

Les piscines et la cote ENERGY STAR aux États-Unis et au Canada

APERÇU

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. Les piscines, par elles-mêmes, ne sont pas admissibles à la cote ENERGY STAR. Cependant, comme une piscine est une installation commune et très énergivore dans d'autres types de bâtiments commerciaux (p. ex., hôtels et écoles), la cote ENERGY STAR permet certains ajustements pour tenir compte de la présence d'une piscine. Le but de la cote ENERGY STAR est d'attribuer une cote de rendement énergétique à l'utilisation principale du bâtiment, et non à la piscine.

- **Approche technique.** Un modèle est créé pour permettre une estimation de la consommation d'énergie liée à la piscine. Cette consommation estimative est soustraite de l'énergie à la source réelle du bâtiment, donnant ainsi une estimation de la consommation énergétique du bâtiment sans sa piscine. On peut ainsi évaluer la consommation du bâtiment comme si celui-ci n'avait pas de piscine.
- **Types de propriétés.** Une piscine intérieure ou extérieure chauffée peut être entrée pour tous les types de propriété admissibles. Ces données seront alors intégrées au calcul de la cote ENERGY STAR. Il n'existe aucun ajustement ou calcul pour les piscines non chauffées, car celles-ci consomment beaucoup moins d'énergie que les piscines chauffées et influent beaucoup moins sur la consommation énergétique de la propriété au complet.
- **Ajustements.** Le modèle de la piscine repose sur des hypothèses d'ingénierie au sujet des besoins énergétiques d'une piscine, qui sont les suivants :
 - **Chauffage.** Prise en compte de l'énergie nécessaire pour maintenir une température constante tout en tenant compte de la perte de chaleur due aux phénomènes de convection, d'évaporation et de rayonnement.
 - **Pompage.** Prise en compte de l'énergie associée à la circulation de l'eau de la piscine.
- **Date de publication.** Le modèle est mis à jour régulièrement parallèlement à la mise à jour des normes industrielles en matière de conception et de fonctionnement et à l'accès à des données d'ingénierie améliorées :
 - Dernière mise à jour : février 2009
 - Publication initiale : janvier 2004

Le présent document contient des renseignements détaillés sur la façon dont la cote ENERGY STAR tient compte de la présence d'une piscine. 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.

Les piscines et la cote ENERGY STAR aux États-Unis et au Canada

Les prochaines sections du document fournissent des précisions sur l'élaboration du modèle relatif aux piscines.

APERÇU	1
CONTEXTE THÉORIQUE.....	3
PISCINES INTÉRIEURES.....	3
PISCINES EXTÉRIEURES.....	7
EXEMPLE DE CALCUL	8
ANNEXE.....	12
RÉFÉRENCES	15

CONTEXTE THÉORIQUE

Le modèle technique pour prédire la consommation énergétique d'une piscine s'appuie sur les lois fondamentales de physique appliquées aux piscines et leur interaction sur leur espace environnant. L'énergie totale que consomme une piscine chauffée correspond à la somme de la consommation énergétique pour chauffer l'eau de la piscine plus la consommation électrique de la pompe de la piscine. La perte de chaleur d'une piscine comprend les pertes par évaporation, par convection, par rayonnement à grande longueur d'onde par temps froid et par conduction des surfaces latérales vers le sol. Dans le cas des piscines extérieures, la perte de chaleur est compensée par les gains thermiques dus au rayonnement solaire. On peut évaluer la consommation électrique de la pompe de la piscine en fonction de la charge hydraulique, de la taille de la piscine, de son efficacité et de son temps de fonctionnement. La consommation d'énergie pour le chauffage représente une part beaucoup plus importante de la consommation totale que la dépense énergétique liée au travail de la pompe.

La consommation d'énergie de la piscine s'exprime au moyen de la formule ci-dessous. On trouvera dans l'annexe une présentation détaillée des calculs particuliers pour chaque terme.

$$\begin{aligned} \text{Énergie}_{\text{piscine}} = & \text{Énergie}_{\text{évaporation}} + \text{Énergie}_{\text{convection}} + \text{Énergie}_{\text{rayonnement}} \\ & - \text{Rayonnement solaire} + \text{Énergie}_{\text{pompe}} \end{aligned}$$

Le modèle utilise les hypothèses suivantes :

