



ENERGY
advisors

Rentabilité d'un investissement – Applications pratiques

Xavier Mathieu



Le 23 Mai 2019

Plan d'exposé

1 Calcul du TRS

Estimation de la valeur U d'une paroi

Estimation du rendement d'une installation de chauffage

2 Exercices pratiques

Calcul du TRS d'une isolation de paroi

Calcul du TRS d'un changement de chaudière

Calcul de la VAN d'un investissement



01

Calcul du TRS



1 Calcul de TRS

1.1 Rappel de la définition :

Temps de retour simple (TRS) = Investissement net / Gain annuel réalisé

Avec :

- ° Investissement net (I net) [€] = Investissement brut – primes, subsides, etc.
- ° Gain annuel (Ga) [€/an] réalisé supposé constant (hypothèse Simplificatrice → S)

Ex : I net = 4 000 € ; Ga = 800 €/an → TRS = ?

→ TRS [années] = nombre d'années qu'il faut pour récupérer l'investissement grâce aux économies annuelles

TRS = Indicateur économique : outil pour comparer divers projets d'investissement
= aide à la décision ≠ décision (vous !)



1 Calcul de TRS

1.2 Cas pratique :

Calcul du TRS d'une isolation de paroi → Ex. isolation d'une toiture

$$\text{TRS} = I_{\text{net}} / G_a = ?$$

A) $I_{\text{net}} [\text{€}] = ?$

I brut pour le matériel et la pose = 3 000 € ; Primes = 1 000 € → $I_{\text{net}} = ?$

B) $G_a [\text{€/an}] = \text{économies annuelles réalisées} = ?$

Volume de combustible économisé [L ou m³/an] = 1000 Litres de mazout ;

Prix combustible [€ par L ou m³] = 0,5 €/litre → $G_a = ?$

→ $\text{TRS} = ?$



1 Calcul de TRS

1.2 Cas pratique (suite) :

Mais, a priori, on ne connaît pas le volume de combustible que l'on va économiser !

C) Vol combustible économisé [L ou m³/an] = ?

= Volume combustible consommé avant isolation – Vol comb conso après isolation

!!! seulement pour compenser les pertes à travers la toiture !!!

D) Volume combustible consommé [L ou m³/an] = ?

=
$$\frac{U \text{ [W/(m}^2\text{x}^\circ\text{C)]} \times \text{Surface d'échange [m}^2\text{]} \times (\text{Temp}^\circ \text{ intérieur} - \text{Temp}^\circ \text{ extérieur) [}^\circ\text{C]} \times \text{Tps [h]}}{\eta \text{ système de chauffage} \times 10\,000 \text{ [Wh par L ou m}^3\text{]}}$$

Avec : η = rendement du système de chauffage

$U \text{ [W/(m}^2\text{x}^\circ\text{C)]}$ = coefficient transfert de chaleur

1 L de mazout = 10 kWh = 10 000 Wh (énergie) = 1 m³ de gaz naturel



1 Calcul de TRS

1.2 Cas pratique (suite) : Ex. isolation de toiture (école)

Données :

U avant isolation = 2 [W/(m²*°C)] ; U après isolation = 0,5 [W/(m²*°C)]

Surface d'échange de la toiture = 200 m² ;

Température extérieure = 8°C (température moyenne extérieur durant la saison de chauffe) ;

Température intérieure = 18°C (température moy int durant la saison de chauffe – apports) ;

Durée de la saison de chauffe (5800 h : du 15 septembre au 15 mai)

Rendement système de chauffage = 90% (chauffage au mazout)

Résolution :

Vol combustible économisé [L/an] = ?

= Volume combustible consommé avant isolation – Vol comb conso après isolation

Volume combustible consommé [L/an] = ?

= $\frac{U \text{ [W/(m}^2\text{x}^\circ\text{C)]} \times \text{Surface d'échange [m}^2\text{]} \times (\text{Temp}^\circ \text{ intérieur} - \text{Temp}^\circ \text{ extérieur) [}^\circ\text{C]} \times \text{Tps [h]}}{\eta \text{ système de chauffage} \times 10\,000 \text{ [Wh par L ou m}^3\text{]}}$



1 Calcul de TRS

1.2 Cas pratique (suite) : Ex. isolation de toiture

Solution :

Volume combustible consommé avant isolation [L/an] =

$$= \frac{U \text{ [W/(m}^2\text{x}^\circ\text{C)]} \times \text{Surface d'échange [m}^2\text{]} \times (\text{Temp}^\circ \text{ intérieur} - \text{Temp}^\circ \text{ extérieur) [}^\circ\text{C]} \times \text{Tps [h]}}{\eta \text{ système de chauffage} \times 10\,000 \text{ [Wh par L ou m}^3\text{]}}$$

$$= \frac{2 \times 200 \times (18-8) \times 5800}{0,9 \times 10\,000} = 2\,578 \text{ L mazout}$$

Volume combustible consommé après isolation [L/an] =

$$= \frac{U \text{ [W/(m}^2\text{x}^\circ\text{C)]} \times \text{Surface d'échange [m}^2\text{]} \times (\text{Temp}^\circ \text{ intérieur} - \text{Temp}^\circ \text{ extérieur) [}^\circ\text{C]} \times \text{Tps [h]}}{\eta \text{ système de chauffage} \times 10\,000 \text{ [Wh par L ou m}^3\text{]}}$$

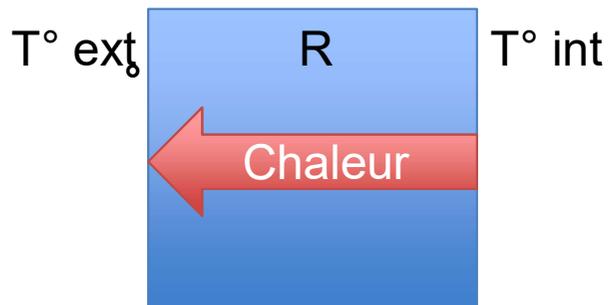
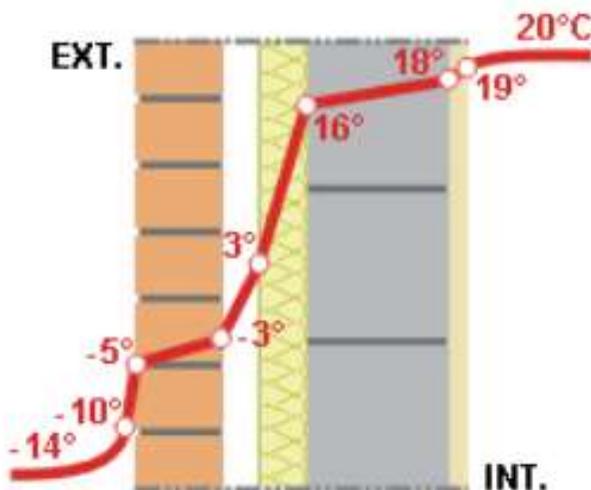
$$= \frac{0,5 \times 200 \times (18-8) \times 5800}{0,9 \times 10\,000} = 644 \text{ L mazout}$$

