



ENERGY STAR®

PortfolioManager®

Référence technique

## Cote ENERGY STAR pour les écoles du préscolaire au secondaire au Canada

### APERÇU

La cote ENERGY STAR pour les écoles du préscolaire au secondaire s'applique aux écoles primaires et secondaires. Elle n'inclut pas les collèges, les cégeps, ou les salles de cours et les laboratoires d'université, les écoles de formation professionnelle, les écoles de métiers, les écoles techniques, les centres préscolaires ou les garderies. 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. On effectue l'analyse statistique d'un groupe de bâtiments semblables afin de définir et de normaliser en fonction des activités d'un bâtiment qui contribuent de façon importante à sa consommation d'énergie. Grâce à cette analyse, il est possible d'obtenir une équation permettant 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 écoles s'applique aux écoles primaires et secondaires, de la maternelle à la 12<sup>e</sup> année. Elle s'applique aux bâtiments individuels et aux complexes de bâtiments. Un bâtiment individuel qui fait partie d'un complexe plus large ne peut pas recevoir une cote individuelle.
- **Données de référence.** L'analyse pour les écoles au Canada est fondée 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).
- **Ajustements pour les conditions météorologiques et les activités commerciales.** L'analyse comprend des ajustements pour:
  - la taille du bâtiment;
  - la taille du gymnase;
  - s'il s'agit d'une école secondaire;
  - le nombre de travailleurs;
  - le nombre de places assises pour les élèves;
  - le nombre d'heures d'exploitation hebdomadaires;
  - les conditions météorologiques et le climat (en utilisant les degrés-jours de chauffage et de refroidissement obtenus en fonction du code postal);
  - le pourcentage de la superficie du bâtiment qui est chauffée et refroidie.
- **Date de publication.** Il s'agit de la première publication de la cote ENERGY STAR pour les écoles du préscolaire au secondaire utilisant des données canadiennes.



ENERGY STAR®

PortfolioManager®

Référence technique

## Cote ENERGY STAR pour les écoles du préscolaire au secondaire au Canada

Ce document présente des renseignements détaillés sur la conception de la cote ENERGY STAR de 1 à 100 pour les écoles du préscolaire au secondaire. Il est possible d'obtenir plus d'information sur la démarche générale pour concevoir la cote ENERGY STAR en consultant le document de référence technique pour la cote ENERGY STAR au [https://portfoliomanager.energystar.gov/pdf/reference/ENERGY%20STAR%20Score\\_fr\\_CA.pdf](https://portfoliomanager.energystar.gov/pdf/reference/ENERGY%20STAR%20Score_fr_CA.pdf). Les prochaines sections du présent document fournissent des précisions sur la conception de la cote ENERGY STAR pour les écoles du préscolaire au secondaire.

APERÇU .....	1
DONNÉES DE RÉFÉRENCE ET FILTRES .....	3
VARIABLES ANALYSÉES .....	5
RÉSULTATS DE L'ÉQUATION DE RÉGRESSION .....	9
TABLEAU DE RÉFÉRENCE DE LA COTE ENERGY STAR .....	11
EXEMPLE DE CALCUL .....	13

## DONNÉES DE RÉFÉRENCE ET FILTRES

Les données de référence utilisées pour établir le parc de bâtiments semblables dans le but de concevoir la cote ENERGY STAR pour les écoles du préscolaire au secondaire au Canada 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 2010 et au début de 2011. Les données de consommation pour l'enquête proviennent de l'année civile 2009. Le fichier de données brutes recueillies pour cette enquête n'est pas accessible au public, mais un rapport fournissant un sommaire des résultats est accessible sur le site Web de Ressources naturelles Canada au [http://oe.nrcan.gc.ca/publications/statistiques/scieu09/scieu\\_f.pdf](http://oe.nrcan.gc.ca/publications/statistiques/scieu09/scieu_f.pdf).

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 surmonter les limites techniques des données. Ces filtres sont : type de bâtiment, programme, restrictions des données et analytiques. Une description complète de chacun de ces filtres est présentée dans notre document de référence technique pour la cote ENERGY STAR, au [https://portfoliomanager.energystar.gov/pdf/reference/ENERGY%20STAR%20Score\\_fr\\_CA.pdf](https://portfoliomanager.energystar.gov/pdf/reference/ENERGY%20STAR%20Score_fr_CA.pdf). La **figure 1** présente un résumé de chaque filtre appliqué pour la conception de la cote ENERGY STAR pour les écoles du préscolaire au secondaire et explique le bien-fondé de chaque filtre. Une fois tous les filtres appliqués, on a dénombré 241 cas dans l'ensemble des données restantes. En raison de la confidentialité des données de l'enquête, nous ne sommes pas en mesure de publier le nombre d'observations à l'application de chacun des filtres.