- **Chauffage de la piscine intérieure.** Pour les piscines intérieures, seules l'évaporation et la convection sont considérées comme des facteurs importants de la perte de chaleur.
- **Chauffage de la piscine extérieure.** Pour les piscines extérieures, l'évaporation, la convection et le rayonnement solaire sont considérés comme des facteurs importants de la perte de chaleur.
- **Pertes par conduction.** La perte de chaleur par conduction à travers les surfaces latérales et le fond de la piscine étant minime, elle n'est pas prise en compte.
- **Température.** Les piscines fonctionnent à une température fixe durant toute l'année.
- **Chauffage de l'eau d'appoint.** La charge de chauffage de l'eau d'appoint n'est pas prise en compte.
- **Convection.** Le modèle utilise un coefficient fixe de transfert de chaleur par convection.
- **Énergie à la source.** Les calculs partent de l'hypothèse que l'eau de la piscine est chauffée au moyen du gaz naturel et qu'un moteur électrique assure le pompage. Le mode de conversion de l'énergie du site à l'énergie à la source est différent selon le pays (É.-U. ou Canada).
- **Données de l'équation.** Le modèle utilise des valeurs fixes pour la plupart des variables afin de minimiser les entrées de données par l'utilisateur. Les valeurs reposent sur des jugements techniques et sur une analyse de sensibilité paramétrique.

PISCINES INTÉRIEURES

On trouvera à l'annexe un résumé des équations basées sur des données techniques normalisées, que l'on peut utiliser pour calculer chaque élément qui contribue à la consommation d'énergie (p. ex., la convection). Ces

équations standard nécessitent plusieurs données hypothétiques pour des facteurs tels que la température de l'eau de la piscine. La **figure 1** présente les paramètres d'entrées qu'utilise l'EPA dans les équations, ainsi qu'une explication des valeurs choisies. Certaines de ces valeurs sont des quantités connues, tandis que d'autres sont des estimations basées sur des pratiques de fonctionnement et des estimations techniques. Cependant, pour plusieurs variables telles que la température de l'eau et le taux d'humidité relative de la piscine, les valeurs peuvent différer en fonction de l'utilisation de la piscine. Une analyse de sensibilité a été effectuée pour évaluer différentes valeurs pour plusieurs variables, suivie d'un examen des répercussions de chaque variable sur la consommation énergétique totale de la piscine, ainsi que des cotes ENERGY STAR obtenues dans Portfolio Manager pour les bâtiments dotés de piscines intérieures. Une combinaison des valeurs a été ensuite choisie pour fournir un ajustement raisonnable à la cote ENERGY STAR.

À partir des valeurs indiquées à la **figure 1**, le système génère une forme simple de chaque équation indiquée dans l'annexe. La **figure 2** présente un résumé de ces équations simples et, dans la partie du bas, une équation combinée finale, qui inclut tous les éléments contribuant à la consommation d'énergie. Cette équation correspond à une équation générale pour calculer la consommation à la source annuelle d'une piscine intérieure, à partir des trois facteurs suivants : la superficie de la piscine, le facteur d'activité et le rapport énergétique source-site.

Dans Portfolio Manager, les utilisateurs ont le choix entre trois tailles de piscine standard (récréative, bassin de 25m, ou olympique). Portfolio Manager supposera une certaine superficie selon la taille sélectionnée. Le facteur d'activité est basé sur le type de propriété et ne requiert pas d'entrer une donnée séparée, car Portfolio Manager génère cette donnée en fonction du type d'utilisation qui occupe plus de 50 % de la superficie totale. Les valeurs relatives au facteur d'activité sont indiquées dans la **figure 1**. En tenant compte des trois tailles de piscines disponibles et des trois facteurs d'activité, la **figure 3** présente les ajustements exacts pertinents à la piscine.

Veuillez noter que les ajustements d'énergie relatifs à la piscine que présente la **figure 3** sont présentés en différentes unités pour les É.-U. et le Canada. La cote ENERGY STAR aux États-Unis est établie au moyen d'unités de kBtu d'énergie, alors que la cote ENERGY STAR au Canada est établie en gigajoules (GJ) d'énergie. Bien que les calculs dans Portfolio Manager s'effectuent avec différentes unités, les résultats finaux pour n'importe quelle propriété (aux États-Unis ou au Canada) s'afficheront au choix en kBtu ou en gigajoule (GJ).

