont généralement des valeurs qui sont clairement en marge des paramètres d'exploitation normaux pour un bâtiment de ce type.
La hauteur du plafond (hauteur libre) doit être supérieure ou égale à 2 m et inférieure ou égale à 20 m.	Filtre analytique – Valeurs jugées aberrantes selon l'analyse des données. Celles-ci sont généralement des valeurs qui sont clairement en marge des paramètres d'exploitation normaux pour un bâtiment de ce type.
La somme du pourcentage d'entreposage réfrigéré et de celui de la superficie refroidie doit être inférieure ou égale à 110 %.	Filtre analytique – Valeurs jugées aberrantes selon l'analyse des données. Celles-ci sont généralement des valeurs qui sont clairement en marge des paramètres d'exploitation normaux pour un bâtiment de ce type.
La somme du pourcentage d'entreposage réfrigéré et de celui de la superficie chauffée doit être inférieure ou égale à 110 %.	Filtre analytique – Valeurs jugées aberrantes selon l'analyse des données. Celles-ci sont généralement des valeurs qui sont clairement en marge des paramètres d'exploitation normaux pour un bâtiment de ce type.

- Parmi les filtres appliqués aux données de référence, certains entraînent des contraintes pour le calcul de la cote dans Portfolio Manager, et d'autres, non. Les filtres de type de bâtiment et de programme sont utilisés pour limiter les données de référence afin d'inclure uniquement les propriétés qui sont admissibles à

recevoir une cote dans Portfolio Manager. Ces filtres sont donc liés aux conditions d'admissibilité. Par contre, les filtres de restrictions des données tiennent compte des limites dans les données disponibles, mais ne s'appliquent pas dans Portfolio Manager. Les filtres analytiques servent à éliminer les données aberrantes ou différents sous-ensembles de données, et peuvent avoir ou non des répercussions sur l'admissibilité. Dans certains cas, un sous-ensemble de données aura un comportement différent du reste des propriétés (p. ex. les entrepôts de moins de 464,5 m² ne se comportent pas de la même façon que les bâtiments plus grands). Dans de tels cas, un filtre analytique sera utilisé pour déterminer l'admissibilité dans Portfolio Manager. Dans d'autres cas, les filtres analytiques excluent un petit nombre de valeurs aberrantes comportant des valeurs extrêmes qui biaisent l'analyse, mais qui n'ont pas de répercussions sur les critères d'admissibilité. Pour obtenir une description complète des critères à respecter afin d'obtenir une cote dans Portfolio Manager, consultez <https://www.rncan.gc.ca/energie/efficacite/batiments/analyse-comparative/faq/3788#faq282>.

Une autre considération relative aux filtres et aux critères d'admissibilité décrits plus haut consiste à savoir comment Portfolio Manager traite les propriétés qui sont situées dans un complexe. L'unité de comparaison principale dans Portfolio Manager est la propriété, qui peut servir à décrire un bâtiment individuel ou un complexe de bâtiments. L'applicabilité de la cote ENERGY STAR dépend du type de propriété. Pour les entrepôts en libre-service, la cote se fonde sur l'ensemble de la propriété, qu'il s'agisse d'un seul bâtiment ou d'un complexe. Les entrepôts en libre-service peuvent comporter de multiples bâtiments tous consacrés à l'activité principale, notamment des bâtiments d'entreposage extérieur avec un bureau central dans la cabine d'entrée. Pour les autres entrepôts non réfrigérés et réfrigérés et les centres de distribution, la cote repose sur des bâtiments individuels, parce que la fonction principale d'un entrepôt est contenue dans un seul bâtiment et parce que les propriétés incluses dans les données de référence sont des bâtiments uniques. Lorsque plusieurs entrepôts réfrigérés et non réfrigérés ou centres de distribution sont regroupés (p. ex. dans un complexe d'entrepôts), une cote ENERGY STAR est attribuée à chaque bâtiment, mais pas au complexe.

VARIABLES ANALYSÉES

Afin de normaliser des différences en matière d'activités commerciales, nous avons effectué une analyse statistique pour établir les aspects de l'activité d'un bâtiment qui sont importants au chapitre de la consommation énergétique. L'ensemble des données de référence filtrées, décrit à la section précédente, est analysé en utilisant une régression des moindres carrés pondérés, qui évalue la consommation d'énergie par rapport à l'activité commerciale (p. ex. le nombre de travailleurs, les heures hebdomadaires d'exploitation, la superficie et le climat). Cette régression linéaire fournit une équation qui sert à calculer la consommation d'énergie (aussi appelée variable dépendante) en fonction d'une série de caractéristiques qui décrivent l'activité commerciale (aussi appelées variables indépendantes). Cette section décrit les variables utilisées dans l'analyse statistique pour les entrepôts au Canada.