→ Volume économisé = 2 578 – 644 = 1 934 L de mazout par an



1 Calcul de TRS

1.3 Estimation de la valeur U [W/(m²*K)] d'une paroi



° R [m²*°C/W] = résistance thermique de la paroi

° R matériau [m²*°C/W] = $\frac{\text{épaisseur [m]}}{\lambda \left[\frac{W}{m \cdot ^\circ C}\right]}$

° λ [W/(m*°C)] = conductivité thermique

° !! λ [W/(m*°C)] ≠ U [W/(m²*°C)]

° R paroi = Σ résistances des composants de la paroi
= R brique + R air + R isolant + R béton + R plâtre



1 Calcul de TRS

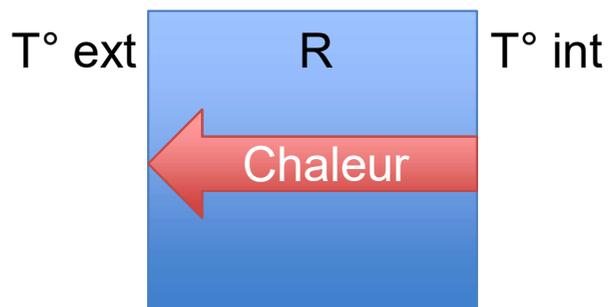
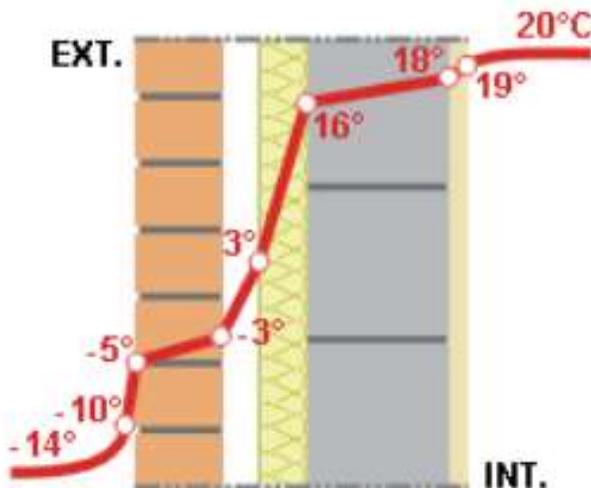
1.3 Estimation de la valeur U [W/(m²*K)] d'une paroi

| Matériaux | Conductivité thermique λ (W/m.K) | Matériaux | Conductivité thermique λ (W/m.K) |
|---------------------------------------|--|-------------------------------|--|
| Roche volcaniques (basalt) | 1.600 | Feuillus mi-lourd | 0.230 |
| Calcaire (pierre dure) | 1.700 | Résineux mi-lourd | 0.150 |
| Calcaire (pierre tendre) | 1.100 | Panneaux contreplaqués | 0.110 |
| Béton plein | 1.700 | Panneaux OSB | 0.130 |
| Béton armé standard | 2.300 | Panneaux laine de bois | 0.100 |
| Parpaing de ciment | 0.900 | Botte de paille | 0.040 |
| Brique de structure | 0.420 | Enduit chaux-chaivre | 0.180 |
| Brique auto isolante | 0.120 | Béton de chanvre | 0.110 |
| Plaque de plâtre | 0.250 | Chênevotte brute en sac | 0.047 |
| Mortier lourd (ciment) | 1.300 | Laine de chanvre, lin, coco | 0.060 |
| Mortier mi-lourd (chaux) | 1.000 | Liège comprimé | 0.100 |
| Terre-paille (1000kg/m ³) | 0.400 | Laine de cellulose | 0.043 |
| Pisé, bauge, béton de terre | 1.100 | Laine de mouton, plumes | 0.060 |
| Argiles ou limons | 1.500 | Laine de verre | 0.040 |
| | | Laine de roche | 0.044 |
| Acier | 50 | Polystyrène expansé | 0.042 |
| Cuivre | 380 | Mousse de polyuréthane | 0.032 |



1 Calcul de TRS

1.3 Estimation de la valeur U [$W/(m^2 \cdot K)$] d'une paroi



° R [$m^2 \cdot ^\circ C/W$] = résistance thermique de la paroi
(cf électricité R élec)

° U [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$] = $1 / R$ [$m^2 \cdot ^\circ C/W$]

° Plus R est grand, plus U petit et Chaleur perdue petite

° U [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$] = coefficient de transmission thermique



1 Calcul de TRS

1.3 Estimation de la valeur U [W/(m²*K)] d'une paroi

Exemple

| | Epaisseur [m] | λ [W/[m*°C] | R [m ² *°C/W] | U [W/(m ² *°C)] |
|-----------------------|---------------|---------------------|--------------------------|----------------------------|
| Brique (structure) | 0,09 | | | |
| Air | 0,03 | | | |
| Laine de verre | 0,12 | | | |
| Ciment (parpaing) | 0,20 | | | |
| Plâtre | 0,01 | | | |
| | | | | |



1 Calcul de TRS

Rentabilité d'un investissement
– Applications pratiques

1.3 Estimation de la valeur U [W/(m²*K)] d'une paroi

Résolution

| | Epaisseur [m] | λ [W/(m*°C)] | R [m ² *°C/W] | U [W/(m ² *°C)] |
|----------------------------|---------------|----------------------|--------------------------|----------------------------|
| Brique | 0,09 | 0,420 | 0,21 | |
| Air | 0,03 | - | 0,17 | |
| Laine de verre | 0,12 | 0,040 | 3,00 | |
| Ciment | 0,20 | 0,900 | 0,22 | |
| Plâtre | 0,01 | 0,250 | 0,04 | |
| Σ | 0,45 | - | 3,64 | 0,27 |

Sans isolant : R = 0,64 [m²*°C/W] → U = 1,56 [W/(m²*°C)] → ±6 fois plus de pertes !!



1 Calcul de TRS

1.2 Cas pratique (suite) :

C) Vol combustible économisé [L ou m³/an] = ?

= Volume combustible consommé avant isolation – Vol comb conso après isolation

D) Volume combustible consommé avant/après isolation [L ou m³/an] = ?

