

Exercices chapitres 8 & 9

Quelques points importants du cours : Tarification de l'énergie électrique

Calcul de l'énergie :

$$W = \text{Puissance} \times \text{temps} = P \times t \quad \begin{cases} P \text{ en } W \\ t \text{ en secondes (s)} \\ W \text{ en joules (J)} \end{cases}$$

Tarif D

- **Domaine d'applicabilité** : Puissance maximale appelée inférieure à 65 kW pendant les douze mois précédents.
- **Structure du tarif D**

Frais d'accès au réseau par jour (redevance)	43,505 ¢
40 premiers kilowattheures par jour	6,509 ¢
Coût du kilowattheure pour le reste de l'énergie	10,041 ¢

Tarif DP

- **Domaine d'applicabilité** : Puissance maximale appelée minimalement de 50 kW pendant les douze mois précédents.
- **Structure du tarif DP**

Coût du kilowattheure pour les premiers 1200 kilowattheures	6,294 ¢
Coût du kilowattheure pour le reste d'énergie	9,570 ¢
Coût du kilowatt au-delà de 50 kilowatts si période d'été	4,914 ¢
Ou	
Coût du kilowatt au-delà de 50 kilowatts si période d'hiver	6,649 ¢

Tarif G

- **Domaine d'applicabilité** : lorsque la **puissance minimale à facturer** est inférieure à **65 kilowatts**.
- **Structure du tarif G**

Frais d'accès au réseau	13,648 \$
Kilowatts de puissance à facturer excédent 50 kW	19,526 \$
Coût du kilowattheure pour les 15090 premiers kilowattheures	10,959 ¢
Coût du kilowattheure pour le reste d'énergie	8,435 ¢

- **Puissance à facturer**

$$P_{\text{facturé}} = \max(P_{\text{am}}, 0,9 \times S_{\text{am}})$$

Tarif M

- **Domaine d'applicabilité** : lorsque l'appel de la **puissance maximale appelée** a été d'au **moins 50 kW** durant les 12 périodes mensuelles précédentes. En général ce tarif s'applique lorsque :

$$50 \text{ kW} < P_{am} < 5000 \text{ kW} ; P_{am} = \text{puissance maximale appelée}$$

- **Structure du tarif M**

Kilowatts de puissance à facturer	16,139 \$
Coût du kilowattheure pour les 210 000 premiers kilowattheures	5,567 ¢
Coût du kilowattheure pour le reste d'énergie	4,128 ¢

- **Puissance à facturer**

$$P_{\text{facturé}} = \max(P_{am}, 0,9 \times S_{am})$$

Tarif L

- **Domaine d'applicabilité** : lorsque l'appel de la **puissance souscrite** a été d'au **moins 5000 kW**.
- **Structure du tarif L**

Kilowatts de puissance à facturer	13,779 \$
Coût du kilowattheure	3,503 ¢

- **Puissance à facturer**

$$P_{\text{facturé}} = \max(P_{am}, P_s, 0,95 \times S_{am})$$

Si la puissance souscrite n'est pas connue :

$$P_{\text{facturé}} = \max(P_{am}, 0,95 \times S_{am})$$

Énoncés

Exercice 1

Questions de cours sur les réseaux électriques

Les questions 1, 2, 3 et 4 sont indépendantes

1. Pourquoi doit-on élever la tension de l'énergie produite dans les centrales avec le transport ?
2. Quels sont les systèmes de distribution basse tension de l'énergie électrique au Québec ? Précisez les niveaux de tension pour chacun des systèmes.
3. Les exigences de base sur les installations électriques à l'intérieur des bâtiments recommandent d'utiliser des dispositifs de protection contre les surcharges. Quel est le nom de l'appareil qui permet d'assurer cette fonction?
4. Quelles sont les classes de tarification de l'énergie électrique? Quel tarif s'applique généralement à un usage domestique ?

Réponses

- Pour minimiser les pertes par effet joule durant le transport.
- Système monophasé 120 V/240V à trois fils et Système triphasé 600 V à trois fils
- Disjoncteur
- Tarifs D, G, M et L. Le tarif domestique est le tarif D.