Variable dépendante

La variable dépendante est l'élément que nous tentons de prédire au moyen de l'équation de régression. Pour l'analyse des entrepôts, la variable dépendante est la consommation d'énergie exprimée en intensité énergétique à la source (IE à la source). L'IE à la source correspond à la consommation d'énergie totale à la source pour la propriété, divisée par la superficie brute. L'équation de régression analyse les principaux éléments qui influent sur l'IE à la source, c'est-à-dire les facteurs qui expliquent la variation de la consommation d'énergie à la source par mètre carré dans les entrepôts. L'unité de mesure de l'IE à la source dans le modèle canadien est le gigajoule par mètre carré annuel (GJ/m²).

Variables indépendantes

L'enquête de référence contient de nombreux éléments liés à l'exploitation du bâtiment que RNCAN a déterminés comme étant potentiellement importants pour les entrepôts. En se basant sur un examen des variables disponibles dans les données de référence, en conformité avec les critères d'inclusion dans Portfolio Manager¹, RNCAN a d'abord analysé les variables suivantes dans l'analyse de régression.

- Superficie de plancher brute (m²)
- Degrés-jours de refroidissement (DJR)
- Degrés-jours de chauffage (DJC)
- Pourcentage de la superficie refroidie
- Pourcentage de la superficie chauffée
- Nombre d'heures d'exploitation par semaine
- Nombre de travailleurs sur le quart de travail principal
- Pourcentage du bâtiment qui est réfrigéré (chambre froide ou autre)
- Longueur des vitrines réfrigérées ouvertes
- Longueur des vitrines réfrigérées fermées
- Longueur des vitrines congélatrices ouvertes
- Longueur des vitrines congélatrices fermées
- Nombre de mois d'exploitation en 2014
- Nombre d'appareils commerciaux (congélateurs, réfrigérateurs, lave-vaisselle, fours, fours à micro-ondes, laveuses, etc.)
- Nombre d'ordinateurs
- Nombre d'étages
- Nombre d'ascenseurs ou d'escaliers mécaniques
- Nombre d'imprimantes, de photocopieurs, de télécopieurs et d'appareils multifonctions
- Nombre de téléviseurs, d'écrans électroniques et d'ACL
- Nombre de gerbeurs
- Nombre de quais de chargement
- Longueur des courroies transporteuses
- Pourcentage de l'entrepôt consacré au montage
- Hauteur libre
- Année de construction

RNCAN, suivant les conseils de l'Environmental Protection Agency (EPA), a mené un examen exhaustif de chacune de ces caractéristiques de fonctionnement prises séparément et ensemble (p. ex. degrés-jours de chauffage multipliés par le pourcentage de la superficie chauffée). Dans le cadre de l'analyse, certaines variables ont été reformulées afin de refléter les liens physiques entre les éléments du bâtiment. Par exemple, le nombre de travailleurs sur le quart principal peut être évalué sous forme de format de densité. Le nombre de travailleurs par mètre carré (contrairement au nombre brut de travailleurs) devrait être associé à la consommation d'énergie par mètre carré. En outre, en fonction des résultats d'analyse et des graphiques résiduels, les variables ont été examinées au moyen de différentes transformations (comme le logarithme naturel, dont l'abréviation est Ln).

¹ On peut trouver une explication complète de ces critères dans le document de référence technique pour la cote ENERGY STAR à l'adresse :

https://portfoliomanager.energystar.gov/pdf/reference/ENERGY%20STAR%20Score_fr_CA.pdf.

L'analyse est constituée de plusieurs formulations de régression. Ces analyses sont structurées de façon à trouver la combinaison de caractéristiques d'exploitation statistiquement significatives qui expliquent la plus grande part de la variance de la variable dépendante : l'IE à la source.

L'équation de régression finale comprend les variables suivantes :

- Hauteur du plafond ou hauteur libre de l'entrepôt en mètres
- Nombre de degrés-jours de chauffage multiplié par le pourcentage de la superficie chauffée du bâtiment
- Nombre de travailleurs par 100 m² pendant le quart de travail principal (densité de travailleurs)
- Pourcentage d'entreposage réfrigéré (somme de la superficie réfrigérée/superficie totale)
- Pourcentage d'entreposage réfrigéré supérieur ou égal à 20 % multiplié par le nombre de degrés-jours de chauffage (SiRfg20DJC)

Ces variables sont utilisées ensemble pour calculer l'IE à la source prévue pour les entrepôts. La source prévue est l'IE à la source moyenne pour un groupe hypothétique de bâtiments qui partagent les mêmes valeurs pour chacune de ces caractéristiques. Autrement dit, l'énergie moyenne pour les bâtiments qui fonctionnent comme votre bâtiment.