= $\frac{U \text{ [W/(m}^2\text{x}^\circ\text{C)]} \times \text{Surface d'échange [m}^2\text{]} \times (\text{Temp}^\circ \text{ intérieur} - \text{Temp}^\circ \text{ extérieur) [}^\circ\text{C]} \times \text{Tps [h]}}{\eta \text{ système de chauffage} \times 10\,000 \text{ [Wh par L ou m}^3\text{]}}$

Avec : η = rendement du système de chauffage

$U \text{ [W/(m}^2\text{x}^\circ\text{C)]}$ = coefficient transfert de chaleur

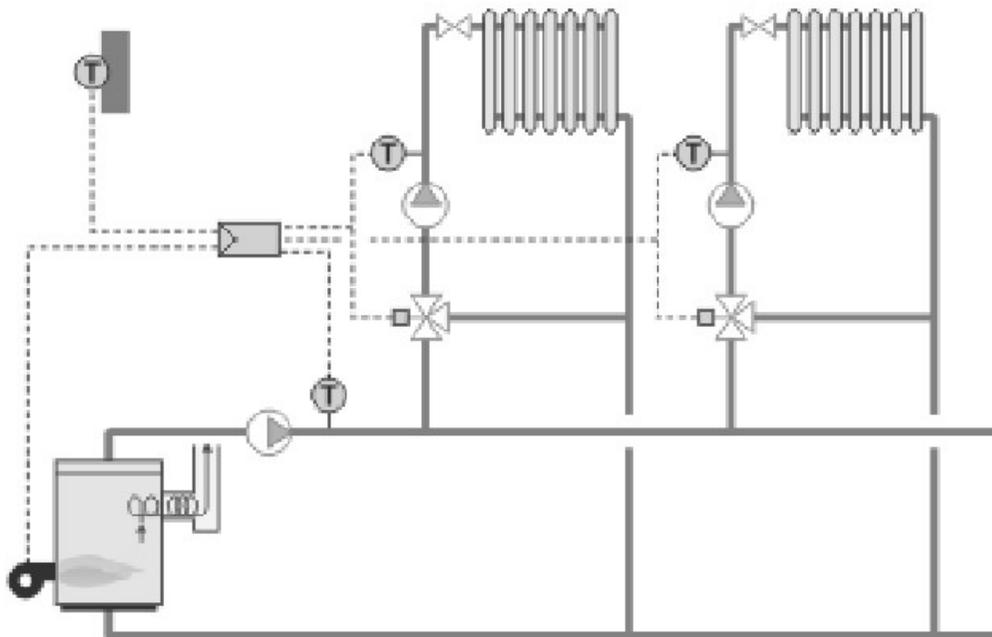
1 L de mazout = 10 kWh = 10 000 Wh (énergie) = 1 m³ de gaz naturel



1 Calcul de TRS

1.4 Estimation du rendement d'un système de chauffage :

Rendement = η global = η prod x η distribution x η émission x η régulation



$$= \frac{\text{Besoin réel [kWh]}}{\text{Conso réelle [kWh]}}$$

$$= 100\% - \Sigma \% \text{ de pertes}$$

https://www.energieplus-ffage/08_calculs/01_programmes_calc

Pertes de ...

Production

Distribution

Emission

Régulation



1 Calcul de TRS

1.4 Estimation du rendement d'un système de chauffage :

Ex.

Région BXL, 50 000 m³/gaz an, chauffe de 8 à 22 h, 7 jours sur 7

Consigne à 20°C en jour et 16°C en inoccupation, bâtiment servant à l'habitat

Saison de chauffe = du 15/9 au 15/5

1 Chaudière à condensation gaz (gaz pulsé, température glissante sans limite basse et bruleur modulant) installée en 2010 et bien isolée, puissance = 90 kW, rendements = 104%

Clapet d'admission d'air fermé, condensation à moins de 45°C



1 Calcul de TRS

Rentabilité d'un investissement – Applications pratiques

1.4 Estimation du rendement d'un système de chauffage (suite) :

$$\text{Rendement} = \eta_{\text{global}} = \eta_{\text{prod}} \times \eta_{\text{distribution}} \times \eta_{\text{émission}} \times \eta_{\text{régulation}}$$

Ordre de grandeur

| Type d'installation | Rendements en % ($\eta_{\text{global}} = \eta_{\text{production}} \times \eta_{\text{distribution}} \times \eta_{\text{émission}} \times \eta_{\text{régulation}}$) | | | | |
|---|--|------------------------------|--------------------------|----------------------------|------------------------|
| | $\eta_{\text{production}}$ | $\eta_{\text{distribution}}$ | $\eta_{\text{émission}}$ | $\eta_{\text{régulation}}$ | η_{global} |
| Très ancienne chaudière surdimensionnée ou très peu performante, longue boucle de distribution (années 60-70) | 75 .. 80 % | 80 .. 85 % | 90 .. 95 % | 85 .. 90 % | 46 .. 58 % |
| Ancienne chaudière bien dimensionnée, courte boucle de distribution | 80 .. 85 % | 90 .. 95 % | 95 % | 90 % | 62 .. 69 % |
| Chaudière haut rendement, courte boucle de distribution, radiateurs isolés au dos, régulation par sonde extérieure, vannes thermostatiques, ... (années 90 et début 2000) | 90 .. 93 % | 95 % | 95 .. 98 % | 95 % | 77 .. 82 % |
| Chaudière mazout à condensation actuelle, bien dimensionnée et qui condense | 97 .. 98 % | 95 % | 95 .. 98 % | 95 % | 83 .. 87 % |
| Chaudière gaz à condensation actuelle, bien dimensionnée et qui condense | 101 .. 103 % | 95 % | 95 .. 98 % | 95 % | 87 .. 91 % |

<https://www.energieplus-lesite.be/>



02

Exercices pratiques



2 Exercices pratiques

2.1 Calcul du TRS d'une isolation de paroi

Calculez le Temps de retour simple des travaux d'isolation d'un mur

Votre entrepreneur vous remet un devis de 3 000 € pour isoler votre mur de 100 m².
Il prévoit de la laine de verre ($\lambda = 0,040$ [W/(m*°C)] sur une épaisseur de 6 cm.
La valeur U du mur avant isolation est de 1,8 [W/(m²*°C)].

Votre consommation annuelle en chauffage est de 3000 m³ de gaz naturel [10 kWh / m³].
Le prix du gaz est de 0,5 € par m³.

Le rendement global de votre système de chauffage est de 65 %.

La durée de la saison de chauffe est de 5800 heures. La température extérieure moyenne est de 8°C durant cette période. La température intérieure est de 20°C (apports compris).

La région Bruxelloise vous accorde une prime de 8 €/m² pour l'isolation de votre mur.