Lien vidéo : <https://www.loom.com/share/6ef13a5778924e26836438c9193fbc1f?sid=4cff7d7b-9d23-4644-b7d7-018df8f0be52>

Pas de solution pour cet exercice

Exercice 2

Calcul de l'énergie

Calculez l'énergie absorbée en 43 heures par un appareil de 50 Watts. Donnez le résultat en MJ et en kWh.

Réponses : $W = 7,74 \text{ MJ} = 2,15 \text{ kWh}$.

Cliquez ici pour le corrigé détaillé

Exercice 3

Calcul de l'énergie

La plaque signalétique d'un aspirateur possède les informations suivantes : aspirateur sans sac eau et poussière – filtre à eau- contrôle de puissance variable entre 300-1800 W.

1. Pour aspirer les poussières d'un tapis, il faut utiliser l'aspirateur réglé sur la puissance la plus faible. Il faut alors 15 minutes. Calculez l'énergie consommée en Wh.
2. Pour aspirer les poussières du même tapis avec l'aspirateur réglé sur la puissance la plus forte, il faut 2 minutes. Calculez l'énergie consommée en Wh.

3. Quelle mode de fonctionnement est le plus économique ? Justifiez votre réponse.

Réponses : $\begin{cases} W_1 = 75 \text{ Wh} \\ W_2 = 60 \text{ Wh} \end{cases}$

[Cliquez ici pour le corrigé détaillé](#)

Exercice 4

Coût de l'énergie

Une installation domestique est facturée comme suit : les premiers 40 kWh sont facturés à 6,08 cents par kWh et la consommation supplémentaire est facturée à 9,38 cents par kWh. Cette installation est alimentée à 120 V et peut être modélisée par une résistance unique de valeur $R = 4 \Omega$. En une journée, cette installation a fonctionné pendant 22 h et 54 min. Quel est le coût correspondant à la consommation de cette journée ?

Réponse : 6,41 \$

[Cliquez ici pour le corrigé détaillé](#)

Exercice 5

Tarif D

Une maison de la ville de Montréal a une consommation maximale en hiver de 9400 kW.h. en hiver (mois de janvier) et une consommation minimale de 2100 kW.h au mois d'août. En utilisant le tarif D en vigueur depuis le 1^{er} avril 2023,

1. évaluez le coût de l'électricité au mois de janvier.
2. Évaluez le coût de l'électricité au mois d'août.

Réponses : $\begin{cases} 913,542 \$ \\ 180,55 \$ \end{cases}$

[Cliquez ici pour le corrigé détaillé](#)

Exercice 6

Puissance à facturer et sélection du tarif

Les mesures suivantes ont été réalisées à l'entrée d'une entreprise durant une période de mesure.

- Puissance maximale appelée : 2550 kW
 - Puissance apparente maximale appelée : 3000 kVA
1. Calculez le facteur de puissance de l'entreprise.
 2. Quel tarif s'applique à cette entreprise ?
 3. Quelle sera la puissance à facturer à l'entreprise et quel en sera le coût associé à cette puissance seulement ?
 4. Quelle sera la puissance à facturer si l'entreprise corrige son facteur de puissance à 0,9 retard et quel en sera le coût associé à cette puissance seulement ?

5. Quelle sera la puissance à facturer si l'entreprise corrige son facteur de puissance à 0,92 et quel en sera le coût ?

Réponses :
$$\begin{cases} FP = 0,85 \text{ retard} \\ \text{Tarif } M \\ P_{\text{facturé}} = 2700 \text{ kW} ; \text{ Coût} = 43575,3 \$ \\ P_{\text{facturé}} = 2550 \text{ kW} ; \text{ Coût} = 41154,45 \$ \\ P_{\text{facturé}} = 2550 \text{ kW} ; \text{ Coût} = 41154,45 \$ \end{cases}$$

[Cliquez ici pour le corrigé détaillé](#)

Exercice 7

Révision sur la correction du facteur de puissance

Une installation industrielle absorbe une puissance apparente de 250 kVA à un facteur de puissance de 65 % retard. Calculez la capacité en kvar du groupe de condensateurs à brancher à l'entrée de l'installation afin de ramener le FP de puissance à

1. 92 % retard.
2. 100 %.