Figure 1 – Résumé des paramètres d'entrée applicables aux piscines intérieures

Paramètre	Définition	Description	Valeur
V	Vitesse du vent, mph (milles par heure)	Pour le calcul de l'évaporation dans une piscine intérieure, on suppose que l'air est immobile.	0
T_w	Température de l'eau de la piscine, °F	ASHRAE (2007) recommande des valeurs différentes selon l'utilisation. On a choisi une température de 80 °F en fonction d'une analyse de la sensibilité.	80
T_a	Température du thermomètre sec de l'espace piscine, °F	Recommandation ASHRAE (2007) : 75 °F à 85 °F.	75

Paramètre	Définition	Description	Valeur
φ	Humidité relative de l'espace piscine, %	Recommandation ASHRAE (2007) : 50 % à 60 %. On a choisi une valeur légèrement supérieure puisqu'on utilise la partie inférieure du thermomètre sec, et fondé sur une analyse de sensibilité.	65 %
t_o	Heures d'ouverture de la piscine, heures/année	On suppose que les piscines sont ouvertes toute l'année.	8 760
η_h	Rendement du chauffe-eau, %	Efficacité de consommation du combustible et du chauffe-eau. Varie en fonction de la conception de l'appareil et du type de combustible. Valeur sélectionnée fondée sur l'expérience technique et une analyse de la sensibilité.	75 %
h_c	Coefficient de convection, Btu/h pi ² °F	Dépend de la vitesse de circulation de l'air dans la pièce, Duffie et Beckman (1993).	0,70
H_{Loss}	Perte de charge, pi-lbf/lbm	La perte de charge représente la perte directe due à la friction, aux coudes, aux fixations et au filtre. Elle est particulière au site. Valeur estimative fondée sur le jugement technique et une analyse de sensibilité.	36
η_p	Rendement de la pompe	Comprend l'efficacité hydraulique de la pompe, le rendement de couplage pompe et moteur et le rendement du moteur électrique. Valeur fondée sur l'expérience technique et une analyse de sensibilité.	70 %
ρ	Densité de l'eau, lbf/pi ³	Densité de l'eau.	64,02
L_D	Profondeur moyenne de la piscine, en pieds	Valeur estimative fondée sur l'expérience.	6
τ	Temps requis pour purger une piscine, heures/jour	Estimation technique, valeur utilisée pour mesurer la capacité de la pompe.	8
t_P	Temps de fonctionnement de la pompe, heures/année	Temps supposé de 6 heures/jour, fondé sur l'expérience technique et une analyse de sensibilité.	2 190
AF	Facteur d'activité	Corrige la perte par évaporation selon l'utilisation de la piscine (ASHRAE, 2007).	École et Patinoire/piste de curling = 1,036 Hôtel = 0,800 Autres = 0,650
S_{gas}	Rapport source-site pour le gaz naturel	Ces facteurs sont utilisés pour convertir de l'énergie du site à l'énergie à la source. Le facteur de conversion varie selon le pays (É.-U.	É.-U. – 1,05 Canada – 1,01

Paramètre	Définition	Description	Valeur
S_{elec}	Rapport source-site pour l'électricité	ou Canada). Pour obtenir plus de renseignements sur ces conversions, consultez https://portfoliomanager.energystar.gov/pdf/reference/Source%20Energy_fr_CA.pdf	É.-U. – 3,14 Canada – 1,96

Figure 2 – Calcul de l'ajustement énergétique pour les piscines intérieures

Contribution énergétique	Équation complète	Équation simple
Évaporation	$\text{Énergie}_{\text{évaporation}} = (68,3 + 32 \times 0)(1,044 - 0,582) \times AF \times 8760 \times A_P \times \frac{1}{0,75} \times \frac{1}{1000} \times S_{\text{gaz}}$	$368,56 \times AF \times A_P \times S_{\text{gaz}}$
Convection	$\text{Énergie}_{\text{convection}} = (0,7)(80 - 75) \times 8760 \times A_P \times \frac{1}{0,75} \times \frac{1}{1000} \times S_{\text{gaz}}$	$40,88 \times A_P \times S_{\text{gaz}}$
Rayonnement	On suppose que cette valeur est zéro pour une piscine intérieure	0
Pompe	$\text{Énergie}_{\text{pompe}} = \frac{1}{778,26} \times 36 \times \frac{1}{0,7} \times \frac{64,02 \times A_P \times 6}{8} \times 2190 \times \frac{1}{1000} \times S_{\text{elec}}$	$6,95 \times A_P \times S_{\text{elec}}$
Consommation d'énergie totale de la piscine intérieure	$368,56 \times (AF \times A_P \times S_{\text{gaz}}) + 40,88 \times (A_P \times S_{\text{gaz}}) + 6,95 \times (A_P \times S_{\text{elec}})$	