2 Exercices pratiques

2.1 Calcul du TRS d'une isolation de paroi (resolution)

Calcul du nouveau U après isolation

U avant isolation = 1,8 [W/(m²*°C)] → R avant isolation = 1 / U = 1 / 1,8 = 0,55 [m²*°C/W]

R isolant = e / λ = 0,06 / 0,040 = 1,5 [m²*°C/W]

R total = Σ R matériau → R après isolation = R avt isol + R isol = 0,55 + 1,5 = 2,05 [m²*°C/W]

U après isolation = 1 / R après isolation = 1 / 2,05 = 0,49 [W/(m²*°C)]

(rapport : 1,8 / 0,49 = 3,7x moins de pertes)



2 Exercices pratiques

2.1 Calcul du TRS d'une isolation de paroi (resolution)

Calcul de la conso avant isolation (compenser les pertes)

$$= \frac{U \text{ [W/(m}^2\text{x}^\circ\text{C)]} \times \text{Surface d'échange [m}^2\text{]} \times (\text{Temp}^\circ \text{intérieur} - \text{Temp}^\circ \text{extérieur) [}^\circ\text{C]} \times \text{Tps [h]}}{\eta \text{ système de chauffage} \times 10\,000 \text{ [Wh par m}^3\text{]}}$$

$$= \frac{1,8 \times 100 \times (20 - 8) \times 5800}{0,65 \times 10\,000} = 1\,928 \text{ m}^3 \text{ de gaz}$$

Calcul de la conso après isolation (compenser les pertes)

$$= \frac{U \text{ [W/(m}^2\text{x}^\circ\text{C)]} \times \text{Surface d'échange [m}^2\text{]} \times (\text{Temp}^\circ \text{intérieur} - \text{Temp}^\circ \text{extérieur) [}^\circ\text{C]} \times \text{Tps [h]}}{\eta \text{ système de chauffage} \times 10\,000 \text{ [Wh par m}^3\text{]}}$$

$$= \frac{0,49 \times 100 \times (20 - 8) \times 5800}{0,65 \times 10\,000} = 525 \text{ m}^3 \text{ de gaz}$$

→ **Gain sur le gaz = 1928 – 525 = 1403 m³ de gaz**



2 Exercices pratiques

2.1 Calcul du TRS d'une isolation de paroi (resolution)

Equivalence en €

1 m³ gaz = 0,5 € → 1 403 m³ de gaz = 701 € d'économisé = gain annuel réalisé = Ga
14

Calcul de de l'investissement net

I net = devis – primes = 3 000 € - 8*100 = 2 200 €

Calcul du TRS

TRS = I net / Ga = 2 200 / 701 = 3,14 années

→ En un peu plus de 3 ans, l'investissement est amorti grâce aux économies de gaz



2 Exercices pratiques

2.2 Calcul du TRS d'un remplacement de chaudière

Calculez le Temps de retour simple des travaux de remplacement d'une chaudière

Votre entrepreneur vous remet un devis de 5 000 € pour remplacement votre ancienne chaudière au gaz, par une nouvelle chaudière à condensation.

Votre consommation annuelle en chauffage est de 3000 m³ de gaz naturel [10 kWh / m³].
Le prix du gaz est de 0,5 € par m³.

Le rendement global de votre ancien système de chauffage est de 65 %. Celui du nouveau système est de 82%.

La durée de la saison de chauffe est de 5800 heures. La température extérieur moyenne est de 8°C durant cette période. La température intérieur est de 20°C.

La région Bruxelloise vous accorde une prime de 500 € pour l'achat d'une chaud. à cond.



2 Exercices pratiques

2.2 Calcul du TRS d'un remplacement de Chaudière (resolution)

Calcul de l'énergie réellement utile au chauffage

3 000 m³ de gaz = 30 000 kWh

Énergie utile = conso x rendement global = 30 000 * 65% = 19 500 kWh

Pertes = 30 000 – 19 500 = 30 000 * (1 – 0,65) = 10 500 kWh

Calcul de la consommation de la nouvelle chaudière

Energie utile / rendement nouveau système = 19 500 kWh / 82% = 23 780 kWh



2 Exercices pratiques

2.2 Calcul du TRS d'un remplacement de Chaudière (resolution)

Calcul de l'économie réalisée

Conso ancien système – conso nouveau système = 30 000 – 23 780 = 6 220 kWh

Avec 1m³ gaz = 10 kWh et 1m³ gaz = 0,5€ : Economie annuelle = 6220/10*0,5 = 311 €/an

Calcul de l'investissement net : I net = devis – prime = 5 000 – 500 = 4500 €

Calcul du TRS : TRS = I net / Ga = 4500 / 311 = 14,5 ans

Question : que réalisez vous en premier lieu ? Isolation ou changement chaudière ?



2 Exercices pratiques

2.2 Calcul du TRS d'un remplacement de Chaudière (question)

Question subsidiaire :

J'ai un budget de 8 000 €. Je réalise les 2 travaux (isolation + nouvelle chaudière).

Le gain annuel total est-il :

- a) Egal à 1 012 € (= 701 + 311)
- b) Supérieur à 1 012 €
- c) Inférieur à 1 012 €



2 Exercices pratiques

2.2 Calcul du TRS d'un remplacement de Chaudière (question)

Réponse :

J'ai un budget de 8 000 €. Je réalise les 2 travaux (isolation + nouvelle chaudière).

Le gain annuel total est-il :

- a) Egal à 1 012 € (= 701 + 311)
- b) Supérieur à 1 012 €
- c) **Inférieur à 1 012 €**

Pq ?

En isolant, je diminue les pertes vers l'extérieur, donc l'énergie utile au chauffage. La consommation de gaz va donc être réduite. Mon gain avec la nouvelle chaudière est calculé sur une base inférieure.

→ Moins d'économie



2 Exercices pratiques

2.3 Calcul de la VAN d'un investissement

Remplacement de la chaudière

Investissement net = 4 500 €

Gain annuel = 311 € = gain calculé au moment de l'investissement (temps zéro) !!

Augmentation du prix du gaz = 1% par an

Taux d'actualisation = 3% par an

$$VAN = \sum_{t=1}^T CF_t (1 + k)^{-t} - I$$

→ Calculez la VAN après T = 20 ans



2 Exercices pratiques

2.3 Calcul de la VAN d'un investissement (résolution)

Après 1 an : gain sur le gaz = $311 \times (1 + 1\%)^1 = 314 \text{ €}$
→ gain actualisé = $314 / (1 + 3\%)^1 = 305 \text{ €}$

Après 2 ans : gain sur le gaz = $311 \times (1 + 1\%)^2 = 317 \text{ €}$
→ gain actualisé = $317 / (1 + 3\%)^2 = 299 \text{ €}$
→ cumul gain actualisé = $305 + 299 = 604 \text{ €}$

...

Après 20 ans : ...