Analyse de la hauteur libre

Les analyses ont révélé qu'en moyenne, les entrepôts dont le plafond est plus élevé ont une IE à la source plus élevée. Ce rapport est statistiquement significatif et la régression finale comprend un ajustement de la hauteur libre. L'inclusion de l'ajustement de la hauteur libre permet aux entrepôts dont les plafonds sont très hauts (par conséquent, le volume à chauffer ou à refroidir est plus important) à obtenir une juste cote par rapport à ceux dont les plafonds sont plus bas.

Analyse du climat (DJC et DJR)

L'analyse s'est intéressée aux degrés-jours de chauffage et de refroidissement ainsi qu'au pourcentage de la superficie chauffée et refroidie du bâtiment.

On a remarqué une étroite corrélation positive entre l'IE lorsque les degrés-jours de chauffage augmentaient et lorsque le pourcentage de la superficie chauffée augmentait. La combinaison de ces deux facteurs a fourni une signification supérieure à celle de chacun de ses composants constituants et permis d'améliorer les résultats de l'équation de régression.

On a remarqué, en analysant le pourcentage de la superficie refroidie et les degrés-jours de refroidissement, que peu d'entrepôts présentaient d'importants pourcentages d'espace réfrigéré. La majorité des observations révélaient une superficie réfrigérée inférieure à 40 % et que le pourcentage de la superficie refroidie était généralement près du pourcentage d'espace non consacré à l'entreposage, comme les espaces de bureau. Cela laissait donc supposer qu'en règle générale, les entrepôts climatisent leurs locaux administratifs et commerciaux, mais pas les aires d'entreposage. En outre, les entrepôts qui refroidissaient un fort pourcentage de leur superficie présentaient des IE semblables à ceux qui ne refroidissaient qu'une faible superficie, ce qui a permis de conclure que le pourcentage de la superficie refroidie et les degrés-jours de refroidissement ne sont pas significatifs.

Analyse de la densité des travailleurs :

La densité des travailleurs est une variable clé du modèle des entrepôts, car on a découvert qu'elle était la variable la plus représentative des niveaux d'activité dans l'entrepôt. Alors qu'on s'attend à ce que d'autres variables telles que la densité des gerbeurs et des quais de chargement, de même que la longueur des courroies transporteuses, contribuent à hausser l'IE, on a déterminé que la densité des travailleurs révélait mieux l'IE et expliquait la variance des autres variables. Lorsque le modèle tient compte de la densité des travailleurs, l'impact de la densité des gerbeurs et des quais de chargement ainsi que la longueur des courroies transporteurs est négligeable.

Entreposage réfrigéré :

L'EUCIE 2014 comportait les données suivantes :

- Pourcentage du volume de l'entrepôt réfrigéré – Pourcentage du volume de l'entrepôt qui est réfrigéré inférieur à une valeur prédéterminée.
- Pourcentage du bâtiment consacré à l'entreposage – Directement fourni dans l'enquête par secteur.
- Pourcentage du bâtiment consacré aux chambres réfrigérées – Calculé d'après la superficie totale du bâtiment où se trouvent les chambres réfrigérées et les congélateurs.

Les variables ci-dessus ont été testées séparément et utilisées ensemble pour obtenir une nouvelle variable du pourcentage d'entreposage réfrigéré. La variable du pourcentage d'entreposage réfrigéré couvre tous les espaces considérés comme réfrigérés de l'entrepôt, y compris les chambres froides, congélateurs et autres espaces réfrigérés. Le CBECS des États-Unis utilise directement le pourcentage d'entreposage réfrigéré dans son enquête afin de déterminer la cote. Dans l'enquête américaine, les pourcentages plus élevés d'entreposage réfrigéré sont associés à des IE plus élevées et sont statistiquement significatifs. Par conséquent, RNCAN a vérifié la signification d'une variable semblable pour le Canada.

On a calculé le pourcentage d'entreposage réfrigéré de la façon suivante : la somme du pourcentage du volume réfrigéré (peu importe la température prédéterminée) multipliée par le pourcentage de superficie d'entreposage moins le pourcentage de chambres froides, ajouté au pourcentage des chambres froides (voir la formule abrégée ci-dessous).