**Figure 1 – Sommaire des filtres pour la cote ENERGY STAR pour les écoles du préscolaire au secondaire**

Conditions d'inclusion d'une observation dans l'analyse	Justification
Défini comme catégorie 3 dans l'EUCIE – écoles de la maternelle à la 12 <sup>e</sup> année	L'enquête EUCIE portait sur le secteur commercial et institutionnel et comprenait des bâtiments de tous genres. Pour ce modèle, seuls les cas identifiés comme étant principalement des écoles sont utilisés.
Au moins 70 % du bâtiment doit être une école du préscolaire au secondaire	Filtre type de bâtiment – Définition d'une école
Doit avoir des données de consommation d'électricité	Filtre programme – L'exigence de base pour que le bâtiment soit considéré comme une école opérationnelle est qu'il doit consommer de l'électricité. L'électricité peut être achetée en réseau ou être produite au site.
Doit avoir une superficie d'au moins 100 m <sup>2</sup>	Filtre programme – Puisque les écoles qui ont une superficie de moins de 100 m <sup>2</sup> sont rares, RNCAN a décidé d'utiliser ce seuil comme critère d'admissibilité au programme.
Doit être exploité au moins 30 heures par semaine	Filtre programme – Exigence de base pour que le bâtiment soit considéré comme une école exploitée à temps plein.
Doit être exploité au moins 8 mois par année	Filtre programme – Exigence de base pour que le bâtiment soit considéré comme une école exploitée à temps plein.
Doit y avoir au moins 1 employé et 2 élèves	Filtre programme – Exigence de base pour que le bâtiment soit considéré comme une école opérationnelle. Elle doit être occupée.
Doit y avoir au moins 1 ordinateur sur place	Filtre programme – Exigence de base pour que le bâtiment soit considéré comme une école opérationnelle. Il doit y avoir au moins 1 ordinateur sur place

Conditions d'inclusion d'une observation dans l'analyse	Justification
Doit avoir été construit en 2008 ou avant	Filtre restrictions des données – L'enquête indiquait la consommation d'énergie pour l'année civile 2009. Par conséquent, si le bâtiment avait été construit en 2009, il serait impossible d'obtenir une année complète de données sur la consommation.
Doit exclure l'énergie fournie à d'autres bâtiments qui n'a pas été quantifiée	Filtre restrictions des données – Aucune donnée n'a été recueillie pour ce type de consommation si le répondant a indiqué que le bâtiment fournissait de l'énergie à d'autres bâtiments sans toutefois préciser la quantité fournie.
Ne doit pas utiliser de combustibles «autre» dont la consommation n'est pas reportée	Filtre restrictions des données – Aucune donnée n'a été recueillie sur ce type de consommation. L'enquête demandait si le bâtiment utilisait une autre forme d'énergie supplémentaire qui n'aurait pas été déclarée. Dans l'affirmative, ces cas ont été alors retirés de l'analyse.
Au moins 70 % de la superficie doit être chauffée	Filtre analytique – Valeurs jugées aberrantes en se basant sur 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.
Doit avoir une intensité énergétique à la source de plus de 0,15 et de moins de 7 GJ/m <sup>2</sup>	Filtre analytique – Valeurs jugées aberrantes en se basant sur 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.
Doit avoir une densité d'employés (employé par 100 m <sup>2</sup> ) inférieure ou égale à 3	Filtre analytique – Valeurs jugées aberrantes en se basant sur 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.
Doit avoir une densité d'élèves (nombre d'élèves par 100 m <sup>2</sup> ) inférieure ou égale à 50	Filtre analytique – Valeurs jugées aberrantes en se basant sur 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.

L'objectif de cette analyse était d'obtenir des données représentatives pour une école typique utilisée à des fins commerciales ou institutionnelles. Une analyse approfondie a été réalisée afin d'établir le seuil pour la taille minimale à des intervalles de 100 m<sup>2</sup> et, contrairement à d'autres modèles, aucun seuil de taille minimal précis n'a pu être observé. Cependant, puisque les écoles qui ont une superficie de moins de 100 m<sup>2</sup> (environ 1 076 pi<sup>2</sup>) sont rares et, puisqu'il s'agit d'une très petite taille pour une école, cette valeur a été choisie comme seuil minimal d'admissibilité à une cote.

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. En revanche, les filtres de restrictions des données tiennent compte des limites dans les données disponibles, mais ne s'appliquent pas dans Portfolio Manager. Pour leur part, les filtres analytiques servent à éliminer les données aberrantes ou différents sous-ensembles de données. Ces filtres 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 bâtiments de bureaux de moins de 465 m<sup>2</sup> ne se comportent pas de la même façon que les bâtiments plus grands). Dans de tels cas, un filtre analytique sera utilisé pour en 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 pour obtenir une cote dans Portfolio Manager, consulter [www.energystar.gov/EligibilityCriteria](http://www.energystar.gov/EligibilityCriteria) (disponible en anglais seulement).