2 Exercices pratiques

Rentabilité d'un investissement – Applications pratiques

2.3 Calcul de la VAN d'un investissement (résolution)

| Colonne1 ▼ | Gain [€] ▼ | Gain actualisé [€] ▼ | Cumul gain actualisé [€] ▼ | Invest [€] ▼ | VAN [€] ▼ |
|-----------------|------------|----------------------|----------------------------|--------------|------------|
| année 0 | | | 0 | -4500 | -4500 |
| année 1 | 314 | 305 | 305 | | -4195 |
| année 2 | 317 | 299 | 604 | | -3896 |
| année 3 | 320 | 293 | 897 | | -3603 |
| année 4 | 324 | 288 | 1185 | | -3315 |
| année 5 | 327 | 282 | 1467 | | -3033 |
| année 6 | 330 | 276 | 1743 | | -2757 |
| année 7 | 333 | 271 | 2014 | | -2486 |
| année 8 | 337 | 266 | 2280 | | -2220 |
| année 9 | 340 | 261 | 2541 | | -1959 |
| année 10 | 344 | 256 | 2796 | | -1704 |
| année 11 | 347 | 251 | 3047 | | -1453 |
| année 12 | 350 | 246 | 3293 | | -1207 |
| année 13 | 354 | 241 | 3534 | | -966 |
| année 14 | 357 | 236 | 3770 | | -730 |
| année 15 | 361 | 232 | 4002 | | -498 |
| année 16 | 365 | 227 | 4229 | | -271 |
| année 17 | 368 | 223 | 4452 | | -48 |
| année 18 | 372 | 219 | 4671 | | 171 |
| année 19 | 376 | 214 | 4885 | | 385 |
| année 20 | 379 | 210 | 5095 | | 595 |



- ° **Calcul isolation de paroi : mur, toit, sol, ...**
- ° **Calcul rendement chaudière : fiche de calcul rendement production**
- ° **Calcul de TRS / VAN :**
 - **isolation mur, sol, toiture,...**
 - **remplacement chaudière**
 - **installation panneaux PV, thermiques, cogénération**
 - **...**
- ° **Outils :**
 - **<https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=16807>**

Merci !



ENERGY
advisors

Rue du Congresstraat 37-41 (b3), 1000 Bruxelles - Brussel
T 02 210 53 08 | info@CBENM-BCSPO.be | REF : PP2018

Annexes



ENERGY
advisors

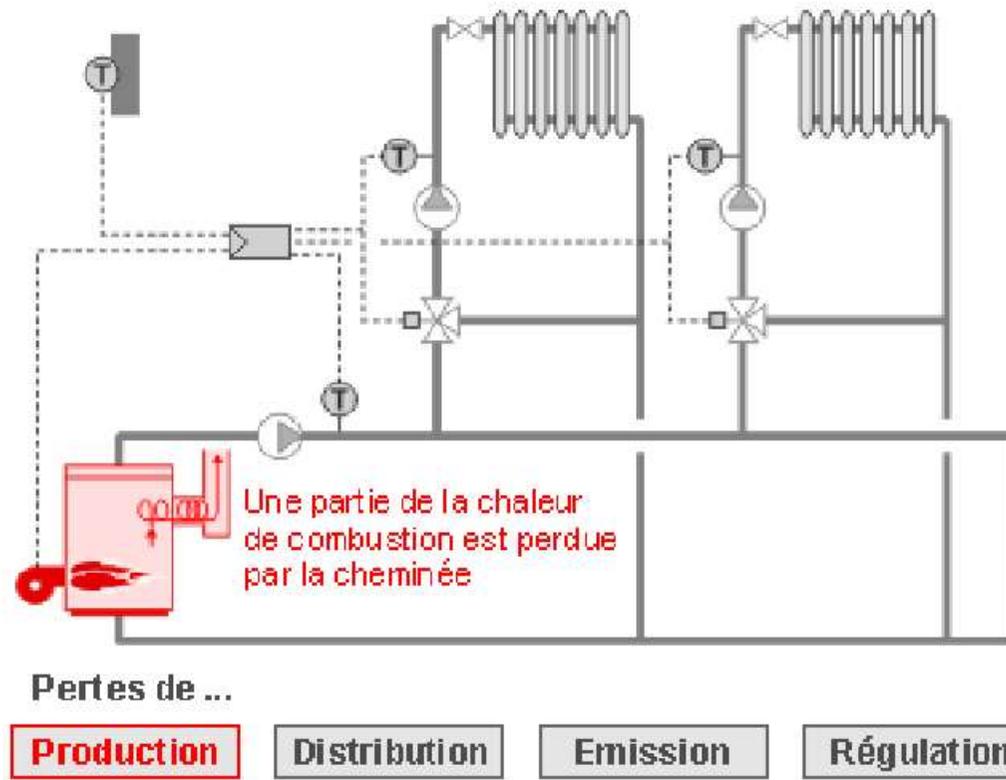
Rue du Congresstraat 37-41 (b3), 1000 Bruxelles - Brussel
T 02 210 53 08 | info@CBENM-BCSPO.be | REF : PP2018



1 Calcul de TRS

1.3 Estimation du rendement d'un système de chauffage :

Rendement = η global = η prod x η distribution x η émission x η régulation





1.3 Estimation du rendement d'un système de chauffage :

Rendement = η global = η prod x η distribution x η émission x η régulation

$$\text{Rendement } \textit{saisonnier} \text{ de production} = \eta \text{ sais} = \frac{[\eta \text{ comb} - \% \text{ qr}]}{[1 + qe * (\frac{nt}{nb} - 1)]}$$

Avec :

- ° η comb = rendement de combustion
- ° % qr = pourcentage de perte vers l'ambiance
- ° qe = perte à l'arrêt
- ° nt / nb = rapport durée saison de chauffe / durée de fonctionnement du bruleur

Objectifs :

- Chaudière moderne traditionnelle : η sais \rightarrow 92% sur PCI
- Chaudière moderne à condensation : η sais \rightarrow 101% sur PCI



1 Calcul de TRS

1.3 Estimation du rendement d'un système de chauffage :

Rendement = η global = η prod x η distribution x η émission x η régulation

Rendement *saisonnier* de production = η sais = $\frac{[\eta \text{ comb} - \% \text{ qr}]}{[1 + qe * (\frac{nt}{nb} - 1)]}$

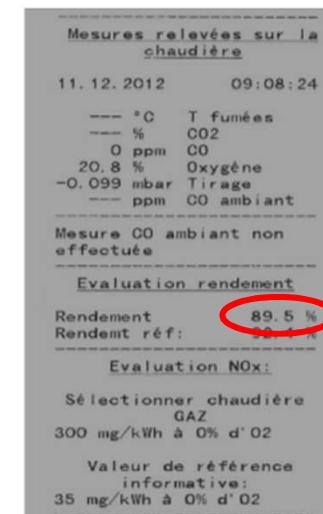
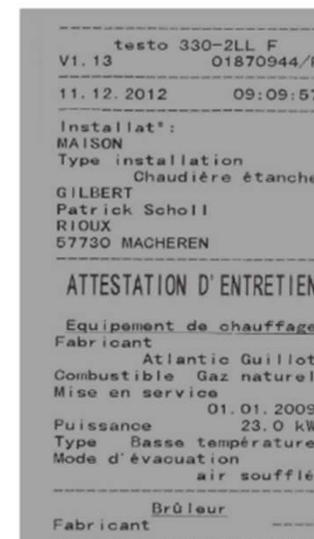
η comb = rendement de combustion = $100 - f (T^\circ \text{ fumée} - T^\circ \text{ ambiante}) / \% \text{CO}_2$