Réponses :
$$\begin{cases} 120,76 \text{ kvar} \\ 189,983 \text{ kvar} \end{cases}$$

[Cliquez ici pour le corrigé détaillé](#)

Exercice 8

Puissance minimale à facturer et correction du facteur de puissance

À l'entrée d'une entreprise, on mesure pendant une année une puissance maximale appelée de 2370 kW et une puissance apparente maximale de 3300 kVA.

1. Calculez le facteur de puissance de l'entreprise.
2. Quelle sera la valeur de la puissance à facturer à l'entreprise ?
3. Calculez le coût de cette puissance.
4. Si l'on corrige le facteur de puissance à 0,91, quelle sera la puissance à facturer et quel en sera le coût ?
5. Quelle nouvelle conclusion tirez-vous sur l'importance d'avoir un facteur de puissance proche de 1 dans une installation ?
6. Quelle est le gain mensuel moyen réalisé sur le coût de la puissance de cette entreprise après la correction du facteur de puissance ?
7. Si un investissement de 35 000 \$ a été nécessaire pour corriger le facteur de puissance de l'entreprise, en supposant que la puissance maximale reste la même. Après combien de mois peut-on considérer que l'investissement a été rentabilisé ?

Réponses : $\left\{ \begin{array}{l} FP = 0,718 \\ P_{\text{facturé}} = 2970 \text{ kW} \\ \text{Coût} = 47932,83 \$ \\ P_{\text{facturé}} = 2370 \text{ kW} ; \text{ Coût} = 38249,43 \$ \\ \text{Réduction du coût d'électricité} \\ \text{Gain} = 9683,4 \$ \\ 3,61 \text{ mois} \end{array} \right.$

[Cliquer ici pour le corrigé détaillé](#)

Corrigé des exercices

Solution Exercice 2

Calcul de l'énergie absorbée en 43 heures par un appareil de 50 Watts. Donnez le résultat en MJ et en kW.h.

$$W = P \times t$$

- **Résultat en Mégajoules**

$$W = \frac{50 \times 43 \times 3600}{10^6} = \boxed{7,74 \text{ MJ}}$$

- **Résultats en kW.h**

$$W = \frac{50 \times 43}{1000} = \boxed{2,15 \text{ kW.h}}$$

[Cliquez ici pour retourner à l'énoncé](#)

Lien vidéo pour explications

<https://www.loom.com/share/08364992001e4016920ec7c4613a4dec?sid=61825928-1c91-4746-bf66-654d2a5b9f79>

Solution Exercice 3

La plaque signalétique d'un aspirateur possède les informations suivantes : aspirateur sans sac eau et poussière – filtre à eau- contrôle de puissance variable entre 300-1800 W.

1. Pour aspirer les poussières d'un tapis, il faut utiliser l'aspirateur réglé sur la puissance la plus faible. Il faut alors 15 minutes. **Calcul de l'énergie consommée en Wh.**

$$W_1 = P_{min} \times t = 300 \times \frac{15}{60} = \boxed{75 \text{ Wh}}$$

2. Pour aspirer les poussières du même tapis avec l'aspirateur réglé sur la puissance la plus forte, il faut 2 minutes. **Calcul de l'énergie consommée en Wh.**

$$W_2 = P_{max} \times t = 1800 \times \frac{2}{60} = \boxed{60 \text{ Wh}}$$

3. **Mode de fonctionnement le plus économique.**

La tarification de l'énergie résidentielle étant essentiellement basée sur l'énergie (voir **tarif D**), il est alors préférable d'aspirer **les poussières à haute puissance, car on consomme moins d'énergie.**

[Cliquez ici pour retourner à l'énoncé](#)

Lien vidéo pour explications

<https://www.loom.com/share/aa101fddd9bf49e284ea1754349c57aa?sid=df14e5d1-0b23-4900-bb03-c5daf43a5b2f>