Une autre considération reliée aux filtres et critères d'admissibilité est de savoir comment Portfolio Manager traite les propriétés qui sont situées dans un complexe. L'unité principale pour effectuer l'analyse comparative dans Portfolio Manager est la propriété. Ce terme peut désigner un bâtiment unique ou un complexe de bâtiments. L'applicabilité de la cote ENERGY STAR dépend du type de propriété. Les écoles peuvent obtenir une cote ENERGY STAR pour un bâtiment unique ou pour un complexe de bâtiments. Les écoles peuvent être constituées de plusieurs bâtiments qui sont tous inhérents à l'activité principale. Un bâtiment peut contenir des salles de classes, un deuxième peut contenir le gymnase et un autre pourrait être une salle de classe mobile. Dans un tel cas, il est possible d'obtenir une cote ENERGY STAR pour le complexe en entier tant que la consommation d'énergie est mesurée et déclarée pour tous les bâtiments du complexe. Dans les cas où toutes les activités sont contenues à l'intérieur d'un même bâtiment, l'école peut obtenir une cote ENERGY STAR pour ce bâtiment uniquement.

## VARIABLES ANALYSÉES

Afin de normaliser en fonction des différences en matière d'activité commerciale, nous procédons à une analyse statistique pour déterminer les aspects de l'activité d'un bâtiment qui sont statistiquement significatifs sur le plan 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., les heures d'exploitation, le nombre de travailleurs 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 écoles.

### Variable dépendante

La variable dépendante est l'élément que nous tentons de prédire au moyen de l'équation de régression. Pour l'analyse des écoles du préscolaire au secondaire, 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, y compris les salles de classes mobiles alimentées par le bâtiment principal. L'équation de régression analyse les principaux éléments qui influent sur l'IE à la source – les facteurs qui expliquent la variation dans la consommation d'énergie à la source par mètre carré dans les écoles. L'unité de mesure de l'IE à la source dans le modèle canadien est le gigajoule par mètre carré (GJ/m<sup>2</sup>).

### Variables indépendantes

Les données de l'EUCIE contiennent de nombreux éléments liés à l'exploitation du bâtiment que RNCAN a identifiés comme potentiellement importants pour les écoles. En se basant sur un examen des variables disponibles dans les données de l'EUCIE, en conformité avec les critères d'inclusion,<sup>1</sup> RNCAN a d'abord analysé les variables qui suivent dans l'analyse de régression.

- Superficie brute du bâtiment (m<sup>2</sup>)
- Degrés-jours de chauffage (DJC)
- Degrés-jours de refroidissement (DJR)
- Température extérieure moyenne (°C)
- Pourcentage de la superficie chauffée

<sup>1</sup> Une explication complète de ces critères se trouve dans le document de référence technique pour la cote ENERGY STAR au [https://portfoliomanager.energystar.gov/pdf/reference/ENERGY%20STAR%20Score\\_fr\\_CA.pdf](https://portfoliomanager.energystar.gov/pdf/reference/ENERGY%20STAR%20Score_fr_CA.pdf).



- Pourcentage de la superficie refroidie
- Présence d'une aire de préparation d'aliments commerciale (cuisine commerciale) (O/N)
- Superficie dédiée à la cuisine commerciale
- Présence d'un gymnase (O/N)
- Superficie dédiée au gymnase (m<sup>2</sup>)
- Année de construction
- Présence d'une piscine intérieure (O/N)
- Nombre d'étages
- Nombre d'heures d'exploitation par semaine
- Nombre de mois d'exploitation en 2009
- Nombre de travailleurs sur le quart de travail principal
- Nombre de places assises pour les élèves
- Nombre d'ordinateurs
- Nombre de serveurs informatiques
- Nombre de machines distributrices
- Présence d'activités communautaires ou en soirée (O/N)
- Présence d'une garderie (O/N)
- S'agit-il d'une école secondaire?

RNCan et l'EPA ont effectué un examen approfondi de l'ensemble de ces caractéristiques d'exploitation. En plus d'examiner individuellement chaque caractéristique, ils les ont aussi examinées les unes par rapport aux autres (p. ex., les 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 relations physiques des différents éléments du bâtiment. Par exemple, le nombre de travailleurs sur le quart principal peut être évalué sous forme de densité. Le nombre de travailleurs *par mètre carré* (contrairement au nombre brut de travailleurs) devrait correspondre avec la consommation d'énergie par mètre carré. En outre, en fonction des résultats d'analyse et des graphiques des résidus, les variables ont été examinées en utilisant différentes transformations (comme le logarithme naturel, dont l'abréviation est Ln). L'analyse est constituée de plusieurs formulations de régression. Ces analyses sont structurées de façon à trouver la combinaison de caractéristiques de fonctionnement 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 :

- Présence d'une école secondaire (Oui/Non)
- Logarithme naturel de la superficie
- Logarithme naturel du nombre d'employés
- Nombre de places assises (nombre d'élèves)
- Logarithme naturel de la taille du gymnase (m<sup>2</sup>)
- Degrés-jours de chauffage multipliés par le pourcentage de la superficie chauffée
- Degrés-jours de refroidissement multipliés par le pourcentage de la superficie refroidie

Ces variables sont utilisées ensemble pour calculer l'IE à la source prévue pour les écoles. 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 tout comme votre bâtiment.