Avec $f = 0,57$ pour mazout et $0,47$ pour gaz

Et $\% \text{CO}_2 = \% \text{CO}_2 \text{max} \times (21 - \% \text{O}_2) / 21$

Avec $\% \text{CO}_2 \text{max} = 15,2\%$ (mazout)

ou $11,9\%$ (gaz)





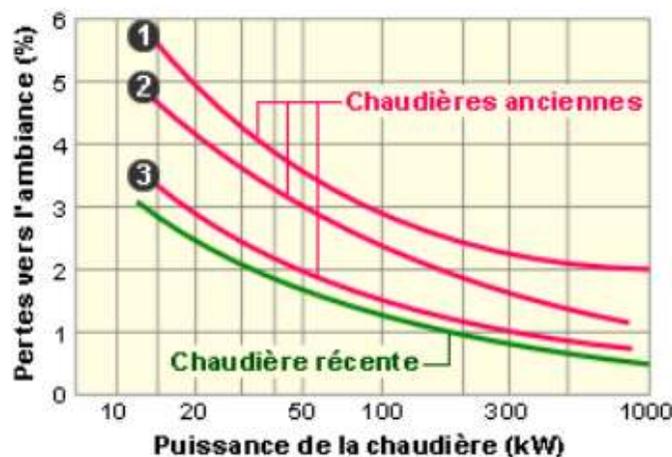
1 Calcul de TRS

1.3 Estimation du rendement d'un système de chauffage :

Rendement = η global = η prod x η distribution x η émission x η régulation

Rendement *saisonnier* de production = η sais = $\frac{[\eta \text{ comb} - \% \text{ qr}]}{[1 + qe * (\frac{nt}{nb} - 1)]}$

% qr : pourcentage de perte vers l'ambiance → notice constructeur (0,5 à 6% PN)



- 1 : chaudière au charbon converties au fuel
 - 2 : chaudière gaz atmosphérique
 - 3 : chaudière fuel ou gaz à brûleur pulsé.
- Source : le Recknagel.



1 Calcul de TRS

1.3 Estimation du rendement d'un système de chauffage :

Rendement = η global = η prod x η distribution x η émission x η régulation

$$\text{Rendement } \textit{saisonnier} \text{ de production} = \eta \text{ sais} = \frac{[\eta \text{ comb} - \% \text{ qr}]}{[1 + q * (\frac{nt}{nb} - 1)]}$$

qe : perte à l'arrêt

→ notice constructeur (0,1 à 0,7% PN → + 1 à 2% PN si balayage)

Remeha Gas 450 RNX

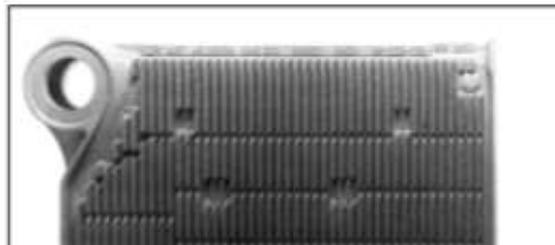
4. CARACTÉRISTIQUES DE FONCTIONNEMENT

4.1 Rendement

La technicité des chaudières série Remeha Gas 450 RNX permet d'obtenir un rendement de combustion très supérieur à la moyenne, de 91 à 91,5% sur P.C.I.

4.2 Pertes à l'arrêt

Les pertes à l'arrêt exprimées en % de la puissance nominale sont de 0,8% à 1,3% selon les modèles.





1 Calcul de TRS

1.3 Estimation du rendement d'un système de chauffage :

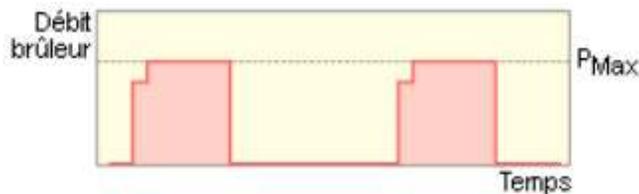
Rendement = η global = η prod x η distribution x η émission x η régulation

$$\text{Rendement } \textit{saisonnier} \text{ de production} = \eta \text{ sais} = \frac{[\eta \text{ comb} - \% \text{ qr}]}{[1 + qe * (\frac{nt}{nb} - 1)]}$$

nt / nb = rapport durée saison de chauffe / durée de fonctionnement du bruleur

Saison de chauffe = 15 septembre au 15 mai = 242 jours = 5800 heures

Durée de fonctionnement bruleur = à mesurer mais dépend du climat



! Si bruleur modulant, temps long favorisé → fichier excel



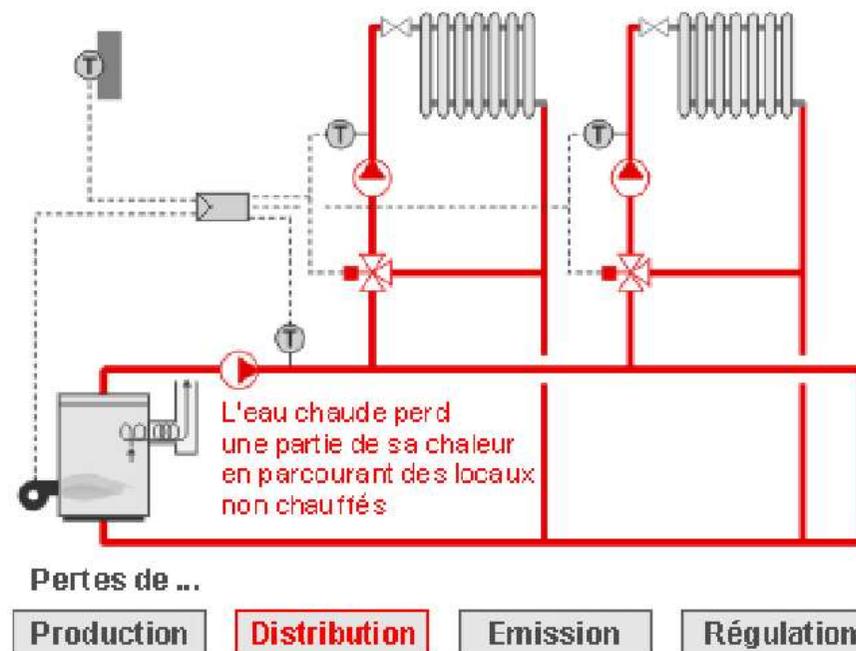


1 Calcul de TRS

1.3 Estimation du rendement d'un système de chauffage (suite) :

Rendement = η global = η prod x η distribution x η émission x η régulation

Rendement de distribution





1 Calcul de TRS

1.3 Estimation du rendement d'un système de chauffage (suite) :

Rendement = η global = η prod x η distribution x η émission x η régulation

Rendement de distribution

Le logiciel génère directement la valeur renseignée ci-dessous suivant les indications renseignées.