Solution Exercice 4

Une installation domestique est facturée comme suit : les premiers 40 kWh sont facturés à 6,08 cents par kWh et la consommation supplémentaire est facturée à 9,38 cents par kWh. Cette installation est alimentée à 120 V et peut être modélisée par une résistance unique de valeur $R = 4 \Omega$. En une journée, cette installation a fonctionné pendant 22 h et 54 min. **Calcul du coût correspondant à la consommation de cette journée.**

- Calcul de l'énergie consommée

$$V = 120 \text{ V} ; R = 4 \Omega \Rightarrow P = \frac{V^2}{R}$$

On obtient alors l'énergie consommée pendant la période t comme suit :

$$W = P \times t = \frac{V^2}{R} \times t = \frac{120^2}{4} \times \left(22 + \frac{54}{60} \right) = 82440 \text{ Wh} = 82,44 \text{ kW.h}$$

\downarrow
 22,9 heures

- Calcul du coût énergétique

- ✓ Premiers 40 kW.h

$$\frac{40 \times 6,08}{100} = 2,432 \$$$

- ✓ Reste de l'énergie

$$(82,44 - 40) \times \frac{9,38}{100} = 3,98 \$$$

- ✓ Total :

$$2,432 + 3,98 = \boxed{6,41 \$}$$

Cliquez ici pour retourner à l'énoncé

Lien vidéo pour explications

<https://www.loom.com/share/e5d81e7f67df4953a4af044dd23fb55b?sid=b295ac45-7314-4784-8dfe-53f7682641cd>

Solution exercice 5

Une maison de la ville de Montréal a une consommation maximale en hiver de 9400 kW.h. en hiver (mois de janvier) et une consommation minimale de 2100 kW.h au mois d'août. En utilisant le tarif D en vigueur depuis le 1^{er} avril 2023,

1. Évaluation du coût de l'électricité au mois de janvier.

Le mois de janvier comporte 31 jours et donc, on aura :

Frais d'accès au réseau par jour (redevance)	43,505 ¢	$\frac{43,505 \times 31}{100} = 13,486 \$$
40 premiers kilowattheures par jour	6,509 ¢	$\frac{40 \times 31 \times 6,509}{100} = 80,711 \$$

Coût du kilowattheure pour le reste de l'énergie	10,041 ¢	$(9400 - 40 \times 31) \times \frac{10,041}{100} = 819,345 \$$
Total		913,542 \$

2. Évaluation du coût de l'électricité au mois d'août.

Le mois d'août comporte également 31 jours et donc :

Frais d'accès au réseau par jour (redevance)	43,505 ¢	$\frac{43,505 \times 31}{100} = 13,486 \$$
40 premiers kilowattheures par jour	6,509 ¢	$\frac{40 \times 31 \times 6,509}{100} = 80,711 \$$
Coût du kilowattheure pour le reste de l'énergie	10,041 ¢	$(2100 - 40 \times 31) \times \frac{10,041}{100} = 86,3526 \$$
Total		180,55 \$

[Cliquez ici pour retourner à l'énoncé](#)

Lien vidéo pour explications

<https://www.loom.com/share/b1f7ea4cde824d13b38d99474ea98991?sid=1fd2bec9-86e4-420e-b508-22c79c5abf9c>

Solution exercice 6

Les mesures suivantes ont été réalisées à l'entrée d'une entreprise durant une période de mesure.

- Puissance maximale appelée : 2550 kW
- Puissance apparente maximale appelée : 3000 kVA

1. Calcul du facteur de puissance de l'entreprise.

$$FP = \frac{P_{am}}{S_{am}} = \frac{2550}{3000} = \mathbf{0,85 \text{ retard}}$$

2. Tarif à appliquer à cette entreprise.

Rappel des domaines d'applicabilité des différents tarifs

- Tarif G (petite puissance) : lorsque la **puissance minimale à facturer** est inférieure à 65 kilowatts.
- Tarif M (moyenne puissance) : lorsque l'appel de la **puissance maximale appelée** a été d'au moins 50 kW durant les 12 périodes mensuelles précédentes.
- Tarif L (grande puissance) : lorsque l'appel de la **puissance souscrite** a été d'au moins 5000 kW.