Figure 3 – Ajustements de la consommation énergétique des piscines intérieures

Pays	Type de propriété	Récréative (20 vg x 15 vg) $A_P = 2\,700 \text{ pi}^2$	Petit bassin (25 vg x 20 vg) $A_P = 4\,500 \text{ pi}^2$	Olympique (50 m x 25 m) $A_P = 13\,456 \text{ pi}^2$
États-Unis	École	1 257 300 kBtu/an	2 095 500 kBtu/an	6 266 009 kBtu/an
	Hôtel	1 010 711 kBtu/an	1 684 518 kBtu/an	5 037 084 kBtu/an
	Tous les autres types de propriété	853 981 kBtu/an	1 423 301 kBtu/an	4 255 987 kBtu/an

Pays	Type de propriété	Récréative (20 vg x 15 vg) $A_P = 2\,700\text{ pi}^2$	Petit bassin (25 vg x 20 vg) $A_P = 4\,500\text{ pi}^2$	Olympique (50 m x 25 m) $A_P = 13\,456\text{ pi}^2$
Canada	École et Patinoire/piste de curling	1 255 GJ/an (1 118 495 kBtu/an)	2 092 GJ/an (1 982 492 kBtu/an)	6 254 GJ/an (5 928 092 kBtu/an)
	Hôtel	1 005 GJ/an (962 982 kBtu/an)	1 675 GJ/an (1 587 170 kBtu/an)	5 007 GJ/an (4 745 990 kBtu/an)
	Tous les autres types de propriété	846 GJ/an (801 543 kBtu/an)	1 409 GJ/an (1 335 906 kBtu/an)	4 215 GJ/an (3 994 654 kBtu/an)

PISCINES EXTÉRIEURES

Le calcul de la consommation énergétique des piscines extérieures est plus difficile à effectuer que pour les piscines intérieures en raison de la plus grande variabilité des paramètres d'entrée servant à établir les équations de l'annexe. Voici, en particulier, les paramètres susceptibles de présenter des variations notables :

- **V.** Vitesse du vent
- **T_w.** Température de l'eau de la piscine
- **T_a.** Température de l'air ambiant
- **Φ.** Humidité relative de l'air ambiant
- **Rayonnement solaire.** Dépend des suppositions concernant le niveau d'ensoleillement de la surface
- **t_o.** Le temps durant lequel une piscine est utilisée pendant l'année

Pour comprendre la gamme de la consommation énergétique des piscines extérieures, on a effectué une analyse de sensibilité paramétrique afin de calculer les estimations de consommation à partir de plusieurs valeurs appliquées à chacun des paramètres d'entrée susmentionnés. Dans le cas des variables qui varient en fonction du climat, l'examen a porté sur six villes différentes : Boston, Chicago, Denver, Miami, Phoenix et Portland (en Oregon). Dans les deux villes les plus chaudes (Miami et Phoenix), on a supposé que les piscines extérieures étaient ouvertes d'avril à octobre; pour l'analyse des quatre autres villes, on a supposé que ces installations étaient ouvertes de juin à août.

On a observé qu'il existait un large éventail des données estimatives de la consommation énergétique. En raison de cette forte variabilité, des questions supplémentaires dans Portfolio Manager auraient été nécessaires pour obtenir une évaluation plus exacte de la consommation énergétique des piscines. Mais, étant donné que Portfolio Manager a pour but d'évaluer le rendement énergétique du bâtiment et non celui de la piscine connexe, cette approche a été jugée trop complexe pour l'application. On recommande plutôt d'installer des compteurs divisionnaires (des sous-compteurs) pour faire le suivi de la consommation dans les piscines extérieures. L'énergie consommée par la piscine devra ensuite être soustraite du compteur principal et exclue de Portfolio Manager, pour permettre une évaluation du bâtiment seulement.