| | ? distribution |
|--|-------------------|
| • toutes les conduites ou gaines sont à l'intérieur du volume protégé (càd. sont placées du côté intérieur de la couche d'isolation) | 100 % |
| • une partie des conduites est à l'extérieur du volume protégé (càd. sont placées du côté extérieur de la couche d'isolation) | 95 % |



1 Calcul de TRS

1.3 Estimation du rendement d'un système de chauffage (suite) :

$$\text{Rendement} = \eta_{\text{global}} = \eta_{\text{prod}} \times \eta_{\text{distribution}} \times \eta_{\text{émission}} \times \eta_{\text{régulation}}$$

Rendement de distribution

→ Evaluer la proportion de circuit non-isolé dans les pièces non-chauffées

| Perte de chaleur d'un tuyau en acier non isolé en [W/m] | | | | | | | | | | |
|---|------|------|------|-----|------|--------|-----|--------|-----|-----|
| DN [mm] | 10 | 15 | 20 | 25 | 32 | 40 | 50 | 62 | 80 | 100 |
| Diam [pouce] | 3/8" | 1/2" | 3/4" | 1" | 5/4" | 1 1/2" | 2" | 2 1/2" | 3" | 4" |
| T _{eau} - T _{air} : | | | | | | | | | | |
| 20°C | 11 | 13 | 17 | 21 | 26 | 30 | 38 | 47 | 55 | 71 |
| 40°C | 22 | 29 | 36 | 45 | 57 | 65 | 81 | 101 | 118 | 152 |
| 60°C | 36 | 46 | 58 | 73 | 92 | 105 | 130 | 164 | 191 | 246 |
| 80°C | 52 | 67 | 84 | 105 | 132 | 151 | 188 | 236 | 276 | 355 |

Les pertes calorifiques des canalisations enterrées sont plus faibles que dans l'air, en moyenne de 10 à 35 %.



1 Calcul de TRS

1.3 Estimation du rendement d'un système de chauffage (suite) :

$$\text{Rendement} = \eta_{\text{global}} = \eta_{\text{prod}} \times \eta_{\text{distribution}} \times \eta_{\text{émission}} \times \eta_{\text{régulation}}$$

Rendement de distribution

→ Evaluer la proportion de circuit non-isolé dans les pièces non-chauffées

| Perte thermique des vannes et brides en équivalent de longueur de tuyauterie de même diamètre | | | |
|---|-----|------------------------------|-------|
| Source : "le Recknagel" (1996). | | | |
| Accessoire | DN | Température de la tuyauterie | |
| | | 50°C | 100°C |
| Vanne | 25 | 0,5 m | 1,0 m |
| | 100 | 1,2 m | 2,5 m |
| | 300 | 3,0 m | 6,0 m |
| Paire de brides | 25 | 0,2 m | 0,4 m |
| | 100 | 0,5 m | 1,0 m |
| | 300 | 1,5 m | 3,0 m |

→ $\eta_{\text{distribution}} = 95\%$ - pertes estimées ou selon année construction → min. 80%