Pourcentage d'entreposage réfrigéré

$$= [\text{Pourcentage du volume réfrigéré} \times (\text{Pourcentage de l'entrepôt} - \text{Pourcentage de chambres froides})] + \text{Pourcentage de la superficie des chambres froides}$$

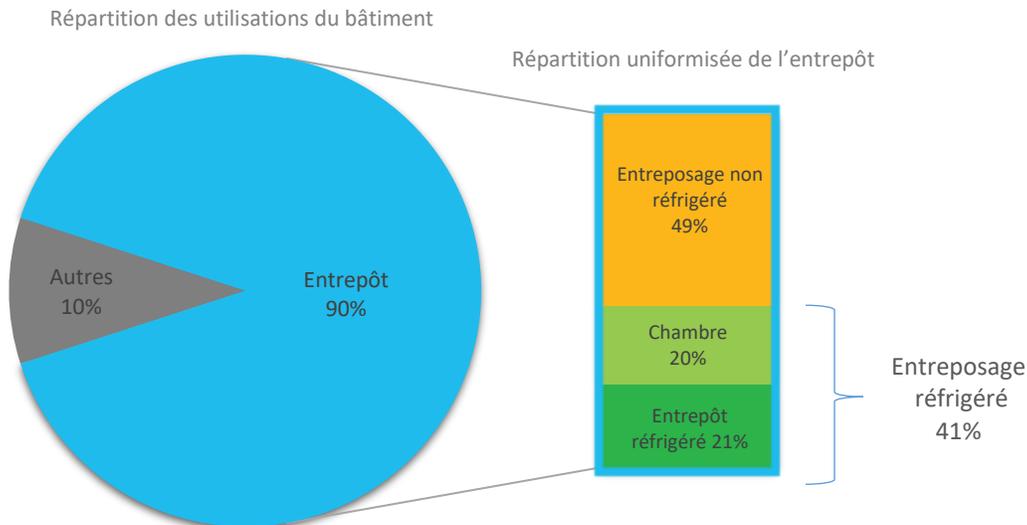
Voici certaines données obtenues grâce à l'enquête :

- Pourcentage du volume réfrigéré de l'entrepôt – 30 %
- Pourcentage du bâtiment consacré à l'entrepôt – 90 %
- Pourcentage du bâtiment consacré aux chambres froides – 20 %

Le pourcentage d'entreposage réfrigéré est de 41 %.

$$\text{Pourcentage d'entreposage réfrigéré} = [30\% \times (90\% - 20\%)] + 20\%$$

$$\text{Pourcentage d'entreposage réfrigéré} = 41\%$$



Les données recueillies sur les volumes réfrigérés ne concernent que l'entrepôt. On les a normalisées en les multipliant par le pourcentage du bâtiment consacré à l'entreposage afin d'obtenir le réel pourcentage du bâtiment qui est réfrigéré. Dans ce calcul, le pourcentage de la superficie des chambres froides est soustrait de l'équation, étant donné qu'il est déjà normalisé pour les bâtiments et qu'il fallait l'omettre pour ne pas le compter deux fois. On a découvert que le volume réfrigéré normalisé était proportionnel à la superficie réfrigérée normalisée. On a donc aplani le volume afin de le lier avec la superficie des chambres froides. Le pourcentage normalisé de superficie réfrigérée obtenu a été ajouté à la superficie des chambres froides du bâtiment pour obtenir le pourcentage de l'entreposage réfrigéré.

Le modèle comporte un autre terme interactif dont il faut tenir compte dans la réfrigération : le terme SiRfg20DJC mentionné dans les tableaux ci-dessous. Il traduit la présence d'un pourcentage d'entreposage réfrigéré supérieur ou égal à 20 % (1 pour oui, 0 pour non), multiplié par le nombre de degrés-jours de chauffage. Si le pourcentage d'entreposage réfrigéré est inférieur à 20 %, ce terme est égal à zéro. Si le pourcentage d'entreposage réfrigéré est supérieur à 20 %, le terme SiRfg20DJC révèle un rapport hors de tout doute dans les données, qui démontre que les bâtiments avec un pourcentage élevé d'espace réfrigéré ont une IE à la hausse lors que les DJC augmentent. Une analyse itérative a révélé que ce point correspondait à environ 20 % de la superficie du bâtiment.