### Variable d'école secondaire

L'analyse a montré que les écoles secondaires tendent à avoir une intensité énergétique plus élevée que les écoles primaires. Une partie de l'analyse consistait à ajouter une variable déterminante pour les écoles secondaires afin de les différencier des écoles primaires. Cela a permis d'évaluer les variables applicables aux écoles secondaires uniquement. Toutefois, seule la variable indiquant la présence d'une école secondaire était significative.

### Climat (DJC et DJR)

L'analyse a porté sur les degrés-jours de chauffage (DJC), les degrés-jours de refroidissement (DJR), et la température extérieure moyenne, ainsi que sur les produits avec les pourcentages de la superficie chauffée et refroidie. Les premières constatations ont fait ressortir une corrélation particulièrement grande avec les DJC et, par extension, avec les DJC multipliés par le pourcentage de la superficie chauffée. La valeur des DJC multipliés par le pourcentage de la superficie chauffée a été choisie comme variable, même si, dans la pratique, les écoles sont généralement entièrement chauffées.

L'analyse a permis d'observer un comportement légèrement différent dans le cas des DJR. Généralement, les écoles ne sont pas climatisées ou peuvent l'être seulement dans certaines sections restreintes. Dans plus de 50 % des écoles de l'ensemble de données, moins de 5 % de la superficie était climatisée. En conséquence, la variable DJR seule n'était pas significative, mais lorsqu'elle était combinée avec le pourcentage de la superficie refroidie, elle devenait significative. Deux raisons expliquent cette observation. Premièrement, certaines écoles ne sont pas ouvertes durant les mois d'été lorsque la climatisation est davantage requise. Deuxièmement, les écoles n'ont pas nécessairement de système de climatisation dans tout le bâtiment; la climatisation est parfois limitée à des parties précises de l'école, telles que les bureaux administratifs.

Les données météorologiques pour le modèle canadien proviennent du National Climatic Data Center des États-Unis. L'EPA utilise les mêmes sources pour les bâtiments aux États-Unis. Les données météorologiques dans Portfolio Manager proviennent également de cette source.

### Taille du bâtiment

Plusieurs variables liées à la taille du bâtiment ont été retenues pour une analyse ultérieure. Ces variables comprennent la superficie, le logarithme naturel de la superficie et le nombre d'étages. Le logarithme naturel de la superficie (LnSuperficie) est ressorti comme la variable la plus forte et la plus significative. Cette variable est toujours significative en elle-même. Comme avec d'autres variables, on a analysé la combinaison de LnSuperficie pour tous les bâtiments et d'une autre variable distincte pour les écoles secondaires. Dans toutes les itérations, seule la variable LnSuperficie est demeurée significative. Le modèle final comprend donc la variable LnSuperficie.

### Employés et élèves

Initialement, quatre variables ont été analysées en matière d'occupation : le nombre de travailleurs, la densité des travailleurs, le nombre de places assises pour les élèves et la densité d'élèves. Certains comportements intéressants ont été observés pour les écoles, qui se distinguent de ceux des autres types de bâtiments. Par exemple, dans le modèle des bâtiments de bureaux, la densité de travailleurs est indépendante de la taille des bâtiments (autrement dit, un bâtiment plus grand aura plus d'employés mais une densité similaire à celle des bâtiments plus petits). Mais dans le cas des écoles, la tendance indique une densité d'élèves plus faible dans les grandes écoles. Les écoles dont le taux d'occupation est plus élevé, généralement les écoles de plus grande taille, consomment généralement

moins d'énergie (il existe une corrélation négative entre la taille et l'énergie). Vu ces tendances opposées, la densité de travailleurs (et la densité d'élèves) ne semblait généralement pas être statistiquement significative ou semblait avoir de répercussions sur d'autres variables, comme la taille du bâtiment. On a observé que les régressions qui comprenaient le nombre de places assises pour les élèves et le logarithme naturel pour les employés étaient davantage significatives et fiables. C'est pourquoi on les a incluses dans le modèle final.

### Heures et mois d'exploitation

Les deux premières variables liées à la période d'occupation qui ont été évaluées étaient les mois d'exploitation et les heures d'exploitation par semaine. Dans les deux cas, on observe une tendance notable selon laquelle les écoles de plus grande taille comptent plus d'heures et de mois d'exploitation. Ainsi, même si on pourrait s'attendre à ce que les écoles qui comptent le plus d'heures d'exploitation seraient plus énergivores, elles ont tendance à être celles de grande taille, qui affichent une intensité énergétique globale inférieure. Par conséquent, comme les variables pour les mois et les heures d'exploitation n'étaient pas statistiquement significatives, elles n'ont pas été retenues dans le modèle de régression final.