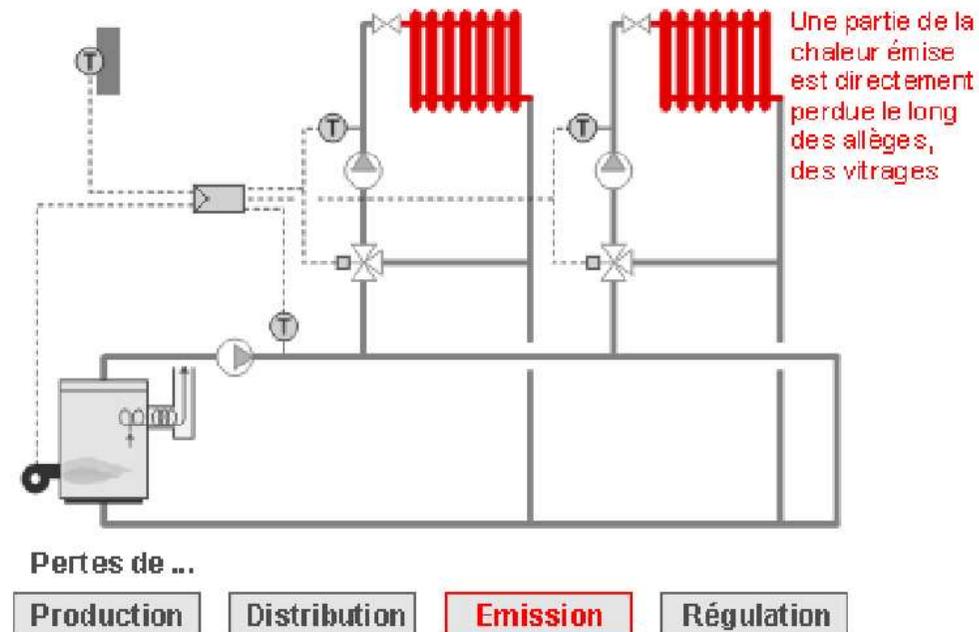


1 Calcul de TRS

1.3 Estimation du rendement d'un système de chauffage (suite) :

Rendement = η global = η prod x η distribution x η émission x η régulation

Rendement d'émission



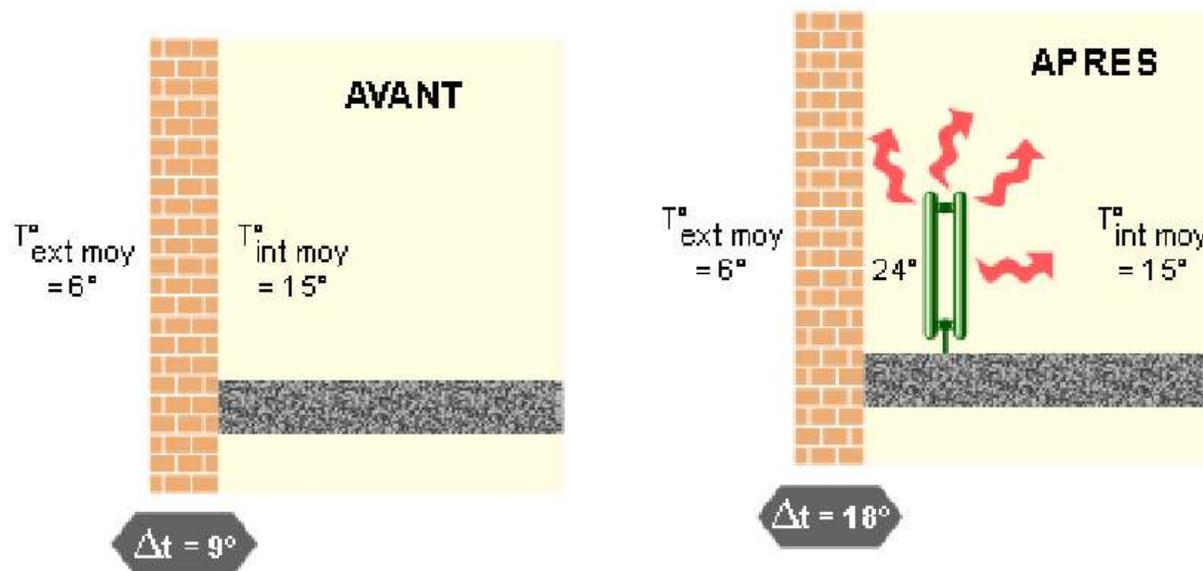


1 Calcul de TRS

1.3 Estimation du rendement d'un système de chauffage (suite) :

Rendement = η global = η prod x η distribution x η émission x η régulation

Rendement d'émission



η émission =
base 90-95%
(selon année de construct.)
+3%
(si isolation derrière
radiateurs)
→ max 98%

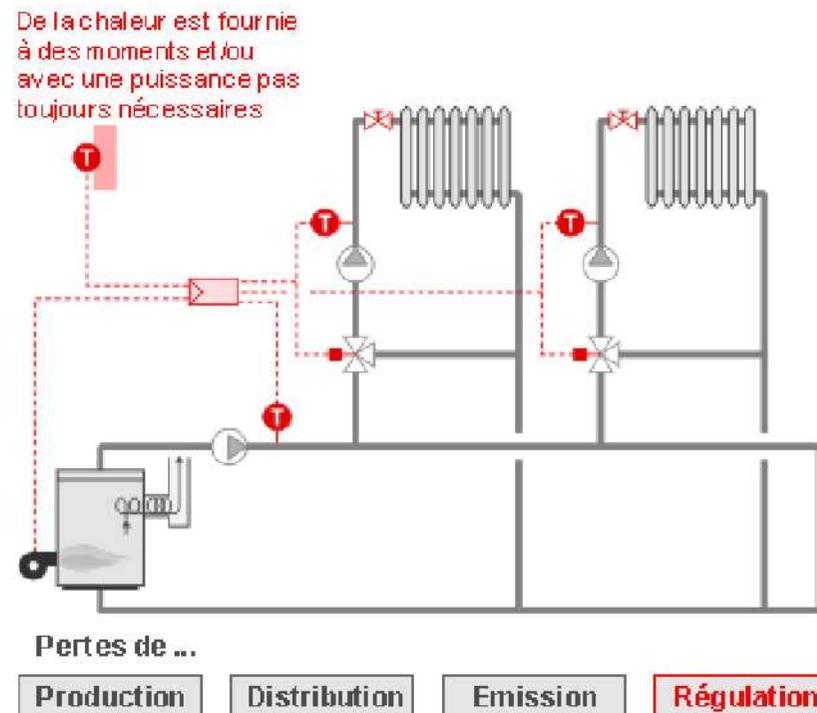


1 Calcul de TRS

1.3 Estimation du rendement d'un système de chauffage (suite) :

Rendement = η global = η prod x η distribution x η émission x η régulation

Rendement de régulation



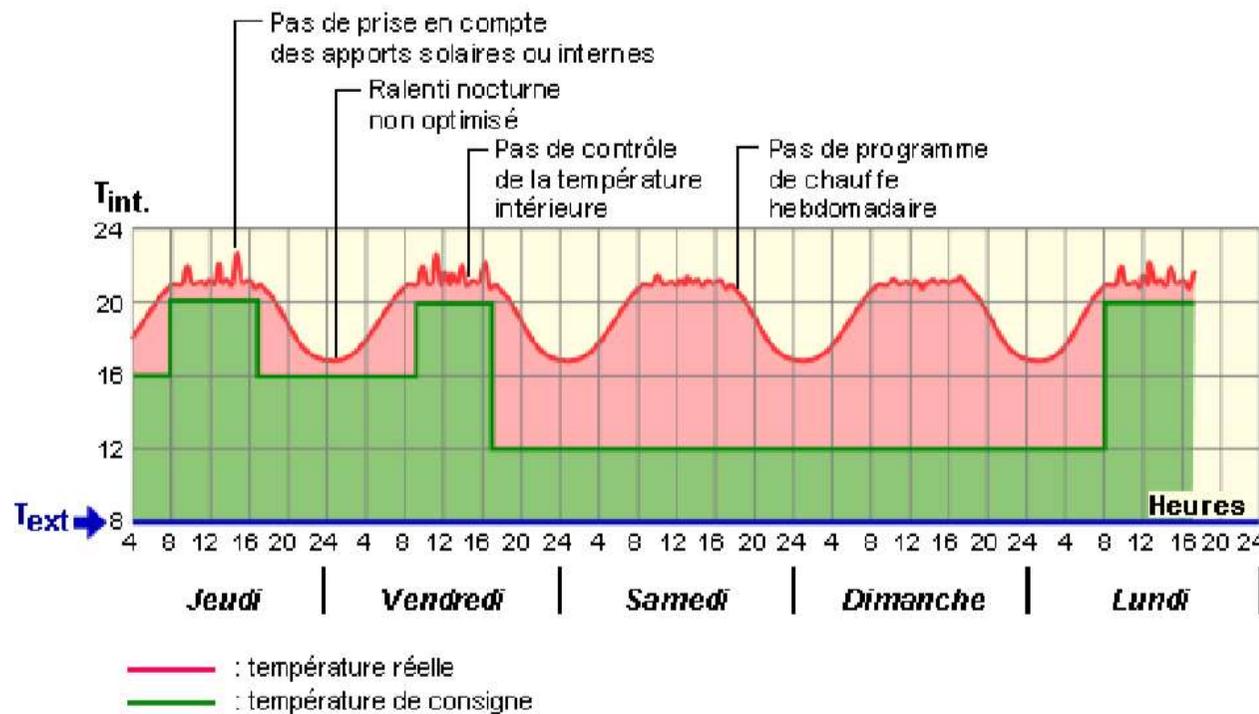


1 Calcul de TRS

1.3 Estimation du rendement d'un système de chauffage (suite) :

Rendement = η global = η prod x η distribution x η émission x η régulation

Rendement de régulation



η régulation =
base 85-90%
(selon âge système
+5%
(si vannes thermostatiques
et sonde de t°)
→ max 95%