Essai

Enfin, RNCAN a mis à l'essai l'équation de régression en utilisant des données réelles qui se trouvent déjà dans Portfolio Manager. Cela a permis d'obtenir un autre ensemble de bâtiments à examiner, qui s'ajoute aux données de

l'EUCIE, pour connaître les cotes ENERGY STAR et les distributions, et pour évaluer les répercussions et les ajustements. Cette analyse, appliquée à un ensemble de données séparé, a permis de créer un deuxième niveau de vérification pour s'assurer que la ventilation des cotes était bonne. Cette analyse a également confirmé que les biais relatifs aux principales caractéristiques de fonctionnement, notamment la densité des travailleurs et le pourcentage de superficie chauffée, sont minimales. L'analyse a également confirmé qu'il n'y avait aucun parti pris régional ni aucune partialité à l'égard du type d'énergie choisi pour chauffer les bâtiments.

Il est important de rappeler que l'équation de régression finale repose sur les données de référence représentatives à l'échelle nationale tirées de l'EUCIE 2014, et non sur les données qui se trouvent déjà dans Portfolio Manager.

RÉSULTATS DE L'ÉQUATION DE RÉGRESSION

La régression finale est une régression des moindres carrés ordinaires pondérés sur l'ensemble de données filtrées des 221 cas observés. La variable dépendante est l'IE à la source. Chaque variable indépendante est centrée par rapport à la valeur moyenne pondérée, présentée à la **figure 2**. L'équation finale est présentée à la **figure 3**. Toutes les variables dans l'équation de régression sont significatives à un degré de confiance de 95 % ou plus, comme le témoignent leurs niveaux de signification respectifs.

L'équation de régression a une valeur de coefficient de détermination (R^2) de 0,426, ce qui indique que cette équation explique 42,6 % de la variance dans l'IE à la source pour les bâtiments à bureaux. Puisque l'équation finale est structurée de façon telle que l'énergie par unité de superficie constitue la variable dépendante, le pouvoir explicatif de la superficie n'est pas inclus dans la valeur R^2 et, par conséquent, cette valeur paraît artificiellement basse. En recalculant la valeur R^2 dans les unités d'énergie à la source², on observe que l'équation explique, en fait, 89,5 % de la variation de l'énergie à la source totale des entrepôts. Il s'agit d'un excellent résultat pour un modèle d'énergie fondé sur des statistiques.

L'information détaillée sur la méthode de régression des moindres carrés ordinaires est présentée dans le document de référence technique pour la cote ENERGY STAR à l'adresse :

https://portfoliomanager.energystar.gov/pdf/reference/ENERGY%20STAR%20Score_fr_CA.pdf

Figure 2 – Statistiques descriptives des variables de l'équation de régression finale

Variable	Minimum	Médiane	Maximum	Moyenne
Énergie à la source par mètre carré (GJ/m ²)	0,1194	0,9698	4,117	1,09948
Hauteur libre	3	5	14	5,7369
Pourcentage pouvant être chauffé X DJC	0	4256,7235	6541,5556	3749,4468
Densité de travailleurs	6,69E-03	0,7339	4,083	0,8834
SiRfg20DJC	0	0	7052,8612	391,7333
Pourcentage d'entreposage réfrigéré	0	0	0,98	0,052

² La valeur R^2 de l'énergie à la source est calculée comme suit : $1 - (\text{variation résiduelle de } Y) / (\text{variation totale de } Y)$. La variation résiduelle est la somme de $[\text{masse} \cdot (\text{énergie à la source réelle}_i - \text{énergie à la source prévue}_i)]^2$ pour tous les cas observés. La variation totale de Y est la somme de $[\text{masse} \cdot (\text{énergie à la source réelle}_i - \text{énergie à la source moyenne})]^2$ pour tous les cas observés.

Figure 3 – Résultats de l'équation de régression finale

Résumé				
Variable dépendante	Intensité énergétique à la source (GJ/m ²)			
Nombre d'observations dans l'analyse	221			
Valeur R ²	0,426			
Valeur R ² ajustée	0,413			
Statistique F	31,91			
Signification (seuil p)	< 0,0001			
	Coefficients non normalisés	Erreur type	Valeur T	Signification (seuil p)
Constante	1,0995	0,03042	36,14	<0,0001
Hauteur libre	0,0424	0,01838	2,31	0,0220
Pourcentage pouvant être chauffé X DJC	8,97E -05	1,876E-05	4,78	<0,0001
Densité de travailleurs	0,2112	0,04759	4,44	<0,0001
SiRfg20DJC	1,15E -04	3,762E-05	3,07	0,0025
Pourcentage d'entreposage réfrigéré	0,8719	0,3134	2,78	0,0059

Remarques :

- La régression est une régression des moindres carrés ordinaires pondérés, pondérée par la variable « SWEIGHT » de l'EUCIE.
- Toutes les variables du modèle sont centrées. La variable centrée correspond à la différence entre la valeur réelle et la moyenne observée. Les valeurs moyennes observées sont présentées à la figure 2.
- Les degrés-jours de chauffage et de refroidissement proviennent des stations météorologiques en sol canadien qui font partie du National Climatic Data Center system des États-Unis.