En outre, une autre variable possible était celle indiquant si l'école est utilisée pour des activités communautaires ou en soirée. À l'instar des variables pour les heures et les mois, cette variable ne s'est pas avérée significative dans les itérations de modèles. Ce comportement est probablement dû à la forte corrélation entre la taille de l'école et la présence d'un gymnase (voir la section sur les gymnases ci-dessous). Les grandes écoles ont tendance à avoir de plus grands gymnases et aussi à être opérationnelles pendant de longues périodes. Par conséquent, la variable primaire est la taille de l'école, en combinaison avec la taille du gymnase, et non les périodes d'occupation.

### Ordinateurs

Une corrélation entre le nombre d'ordinateurs et le nombre d'occupants a été observée; ce qui est généralement normal. RNCAN a analysé plusieurs combinaisons de variables axées sur les ordinateurs et les occupants, y compris : le nombre d'ordinateurs par 100 m<sup>2</sup> et le nombre d'ordinateurs par occupant. En raison de la corrélation entre le nombre d'ordinateurs et d'occupants, le nombre d'ordinateurs n'était pas une variable significative au cours de l'élaboration du modèle. Par ailleurs, puisque le nombre d'élèves et d'employés était plus représentatif d'un environnement scolaire, aucune variable d'ordinateur n'apparaît dans l'équation finale.

### Gymnases

Les données relatives à la présence d'un gymnase et à la taille de ce gymnase étaient disponibles. Pour comprendre l'effet de cette caractéristique, nous avons étudié plusieurs variables liées aux gymnases (pourcentage de la superficie dédiée au gymnase, la superficie du gymnase et le logarithme naturel de la superficie du gymnase [LnSuperficieGym]). La variable LnSuperficieGym était souvent significative dans les régressions réalisées, de même que celle indiquant la présence d'un gymnase. La régression avec la variable LnSuperficieGym a été choisie parce qu'elle prenait en considération la taille réelle du gymnase et qu'elle était plus représentative du bâtiment évalué pour l'obtention d'une cote.

On a constaté que, si la variable LnSuperficie avait un coefficient négatif (car les écoles de grande taille ont tendance à être moins énergivores), la variable LnSuperficieGym avait pour sa part un coefficient positif qui était probablement dû à la ventilation accrue et à l'intensité de l'éclairage à l'intérieur de cet espace.

## Cuisines commerciales

Deux éléments de données étaient disponibles au sujet des aires de cuisine commerciale, soit la présence d'installations commerciales de préparation d'aliments et le pourcentage de la superficie dédié à la cuisine commerciale. Toutefois, aucun de ces éléments de données n'était significatif. Ils n'ont donc pas été inclus dans le modèle.

## Piscines

Dans l'ensemble des données, peu d'écoles avaient une piscine intérieure. La méthodologie existante pour les piscines dans Portfolio Manager consiste à calculer une tolérance pour les piscines. Portfolio Manager soustrait ensuite cette tolérance pour évaluer l'école comme si elle n'avait pas de piscine. On peut trouver la description complète de cette évaluation au [www.energystar.gov/ScoreDetails](http://www.energystar.gov/ScoreDetails) (disponible en anglais seulement).

Le modèle canadien utilise la même approche que le modèle américain, et applique la même tolérance pour les piscines.

## Vérification

Enfin, RNCAN a mis à l'essai l'équation de régression en utilisant des écoles réelles qui se trouvent déjà dans Portfolio Manager. Cela a permis d'obtenir un autre ensemble de bâtiments à examiner, en plus des données de l'EUCIE, pour connaître les cotes ENERGY STAR moyennes et les distributions ainsi que pour évaluer les répercussions et les ajustements. Parce que les données dans Portfolio Manager n'incluaient pas certaines des variables requises pour la cote canadienne, on a utilisé des valeurs par défaut pour ces variables. Cette analyse a quand même permis de reconfirmer qu'il n'y avait aucun parti pris régional ni aucune partialité à l'égard du type d'énergie de chauffage.

Il est important de rappeler que l'équation de régression finale repose sur les données de référence représentatives à l'échelle nationale, 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 pondérés sur l'ensemble de données filtrées des 241 cas observés. La variable dépendante est l'IE à la source. Chaque variable indépendante est centrée par rapport à la valeur moyenne, présentée à la **figure 2**. L'équation finale est présentée à la **figure 3**. Toutes les variables dans l'équation de régression sont significatives au degré de confiance de 95 % ou plus comme le témoigne leur niveau de signification respectif, à l'exception de la variable degrés-jours de refroidissement multipliés par le pourcentage de la superficie refroidie qui est au niveau de confiance de plus de 93 %.