Nous n'avons pas d'informations sur la puissance souscrite aussi appelée puissance minimale à facturer. On observe néanmoins que l'appel de puissance a été de 2550 kW. Ainsi, on a :

$$P_{am} = 2550 \text{ kW} > 50 \text{ kW} \Rightarrow \mathbf{\text{Tarif M}}$$

Le tarif L ne peut s'appliquer que si l'appel maximal de puissance est d'au moins 5000 kW.

3. Puissance à facturer à l'entreprise et calcul de son coût

Elle est définie comme suit :

$$P_{\text{facturé}} = \max(P_{am} \quad 0,9 \times S_{am}) = \max(2550 \quad 0,9 \times 3000) = \max(2550 \quad 2700) \\ = \boxed{2700 \text{ kW}}$$

Pour le tarif M , le kilowatt de puissance à facturer vaut : 16,139 \$, ainsi la puissance (seulement) vaudra :

$$2700 \times 16,139 = \boxed{43575,3 \$}$$

4. Puissance à facturer si l'entreprise corrige son facteur de puissance à 0,9 retard calcul du nouveau coût de cette puissance.

La puissance active ne change pas et avec un facteur de puissance de 0,9, l'appel de puissance apparente sera de :

$$S_{am} = \frac{P_{am}}{FP} = \frac{2550}{0,9} = 2833,33 \text{ kVA}$$

Comme précédemment :

$$P_{\text{facturé}} = \max(P_{am} \quad 0,9 \times S_{am}) = \max(2550 \quad 0,9 \times 3000) \\ \Rightarrow P_{\text{facturé}} = \max(2550 \quad 2550) = \boxed{2550 \text{ kW}}$$

Nouveau coût :

$$\text{Coût} = 2550 \times 16,139 = \boxed{41154,45 \$}$$

5. Puissance à facturer si l'entreprise corrige son facteur de puissance à 0,92 et calcul du nouveau coût.

$$S_{am} = \frac{P_{am}}{FP} = \frac{2550}{0,92} = 2771,74 \text{ kVA}$$

Comme précédemment :

$$P_{\text{facturé}} = \max(P_{am} \quad 0,9 \times S_{am}) = \max(2550 \quad 0,9 \times 2771,74) \\ \Rightarrow P_{\text{facturé}} = \max(2550 \quad 2494,566) = \boxed{2550 \text{ kW}}$$

Nouveau coût :

$$\text{Coût} = 2550 \times 16,139 = \boxed{41154,45 \$}$$

Cliquez ici pour retourner à l'énoncé

Lien vidéo pour explications

<https://www.loom.com/share/4a9845dde3454441af40e2dc4746c55a?sid=05c95af1-78f7-4aa0-b053-68a6ea833631>

Solution exercice 7

Une installation industrielle absorbe une puissance apparente de 250 kVA à un facteur de puissance de 65 % retard. **Calcul de la capacité en kvar du groupe de condensateurs à brancher à l'entrée de l'installation afin de ramener le FP de puissance à**

1. Compensation à 92 % retard.

Avec le facteur de puissance actuel ($FP_{AVC} = 65 \%$) et la puissance apparente ($S_{AVC} = 250 \text{ KVA}$) on peut déterminer la puissance active P et la puissance réactive avant compensation Q_{AVC} .

$$P = S_{AVC} \times FP_{AVC} = \frac{250 \times 65}{100} = 162,5 \text{ kW}$$

$$\Rightarrow Q_{AVC} = \sqrt{S_{AVC}^2 - P^2} = \sqrt{(250)^2 - (162,5)^2} = 189,983 \text{ kvar}$$

Avec le facteur de puissance désiré ($FP_{APC} = 92 \%$), on obtient la nouvelle puissance apparente (S_{APC}) et la puissance réactive après compensation comme suit :

$$S_{APC} = \frac{P}{FP_{APC}} = \frac{162,5}{0,92} = 176,63 \text{ kVA} \Rightarrow Q_{APC} = \sqrt{S_{APC}^2 - P^2} = \sqrt{(176,63)^2 - (162,5)^2} \\ = 69,223 \text{ kvar}$$