TABLEAU DE RÉFÉRENCE DE LA COTE ENERGY STAR

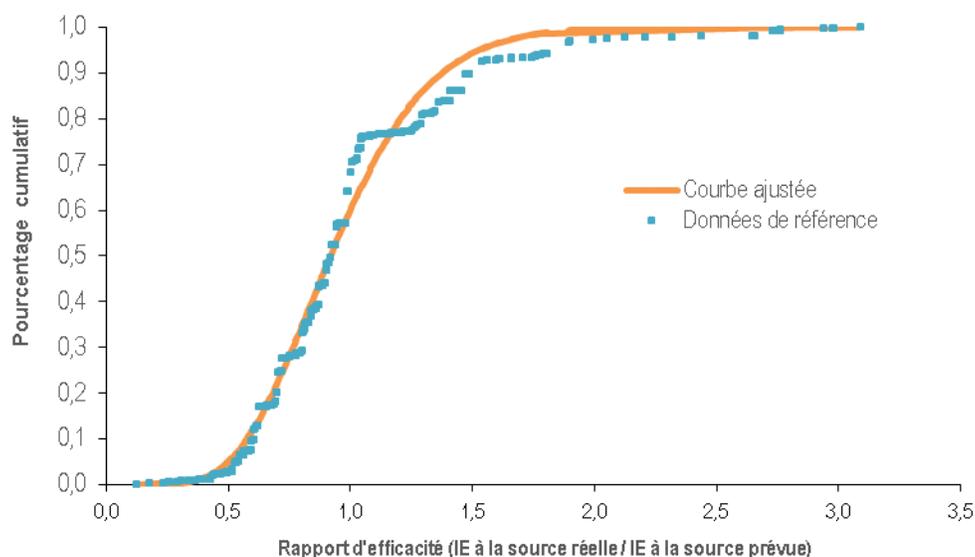
L'équation de régression finale (présentée à la **figure 3**) fournit une prédiction de l'IE à la source en fonction des caractéristiques d'exploitation d'un bâtiment. Certains bâtiments inclus dans les données de référence de l'EUCIE consomment plus d'énergie que la quantité prévue dans l'équation de régression, tandis que d'autres en consomment moins. Pour calculer le rapport d'efficacité énergétique, on divise l'IE à la source réelle de chaque cas observé de l'ensemble de données de référence par son IE à la source prévue :

$$\text{Taux de rendement énergétique} = \frac{\text{Intensité énergétique à la source réelle}}{\text{Intensité énergétique à la source prévue}}$$

Un rapport d'efficacité inférieur à 1 signifie que le bâtiment consomme moins d'énergie que prévu et qu'il est donc plus efficace. S'il affiche un rapport d'efficacité plus élevé, c'est la règle contraire qui s'applique.

Les rapports d'efficacité sont triés par ordre croissant, et le pourcentage cumulatif du groupe pour chaque rapport est calculé en utilisant la pondération pour chaque cas observé de l'ensemble de données de référence. La **figure 4** présente un graphique de cette distribution cumulative. Une courbe lisse (orange) est ajustée à ces données à l'aide d'une distribution gamma à deux paramètres. On procède à cet ajustement pour minimiser la somme des carrés des différences entre le rang en pourcentage réel de chaque bâtiment du groupe et le rang en pourcentage de chaque bâtiment en utilisant la solution gamma. L'ajustement final de la courbe gamma a produit un paramètre de forme (alpha) de 9,03168 et un paramètre d'échelle (bêta) de 0,1056. Pour cet ajustement, la somme de l'erreur quadratique est de 0,4406.