L'équation de régression a une valeur de coefficient de détermination ( $R^2$ ) de 0,343, ce qui indique que cette équation explique 34,3 % de la variance dans l'IE à la source pour les écoles du préscolaire au niveau secondaire. 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  $R^2$  en unités d'énergie à la source,<sup>2</sup> on observe que l'équation explique en fait 88,9 % de la variation de l'énergie à la source totale des écoles du préscolaire au niveau secondaire. Il s'agit d'un excellent résultat pour un modèle d'énergie fondé sur des statistiques.

<sup>2</sup> 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  $(\text{énergie à la source réelle}_i - \text{énergie à la source prévue}_i)^2$  pour toutes les observations. La variation totale de  $Y$  est la somme de  $(\text{énergie à la source réelle}_i - \text{énergie à la source moyenne})^2$  pour toutes les observations.

Une description complète de la méthode de régression des moindres carrés pondérés est présentée dans le document de référence technique pour la cote ENERGY STAR au

[https://portfoliomanager.energystar.gov/pdf/reference/ENERGY%20STAR%20Score\\_fr\\_CA.pdf](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	Moyenne	Maximum	Minimum
Consommation d'énergie à la source par mètre carré (GJ/m <sup>2</sup> )	1,73	0,185	3,453
École secondaire (O/N)	S. O.	0,000	1,000
Degrés-jours de chauffage multipliés par le pourcentage de la superficie chauffée	4 579,683	2 915,233	7 322,500
Degrés-jours de refroidissement multipliés par le pourcentage de la superficie refroidie	48,041	0,000	399,722
Logarithme naturel de la superficie du bâtiment	8,110	5,403	10,506
Logarithme naturel du nombre d'employés pendant le quart de travail principal	3,174	0,000	5,318
Nombre de places assises pour les élèves	418,835	22,000	2 500,000
Logarithme naturel de la superficie du gymnase	4,983	0,000	8,626

**Figure 3 – Résultats de l'équation de régression finale**

Sommaire				
Variable dépendante	Intensité énergétique à la source (GJ/m <sup>2</sup> )			
Nombre d'observations dans l'analyse	241			
Valeur R <sup>2</sup>	0,343			
Statistique F	17,34			
Signification (seuil-p)	<0,0001			
	Coefficients non normalisés	Erreur type	Valeur T	Signification (seuil-p)
Constante	0,99610	0,02255	39,50	<0,0001
École secondaire (O/N)	0,22734	0,05012	4,54	<0,0001
C_Degrés-jours de chauffage x pourcentage de la superficie chauffée	0,00015782	0,00001946	8,11	<0,0001
C_Degrés-jours de refroidissement x pourcentage de la superficie refroidie	0,00053207	0,00029717	1,79	0,0747
C_Ln(Superficie du bâtiment)	-0,36532	0,06263	-5,83	<0,0001
C_Ln(Nombre d'employés)	0,11120	0,05517	2,02	0,0450
C_Nombre de places assises pour les élèves	0,00040116	0,00011036	3,64	0,0003
C_Ln(Superficie du gymnase)	0,02874	0,01218	2,26	0,0191

- Remarques

- La régression est une régression des moindres carrés pondérés, pondérée par la variable « WTBS » de l'EUCIE.

- Le préfixe C\_ pour chaque variable indique qu'elle est centrée. 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 DJC et les DJR proviennent du National Climatic Data Center des États-Unis.

## TABLEAU DE RÉFÉRENCE DE LA COTE ENERGY STAR

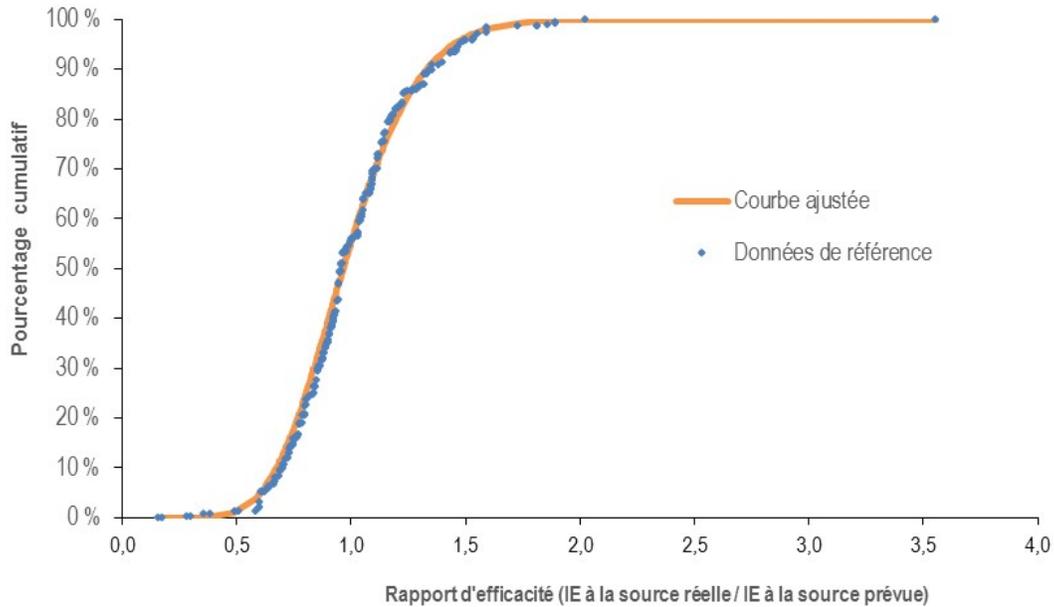
L'équation de régression finale (présentée à la **figure 3**) prédit l'IE à la source en fonction des caractéristiques d'exploitation d'un bâtiment. Certains bâtiments inclus dans les données de référence de l'EUCIE consomment plus d'énergie que la quantité prévue dans l'équation de régression, tandis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