Dans certains cas, il pourrait être impossible d'utiliser des sous-compteurs pour exclure la consommation des piscines extérieures. Portfolio Manager permettra quand même une analyse comparative du bâtiment et appliquera une estimation conservatrice pour les données de consommation de la piscine. L'estimation est basée sur

l'ajustement minimal défini à l'aide de l'analyse de sensibilité paramétrique, avec un calcul de la moyenne pour les lieux compris dans l'analyse précisée à la **figure 4**. Étant donné qu'il s'agit d'une estimation conservatrice, la méthode la plus précise est d'effectuer un sous-comptage de l'énergie consommée par la piscine et d'en soustraire le résultat de la consommation totale pour n'entrer dans Portfolio Manager que la consommation énergétique du bâtiment principal.

Figure 4 – Ajustements de la consommation énergétique des piscines extérieures

Pays	Récréative (20 vg x 15 vg) $A_P = 2\,700\text{ pi}^2$	Bassin de 25m (25 vg x 20 vg) $A_P = 4\,500\text{ pi}^2$	Olympique (50 m x 25 m) $A_P = 13\,456\text{ pi}^2$
États-Unis (tous les types de propriété)	119 914 kBtu/an	199 857 kBtu/an	597 621 kBtu/an
Canada (tous les types de propriété)	117 GJ/an (111 049 kBtu/an)	195 GJ/an (185 080 kBtu/an)	584 GJ/an (553 435 kBtu/an)

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. Voici un exemple pour une école aux États-Unis dotée d'une piscine.

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	800 000 kWh
Gaz naturel	30 000 thermes

Renseignements sur l'utilisation de l'école	Valeur
Superficie brute (pi ²)	100 000
École secondaire	Oui (1)
Ouverte les fins de semaine	Oui (1)
Présence d'une cuisine	Non (0)
Nombre d'ordinateurs personnels	200
Nombre de réfrigérateurs-chambres	0
Pourcentage du bâtiment qui est chauffé	100
Pourcentage du bâtiment qui est refroidi	100
DJC (fourni par Portfolio Manager, selon le code postal)	4 937
DJR (fourni par Portfolio Manager, selon le code postal)	1 046

Renseignements sur l'utilisation de la piscine	Valeur
Taille de la piscine	Bassin de 25m
Emplacement de la piscine	Intérieure
Type de propriété (défini par Portfolio Manager selon le type d'utilisation entré)	École du préscolaire au secondaire

2 Portfolio Manager calcule l'IE à la source réelle

- L'énergie à la source facturée est calculée
 - 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 pour tous les types de combustible sont additionnées.

Combustible	Unités de facturation	Multiplicateur kBtu du site	kBtu du site	Multiplicateur kBtu à la source	kBtu à la source
Électricité	800 000 kWh	3,412	2 729 600	3,14	8 570 944
Gaz naturel	30 000 thermes	100	3 000 000	1,05	3 150 000

Énergie à la source totale 11 720 944 kBtu

- La consommation énergétique de la piscine prévue est définie.
 - En fonction des données des figures 3 et 4.
 - La consommation énergétique d'une piscine intérieure de type petit bassin dans une école du préscolaire au niveau secondaire aux États-Unis est de : 2 095 500 kBtu.
- L'énergie à la source réelle qu'on utilise pour établir la cote ENERGY STAR est égale à l'énergie à la source facturée moins la consommation énergétique de la piscine prévue
 - L'énergie prévue pour la piscine est soustraite afin d'obtenir une cote applicable à l'école seulement.
 - $11\,720\,944 - 2\,095\,500 = 9\,625\,444$ kBtu à la source

- L'IE à la source réelle est égale à l'énergie à la source divisée par la superficie totale du bâtiment
 - 9 625 444 kBtu / 100 000 pi²
 - L'IE à la source réelle = 96,25 kBtu/pi²

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 (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 obtenir l'IE à la source prévue.
- Consulter la page www.energystar.gov/ScoreDetails (disponible en anglais seulement) pour connaître l'équation utilisée pour prévoir la consommation énergétique dans les écoles du préscolaire au niveau secondaire.