Figure 4 – Distribution pour les entrepôts



La courbe gamma finale et les paramètres d'échelle sont utilisés pour calculer le rapport d'efficacité à chaque rang centile (de 1 à 100) le long de la courbe. Par exemple, le rapport sur la courbe gamma à une valeur de 1 % correspond à une cote de 99, ce qui signifie que seulement 1 % des bâtiments du groupe ont un rapport égal ou inférieur. Le rapport sur la courbe ajustée à une valeur de 25 % correspond au rapport pour une cote de 75, ce qui indique que seulement 25 % des bâtiments du groupe ont un rapport égal ou inférieur. Le tableau de référence complet de la cote est présenté à la **figure 5**.

Figure 5 – Tableau de référence de la cote ENERGY STAR pour les entrepôts

Cote ENERGY STAR	Pourcentage cumulatif	Rapport d'efficacité énergétique		Cote ENERGY STAR	Pourcentage cumulatif	Rapport d'efficacité énergétique	
		> =	<			> =	<
100	0 %	0,0000	0,3723	50	50 %	0,9185	0,9263
99	1 %	0,3723	0,4195	49	51 %	0,9263	0,9342
98	2 %	0,4195	0,4516	48	52 %	0,9342	0,9421
97	3 %	0,4516	0,4768	47	53 %	0,9421	0,9500
96	4 %	0,4768	0,4981	46	54 %	0,9500	0,9581
95	5 %	0,4981	0,5167	45	55 %	0,9581	0,9662
94	6 %	0,5167	0,5334	44	56 %	0,9662	0,9744
93	7 %	0,5334	0,5487	43	57 %	0,9744	0,9826
92	8 %	0,5487	0,5629	42	58 %	0,9826	0,9910
91	9 %	0,5629	0,5761	41	59 %	0,9910	0,9994
90	10 %	0,5761	0,5886	40	60 %	0,9994	1,0080
89	11 %	0,5886	0,6005	39	61 %	1,0080	1,0166
88	12 %	0,6005	0,6119	38	62 %	1,0166	1,0254
87	13 %	0,6119	0,6228	37	63 %	1,0254	1,0343
86	14 %	0,6228	0,6333	36	64 %	1,0343	1,0434
85	15 %	0,6333	0,6435	35	65 %	1,0434	1,0526
84	16 %	0,6435	0,6534	34	66 %	1,0526	1,0619
83	17 %	0,6534	0,6630	33	67 %	1,0619	1,0715
82	18 %	0,6630	0,6724	32	68 %	1,0715	1,0812
81	19 %	0,6724	0,6815	31	69 %	1,0812	1,0911
80	20 %	0,6815	0,6905	30	70 %	1,0911	1,1012
79	21 %	0,6905	0,6993	29	71 %	1,1012	1,1115
78	22 %	0,6993	0,7079	28	72 %	1,1115	1,1221
77	23 %	0,7079	0,7164	27	73 %	1,1221	1,1330
76	24 %	0,7164	0,7248	26	74 %	1,1330	1,1441
75	25 %	0,7248	0,7331	25	75 %	1,1441	1,1556
74	26 %	0,7331	0,7412	24	76 %	1,1556	1,1674
73	27 %	0,7412	0,7493	23	77 %	1,1674	1,1796
72	28 %	0,7493	0,7573	22	78 %	1,1796	1,1921
71	29 %	0,7573	0,7652	21	79 %	1,1921	1,2052
70	30 %	0,7652	0,7731	20	80 %	1,2052	1,2187
69	31 %	0,7731	0,7809	19	81 %	1,2187	1,2328
68	32 %	0,7809	0,7887	18	82 %	1,2328	1,2475
67	33 %	0,7887	0,7964	17	83 %	1,2475	1,2628
66	34 %	0,7964	0,8041	16	84 %	1,2628	1,2790
65	35 %	0,8041	0,8117	15	85 %	1,2790	1,2960
64	36 %	0,8117	0,8193	14	86 %	1,2960	1,3140
63	37 %	0,8193	0,8269	13	87 %	1,3140	1,3332
62	38 %	0,8269	0,8345	12	88 %	1,3332	1,3537
61	39 %	0,8345	0,8421	11	89 %	1,3537	1,3759
60	40 %	0,8421	0,8497	10	90 %	1,3759	1,4000
59	41 %	0,8497	0,8573	9	91 %	1,4000	1,4265
58	42 %	0,8573	0,8649	8	92 %	1,4265	1,4560
57	43 %	0,8649	0,8725	7	93 %	1,4560	1,4894
56	44 %	0,8725	0,8801	6	94 %	1,4894	1,5281
55	45 %	0,8801	0,8877	5	95 %	1,5281	1,5744
54	46 %	0,8877	0,8954	4	96 %	1,5744	1,6325
53	47 %	0,8954	0,9030	3	97 %	1,6325	1,7119
52	48 %	0,9030	0,9108	2	98 %	1,7119	1,8418
51	49 %	0,9108	0,9185	1	99 %	1,8418	> 1,8418