$$\text{Rapport d'efficacité énergétique} = \frac{\text{Intensité énergétique à la source réelle}}{\text{Intensité énergétique à la source prévue}}$$

Un rapport d'efficacité plus faible 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 observation 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 16,84137 et un paramètre d'échelle (bêta) de 0,05897. Pour cet ajustement, la somme de l'erreur quadratique est de 0,054373.

Figure 4 – Distribution pour les écoles du préscolaire au secondaire



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 parc immobilier ont un rapport égal ou inférieur. Le tableau de référence de la cote complète est présenté à la **figure 5**.

Figure 5 – Tableau de référence de la cote ENERGY STAR pour les écoles du préscolaire au secondaire

Cote ENERGY STAR	Pourcentage cumulé	Rapport d'efficacité énergétique	
		<	<
100	0 %	0,0000	0,5178
99	1 %	0,5178	0,5613
98	2 %	0,5613	0,5902
97	3 %	0,5902	0,6126
96	4 %	0,6126	0,6313
95	5 %	0,6313	0,6475
94	6 %	0,6475	0,6619
93	7 %	0,6619	0,6750
92	8 %	0,6750	0,6871
91	9 %	0,6871	0,6983
90	10 %	0,6983	0,7089
89	11 %	0,7089	0,7189
88	12 %	0,7189	0,7284
87	13 %	0,7284	0,7375
86	14 %	0,7375	0,7463
85	15 %	0,7463	0,7547
84	16 %	0,7547	0,7628
83	17 %	0,7628	0,7707
82	18 %	0,7707	0,7784
81	19 %	0,7784	0,7859
80	20 %	0,7859	0,7962
79	21 %	0,7932	0,8004
78	22 %	0,8004	0,8074
77	23 %	0,8074	0,8142
76	24 %	0,8142	0,8210
75	25 %	0,8210	0,8277
74	26 %	0,8277	0,8342
73	27 %	0,8342	0,8407
72	28 %	0,8407	0,8471
71	29 %	0,8471	0,8535
70	30 %	0,8535	0,8597
69	31 %	0,8597	0,8659
68	32 %	0,8659	0,8721
67	33 %	0,8721	0,8782
66	34 %	0,8782	0,8843
65	35 %	0,8843	0,8903
64	36 %	0,8903	0,8963
63	37 %	0,8963	0,9023
62	38 %	0,9023	0,9083
61	39 %	0,9083	0,9142
60	40 %	0,9142	0,9201
59	41 %	0,9201	0,9261
58	42 %	0,9261	0,9320
57	43 %	0,9320	0,9379
56	44 %	0,9379	0,9438
55	45 %	0,9438	0,9497
54	46 %	0,9497	0,9557
53	47 %	0,9557	0,9616
52	48 %	0,9616	0,9676
51	49 %	0,9676	0,9735