Calcul de l'IE à la source prévue

Variable	Valeur réelle du bâtiment	Valeur de centrage de référence	Variable centrée du bâtiment	Coefficient	Coefficient * variable centrée
Constante	--	--	1	131,9	131,9
École secondaire (oui = 1; non=0)	1	NA	1	4,377	4,377
Ln (DJC) x pourcentage chauffé	8,505	7,716	0,789	8,974	7,080
Ln (DJR) x pourcentage refroidi	6,953	5,045	1,908	6,389	12,19
Ln (pied carré)	11,51	10,2	1,31	-19,26	-25,23
Ouverte les fins de semaine (oui =1; non =0)	1	NA	1	18,43	18,43
Nombre de réfrigérateurs-chambres par 1 000 pi ²	0	0,0109	-0,0109	574,7	-6,264
Présence d'une cuisine (oui = 1; non=0)	0	NA	0	24,2	0
Nombre d'ordinateurs par 1 000 pi ²	2	1,742	0,258	9,568	2,469
Superficie en pied carré	100 000	47 310	52 690	0	0
DJR x pourcentage refroidi	1 046	1 316	-270	0	0
École secondaire x pied carré	52 690	NA	52 690	0,00021	11,065
École secondaire x DJR x pourcentage refroidi	-270	NA	-270	0,0285	-7,695
École secondaire x Ln (DJR) x pourcentage refroidi	1,908	NA	1,908	-11,75	-22,42

IE à la source prévue (kBtu/pi²) 125,9

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 = $96,25 / 125,9 = 0,7645$

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 relatif aux écoles du préscolaire au niveau secondaire.
- Un rapport de 0,7645 est supérieur à 0,7581 et inférieur à 0,7661
- **La cote ENERGY STAR est 69.**

ANNEXE

Les figures A-1 à A-4 résument les équations utilisées pour estimer la consommation énergétiques des piscines.

Figure A – 1 : Contribution à la consommation énergétique de la perte par évaporation

Contribution à la consommation de la piscine	Équation	Paramètres d'entrée
Taux de perte par évaporation (énergie du site/pi ² /hr)	$\dot{q}_{\text{evap}} = (68,3 + 32V)(P_{pw} - P_{dp}) \times AF$	\dot{q}_{evap} = perte thermique par évaporation, Btu/pi ² h V = vitesse de l'air ambiant, mph P_{pw} = pression de saturation à la température de l'eau de la piscine, po Hg ^a P_{dp} = pression de saturation à la température de point de rosée de l'air, po Hg AF = facteur d'activité (varie selon le type d'installation)
Perte totale annuelle par évaporation (énergie à la source/année)	$\text{Énergie}_{\text{évaporation}} = \dot{q}_{\text{evap}} = t_o \times A_p \times \frac{1}{\eta_h} \times \frac{\text{kBtu}}{1\,000 \text{ kBtu}} \times S_{\text{gaz}}$	t_o = heures où la piscine est ouverte, heures/année A_p = superficie de la piscine, pi ² η_h = efficacité du chauffe-eau S_{gaz} = rapport source-site (gaz)

^a La pression de saturation sur un liquide pour une gamme de température de 32 à 392 °F (ASHRAE, 2005) se calcule comme suit :

$$\ln(P_{ws}) = -1\,044,039/T - 11,29465 - 0,02702355T + 1,289036 \times 10^{-5}T^2 - 2,478068 \times 10^{-9}T^3 + 6,5459673 \ln(T)$$

où : P_{ws} représente la pression de saturation à la température T ; et T est la température absolue (°R = °F+459,67)

Ce calcul peut s'appliquer plus précisément au point de rosée (T_{dp}), comme suit (ASHRAE, 2005) :

$$T_{do} = 100,45 + 33,193 \ln(P_w) + 2,319 (\ln(P_w))^2 + 0,1707 (\ln(P_w))^3 + 1,2063 P_w^{0,1984}$$

où : P_w représente la pression partielle de la vapeur d'eau en psia; et T est la température absolue.

La pression partielle de la vapeur dans un air non saturé à une température du thermomètre sec et taux d'humidité relative donnés se calcule comme suit : $P_w = \phi \times P_a$

où ϕ =humidité relative de l'air, en %; et P_a = pression de saturation de la vapeur à une température du thermomètre sec de l'air.