La puissance apparente du banc de condensateur sera alors :

$$Q_C = Q_{APC} - Q_{AVC} = 69,223 - 189,983 = -120,76 \text{ kvar}$$

On doit alors choisir des condensateurs de capacité : **120,76 kvar**

2. Compensation à 100 %.

Dans ce cas, on compense toute l'énergie réactive et la capacité des condensateurs sera alors de :

189,983 kvar

[Cliquez ici pour retourner à l'énoncé](#)

Lien vidéo pour explications

<https://www.loom.com/share/168a9c790b45469fb4acad24938115c3?sid=a4f75ccd-4663-4bd3-87f5-ac9e565c6018>

Solution exercice 8

À l'entrée d'une entreprise, on mesure pendant une année une puissance maximale appelée de 2370 kW et une puissance apparente maximale de 3300 kVA.

1. Calcul du facteur de puissance de l'entreprise.

Les deux puissances fournies sont liées par le facteur de puissance comme suit :

$$FP = \frac{P_{am}}{S_{am}} = \frac{2370}{3300} = \text{0,718 retard}$$

2. Valeur de la puissance à facturer à l'entreprise

La puissance maximale appelée est inférieure à 5000 kW alors il ne s'agit pas du tarif L. Cette puissance étant supérieure à 50 kW, on appliquera le tarif M. Dans ce cas, on aura :

$$P_{\text{facturé}} = \max(P_{am} \quad 0,9 \times S_{am}) = \max(2370 \quad 0,9 \times 3300)$$

$$\Rightarrow P_{\text{facturé}} = \max(2370 \quad 2970) = \boxed{2970 \text{ kW}}$$

3. Calcul du coût de cette puissance.

$$\text{Coût} = 2970 \times 16,139 = \boxed{47932,83 \$}$$

4. Si l'on corrige le facteur de puissance à 0,91, calcul de la puissance à facturer et calcul du nouveau coût

Avec un facteur de puissance de 0,91, l'appel de puissance apparente sera de :

$$S_{am} = \frac{P_{am}}{FP} = \frac{2370}{0,91} = 2604,395 \text{ kVA}$$

Comme précédemment :

$$P_{\text{facturé}} = \max(P_{am} \quad 0,9 \times S_{am}) = \max(2370 \quad 0,9 \times 2604,395)$$

$$\Rightarrow P_{\text{facturé}} = \max(2370 \quad 2343,95) = \boxed{2370 \text{ kW}}$$

Nouveau coût :

$$\text{Coût} = 2370 \times 16,139 = \boxed{38249,43 \$}$$

5. Conclusion sur l'importance d'avoir un facteur de puissance proche de 1 dans une installation.

En plus de réduire les pertes en ligne, on peut dans ce cours observer que **l'amélioration du facteur de puissance permet de réduire les frais d'électricité.**

6. Gain mensuel moyen réalisé sur le coût de la puissance de cette entreprise après la correction du facteur de puissance.

$$\text{Gain} = \text{Economie} = \text{Coût}_{\text{avant}} - \text{Coût}_{\text{après}} = 47932,83 - 38249,43 = \boxed{9683,4 \$}$$

7. Si un investissement de 35 000 \$ a été nécessaire pour corriger le facteur de puissance de l'entreprise, en supposant que la puissance maximale reste la même. **Après combien de mois peut-on considérer que l'investissement a été rentabilisé ?**

$$\text{Temps} = \frac{\text{Investissement}}{\text{Économie}} = \frac{35\,000}{9683,4} = \boxed{3,61 \text{ mois}}$$

Lien vidéo pour explication :

<https://www.loom.com/share/e6004c9eca5244a88c286876f6dd59d4?sid=286f2f93-047c-4bca-9ae0-4e76ce876a1c>

[Cliquez ici pour retourner à l'énoncé](#)