Cote ENERGY STAR	Pourcentage cumulé	Rapport d'efficacité énergétique	
		> =	<
50	50 %	0,9735	0,9796
49	51 %	0,9796	0,9856
48	52 %	0,9856	0,9917
47	53 %	0,9917	0,9978
46	54 %	0,9978	1,0039
45	55 %	1,0039	1,0101
44	56 %	1,0101	1,0164
43	57 %	1,0164	1,0226
42	58 %	1,0226	1,0290
41	59 %	1,0290	1,0354
40	60 %	1,0354	1,0419
39	61 %	1,0419	1,0485
38	62 %	1,0485	1,0551
37	63 %	1,0551	1,0618
36	64 %	1,0618	1,0687
35	65 %	1,0687	1,0756
34	66 %	1,0756	1,0826
33	67 %	1,0826	1,0898
32	68 %	1,0898	1,0970
31	69 %	1,0970	1,1044
30	70 %	1,1044	1,1120
29	71 %	1,1120	1,1197
28	72 %	1,1197	1,1276
27	73 %	1,1276	1,1357
26	74 %	1,1357	1,1439
25	75 %	1,1439	1,1524
24	76 %	1,1524	1,1612
23	77 %	1,1612	1,1701
22	78 %	1,1701	1,1794
21	79 %	1,1794	1,1890
20	80 %	1,1890	1,1989
19	81 %	1,1989	1,2092
18	82 %	1,2092	1,2200
17	83 %	1,2200	1,2312
16	84 %	1,2312	1,2430
15	85 %	1,2430	1,2554
14	86 %	1,2554	1,2684
13	87 %	1,2684	1,2823
12	88 %	1,2823	1,2972
11	89 %	1,2972	1,3131
10	90 %	1,3131	1,3305
9	91 %	1,3305	1,3495
8	92 %	1,3495	1,3705
7	93 %	1,3705	1,3943
6	94 %	1,3943	1,4218
5	95 %	1,4218	1,4545
4	96 %	1,4545	1,4954
3	97 %	1,4954	1,5509
2	98 %	1,5509	1,6409
1	99 %	1,6409	>1,6409

## EXEMPLE DE CALCUL

Le calcul de la cote comporte cinq étapes. Celles-ci sont présentées dans le document de référence technique pour la cote ENERGY STAR qui est disponible au

[https://portfoliomanager.energystar.gov/pdf/reference/ENERGY%20STAR%20Score\\_fr\\_CA.pdf](https://portfoliomanager.energystar.gov/pdf/reference/ENERGY%20STAR%20Score_fr_CA.pdf). Voici un exemple concret qui permet de calculer la cote pour des écoles du préscolaire au secondaire :

### 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, fournis 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	700 000 kWh
Gaz naturel	85 000 m <sup>3</sup>

Renseignements sur l'utilisation de la propriété	Valeur
Superficie brute (m <sup>2</sup> )	8 250
Superficie brute du gymnase (m <sup>2</sup> )	1 250
Nombre d'employés sur le quart de travail principal <sup>3</sup>	70
Nombre de places assises pour les élèves	850
Pourcentage de la superficie chauffée	100
Pourcentage de la superficie refroidie	20
DJC (fourni par Portfolio Manager, selon le code postal)	4 600
DJR (fourni par Portfolio Manager, selon le code postal)	285
L'école est une école secondaire	Oui

### 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.
- Ensuite, il additionne les valeurs d'énergie à la source pour tous les types de combustibles.
- Puis, il divise l'énergie à la source par la superficie brute afin de déterminer l'IE à la source réelle.

#### Calcul de l'IE à la source réelle

Combustible	Unités de facturation	Multiplicateur – GJ du site	GJ du site	Multiplicateur à la source	GJ à la source
Électricité	700 000 kWh	0,0036	2 520	1,96	4 939
Gaz naturel	85 000 m <sup>3</sup>	0,03843	3 267	1,01	3 300
Énergie à la source totale (GJ)					8 239
<b>IE à la source réelle (GJ/m<sup>2</sup>)</b>					<b>0,999</b>

<sup>3</sup> Cela représente le nombre d'employés typique durant le quart de travail principal. Par exemple, s'il y a deux quarts de travail quotidiens de 8 heures et de 100 employés chacun, le nombre d'employés sur le quart de travail principal est 100.



### 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 le logarithme naturel ou 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 pour les écoles du préscolaire au secondaire pour obtenir l'IE à la source prévue.

#### Calcul de l'IE à la source prévue

Variable	Valeur réelle du bâtiment	Valeur de centrage de référence	Variable centrée du bâtiment	Coefficient	Coefficient x variable centrée
Constante	-	-	-	0,99610	0,99610
École secondaire (O/N)	1	S. O.	S. O.	0,22734	0,22734
C_Degrés-jours de chauffage x pourcentage de la superficie chauffée	4 600	4 579,683	20,317	0,00015782	0,003206429
C_Degrés-jours de refroidissement x pourcentage de la superficie refroidie	57	48,041	8,959	0,00053207	0,004766815
C_Ln(Superficie du bâtiment)	9,018	8,110	0,908	-0,36532	-0,33171056
C_Ln(Nombre d'employés)	4,248	3,174	1,074	0,1112	0,1194288
C_Nombre de places assises pour les élèves	850	418,835	431,165	0,00040116	0,172966151
C_Ln(Superficie du gymnase)	7,131	4,983	2,148	0,02874	0,06173352
<b>IE à la source prévue (GJ/m<sup>2</sup>)</b>					<b>1,254</b>

### 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 = 0,999 / 1,254 = 0,7967

### 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 0,7967 est inférieur à 0.8004, mais supérieur à 0,7932.
- **La cote ENERGY STAR est 79.**