Figure A – 2 : Contribution à la consommation énergétique de la perte par convection

Contribution à la consommation de la piscine	Équation	Paramètres d'entrée
Taux de perte par convection (énergie du site/π ² /hr)	$\dot{q}_{\text{conv}}'' = h_c(T_w - T_a)$	\dot{q}_{conv}'' = perte thermique par convection, Btu/π ² ·h h_c = coefficient de convection, Btu/π ² ·h · °F ^b T_w = température de l'eau de la piscine, °F T_a = température de l'air, °F
Perte totale annuelle par convection (énergie à la source/année)	$\text{Énergie}_{\text{convection}} = \dot{q}_{\text{conv}}'' \times t_o \times A_p \times \frac{1}{\eta_h} \times \frac{\text{kBtu}}{1\,000 \text{ Btu}} \times S_{\text{gaz}}$	t_o = heures où la piscine est ouverte, heures/année A_p = superficie de la piscine, π ² η_h = efficacité du chauffe-eau S_{gaz} = rapport source-site pour le gaz

Figure A – 3 : Contribution à la consommation énergétique de la perte par rayonnement

Contribution à la consommation de la piscine	Équation	Paramètres d'entrée
Taux de perte par rayonnement (énergie du site/π ² /hr)	$q_{\text{rad}}'' = h_{\text{rad}}(T_w - T_s)$	q_{rad}'' = perte thermique par radiation, Btu/π ² ·h T_w = température de l'eau de la piscine, °F T_s = température de l'air, °F h_{rad} = coefficient de perte par radiation, Btu/ft ² ·h · °F ^c
Perte totale annuelle par rayonnement (énergie à la source/année)	$\text{Énergie}_{\text{rayonnement}} = q_{\text{rad}}'' \times t_o \times A_p \times \frac{1}{\eta_h} \times \frac{\text{kBtu}}{1\,000 \text{ Btu}} \times S_{\text{gaz}}$	t_o = heures où la piscine est ouverte, heures/année A_p = superficie de la piscine, π ² η_h = efficacité du chauffe-eau S_{gaz} = rapport source-site pour le gaz

^b L'estimation des coefficients de convection sur les surfaces plates se calcule à l'aide de la corrélation suivante : $hc=0,5 + 0,235V$
 où : V est la vitesse du vent dans l'air ambiant, en mph (milles par heure).

^c La valeur linéarisée de la perte est établie en supposant que la différence de température entre la surface de la piscine et le ciel est minime et qu'elle peut être représentée par une valeur moyenne. On peut calculer un coefficient de rayonnement conservateur à partir de la température à la surface de la piscine en utilisant la formule suivante :

$$h_{\text{rad}} = 4\sigma T_w^3$$

où σ est la constante Stefan Boltzman et T_w correspond à la température à la surface de la piscine (on attribue à h_{rad} la valeur 1,0 Btu/f)

Figure A – 4 : Contribution à la consommation énergétique du pompage de l'eau

Contribution à la consommation de la piscine	Équation	Paramètres d'entrée
Énergie de pompage à l'heure (énergie du site/hr)	$P_P = \frac{1}{C} \frac{H_{Loss} \times \dot{m}}{\eta_P}$	P_P = taux de consommation, Btu/h C = 778,28, facteur de conversion de pi-lb _f /lb _m à Btu/h H_{Loss} = perte de charge, pi-lb _f /lb _m \dot{m} = taux de circulation de l'eau de la piscine, lb _m /h ^d η_P = efficacité globale de la pompe
Énergie de pompage par année (énergie à la source/année)	$\text{Énergie}_{\text{pompe}} = P_P \times t_P \times \frac{\text{kBtu}}{1\,000\text{Btu}} \times S_{elec}$	t_P = temps de fonctionnement de la pompe, heures/année S_{elec} = rapport source-site pour l'électricité

^d Le taux de circulation de l'eau de la piscine est d'environ comme suit :

$$\dot{m} = \frac{\rho \times A_P \times L_D}{\tau}$$

où ρ = densité de l'eau de la piscine, exprimée en lbm/pi³; A_P = superficie de la piscine, en pi²; L_D = profondeur de la piscine, en pi;
 et τ = temps de circulation de l'eau, en heures

RÉFÉRENCES

Jones, R., Smith, Charles, et Lof, George. 1994. Measurement and Analysis of Evaporation from an Inactive Outdoor Swimming Pool. Solar Energy: 53(1): 3-10.

ASHRAE 2005 ASHRAE Handbook of Fundamentals. American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Inc. 1791 Tullie Circle, NE.E., Atlanta GA 30329.

ASHRAE 2007 ASHRAE Handbook- HVAC Applications. American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Inc. 1791 Tullie Circle, NE.E., Atlanta GA 30329. Page 4.6.

Duffie, J. A et Beckman, W. A. « Solar Engineering of Thermal Processes ». 2^e édition. John Wiley & Sons, Inc. New York. 1993. Page: 158.