EXEMPLE DE CALCUL

Comme l'explique en détail le document de référence technique pour la cote ENERGY STAR à https://portfoliomanager.energystar.gov/pdf/reference/ENERGY%20STAR%20Score_fr_CA.pdf, il y a cinq étapes pour calculer une cote. Voici un exemple concret qui permet de calculer la cote des entrepôts :

1 L'utilisateur inscrit les données relatives au bâtiment dans Portfolio Manager

- Douze mois de données de consommation énergétique pour tous les types d'énergie (valeurs annuelles, fournies sous forme d'entrées de compteurs mensuels).
- Renseignements physiques sur le bâtiment (taille, emplacement, etc.) et détails concernant l'utilisation et l'activité du bâtiment (heures d'exploitation, etc.).

Données énergétiques	Valeur
Électricité	4 500 000 kWh
Gaz naturel	312 257 m ³

Détails d'utilisation de la propriété	Valeur
Superficie brute (m ²)	35 000
DJC (fourni par Portfolio Manager, selon le code postal)	2700
Pourcentage pouvant être chauffé	10 %
Pourcentage utilisé pour l'entreposage frigorifique	90 %
Hauteur libre (m)	7
Nombre de travailleurs sur le quart de travail principal ³	100

2 Portfolio Manager calcule l'IE à la source réelle

- La consommation totale de chaque type de combustible à partir des unités de facturation est convertie en énergie du site et en énergie à la source.
- Les valeurs d'énergie à la source sont ajoutées pour tous les types de combustibles.
- L'énergie à la source est divisée par la superficie brute afin de déterminer l'IE à la source réelle.

Calcul de l'IE à la source réelle

Combustible	Facturation Unités	Multiplicateur GJ du site	GJ du site	Multiplicateur de la source	GJ à la source
Électricité	4 500 000 kWh	0,0036	16 199	1,96	31 751
Gaz naturel	312 257 m ³	0,03843	12 000	1,01	12 120
Énergie à la source totale (GJ)					43 871
IE à la source (GJ/m²)					1,2535

³ Ceci représente le niveau de dotation de pointe typique durant le quart de travail principal. Par exemple, s'il y a 2 quarts de travail quotidiens de 6 heures et de 25 employés chacun, le nombre d'employés sur le quart de travail principal est 25.

3 Portfolio Manager calcule l'IE à la source prévue

- En utilisant les renseignements sur l'utilisation de la propriété fournis à l'étape 1, Portfolio Manager calcule la valeur de chaque variable du bâtiment dans l'équation de régression (en déterminant la densité, au besoin).
- Les valeurs de centrage sont soustraites pour calculer la variable centrée pour chaque paramètre d'exploitation.
- Les variables centrées sont multipliées par les coefficients de l'équation de régression de l'entrepôt pour obtenir l'IE à la source prévue.

Calcul de l'IE à la source prévue

Variable	Réelle Bâtiment Valeur	Valeur de centrage de référence	Variable centrée du bâtiment	Coefficient	Coefficient x variable centrée
Constante	-	-	-	1,0995	1,0995
Hauteur libre	7	5,7369	1,2631	0,0424	0,0535
Pourcentage pouvant être chauffé X DJC	270	3749,4468	-3479,4468	8,97E -05	-0,3121
Densité de travailleurs*	0,2857	0,8834	-0,5977	0,2112	-0,1262
SiRfg20DJC	2700	391,7333	2308,2667	1,15E -04	0,2661
Pourcentage d'entreposage réfrigéré	0,9	0,0520	0,8481	0,8719	0,7394

IE à la source prévue (GJ/m²) **1,7202**

*Travailleurs par 100 m²

4 Portfolio Manager calcule le rapport d'efficacité énergétique

- Le rapport est égal à l'IE à la source réelle (étape 2) divisée par l'IE à la source prévue (étape 3).
- Rapport = 1,2535 / 1,7202 = **0,7287**

5 Portfolio Manager utilise le rapport d'efficacité énergétique pour attribuer une cote par l'entremise du tableau de référence

- Le rapport obtenu à l'étape 4 permet de trouver la cote dans le tableau de référence.
- Un rapport de 0,7287 est supérieur à 0,7248 et inférieur à 0,7331.
- **La cote ENERGY STAR est 75.**