

**PHYSQ 261 LEC A1 - Physique de l'énergie et de l'environnement**  
**Examen partiel 1 - automne 2013**

Nom \_\_\_\_\_ **SOLUTIONS** \_\_\_\_\_

Numéro d'étudiant.e \_\_\_\_\_

**Professeur**            Marc de Montigny  
**Date**                    Jeudi, 10 octobre 2013, de 14h30 à 15h50

**Instructions**

- Ce cahier contient **7 pages**. Écrivez-y directement vos réponses.
- L'examen contient **15 points** et vaut **15%** de la note finale du cours.
- L'examen contient **8 problèmes**. Vous pouvez obtenir une partie des points même si votre réponse finale n'est pas correcte.
- Cet examen est à livre fermé. Vous pouvez utiliser l'aide-mémoire que vous aurez imprimé et complété.
- Vous pouvez utiliser le verso des pages pour vos calculs. **Je ne le corrigerai pas**, sauf si vous m'indiquez de le faire.
- Matériel permis: crayons ou stylos, calculatrices (programmables et graphiques permises). Les assistants numériques (en anglais, *PDA*s) ou autres moyens de communication sont interdits. Mettez vos téléphones cellulaires hors circuit.

**Si quelque chose n'est pas clair, n'hésitez pas à me le demander!**

**Question 1. [2.0 points] Modèle exponentiel.** Selon Statistiques Canada, la population de l'Alberta était de 939 501 en 1951 et de 2 974 807 en 2001. Si on utilise le *modèle exponentiel*,

- A. quelle était la population en 1976 ?
- B. quelle sera-t-elle en 2021 ?

**Solution**

Avec  $t = 0$  en 1951, on a  $t = 50$  (années) en 2001

$$N(t) = N_0 e^{kt} \text{ donne } k = \frac{1}{t} \ln \frac{N(t)}{N_0} = \frac{1}{50} \ln \frac{2974807}{939501} = 0.023051711 \text{ année}^{-1}$$

- A. En 1976,  $N(25) = 939501 e^{k(25)} = 1\,671\,776$  personnes (la population réelle en 1976 était 1 838 035...)
- B. En 2021,  $N(70) = 939501 e^{k(70)} = 4\,717\,190$  personnes

**Question 2. [1.0 point] Modèle exponentiel et temps de doublement.** Entre 2000 et 2005, la production de gaz naturel au Mexique a augmenté avec un taux de croissance  $R$  égal à environ 2% par année.

- A. Quelle était la constante de croissance  $k$  ?
- B. Quel était le temps de doublement  $T_2$  ?

**Solution**

- A. La relation entre  $R$  et  $k$  est  $e^k = 1 + \frac{R}{100}$ , qui donne  $k = \ln(1.02) = 0.0198$  année<sup>-1</sup>
- B.  $T_2 = \frac{\ln 2}{k} = 35$  années

[suite à la page suivante]

**Question 3. [3.5 points] Modèle de Hubbert pour la production de pétrole.**

Considérez l'information suivante décrivant la production de pétrole au Canada:

(1) production cumulative à la fin de 2005 = 179 EJ,

(2) taux de production en 2005 = 6.09 EJ/année,

(3) ressources restantes à la fin de 2005 = 1350 EJ.

Le tableau de la fonction gaussienne est à la page 7.

En utilisant le modèle de Hubbert, prédisez

- A. l'année où la production sera maximale,
- B. le taux de production (en EJ/année) pendant l'année de production maximale,
- C. l'année où il restera 30% de la ressource.

**Solution**

A. Ressource totale =  $Q_{\infty} = 179 + 1350 \text{ EJ} = 1529 \text{ EJ}$

Taux de production en 2005 =  $N = 6.09 \text{ EJ/année}$

Quantité produite en 2005 = 179 EJ

Fraction produite en 2005 =  $179/1529 = 0.11707$

C'est la fraction de la surface de gauche de la courbe; la partie centrale de la courbe couvre donc

$1 - 2(0.11707) = 0.766$ . Le Tableau 3-1 donne  $z = 1.19$ .

$$\sigma = \frac{Q_{\infty}}{N\sqrt{2\pi}} e^{-z^2/2} = \frac{1529}{6.09\sqrt{2\pi}} e^{-1.19^2/2} = 49.34 \text{ années.}$$
 Comme 2005 n'est qu'à 0.11707,

le pic est donc à droite de 2005:  $T_M = t + z\sigma = 2005 + (1.19)(49.34) = 2063$

B. 
$$N_M = \frac{Q_{\infty}}{\sigma\sqrt{2\pi}} = \frac{1529}{49.34\sqrt{2\pi}} = 12.36 \text{ EJ/année}$$

C. Avec 30% (ou 0.30) sous la partie droite de la courbe, il reste donc 0.40 sous la partie centrale: le Tableau 3-1 nous donne alors  $z = 0.524$ . Nous sommes alors à droite du pic, de sorte que  $t = T_M + z\sigma = 2064 + (0.524)(49.34) = 2088$

[suite à la page suivante]

**Question 4. [2.0 points] Population mondiale et modèle logistique.** En 1994, la population mondiale valait 5.606 milliards. Supposez que la population soit décrite par le *modèle de croissance logistique* avec un taux de croissance  $r = 0.02678$  année<sup>-1</sup> et une capacité maximale  $Q_\infty = 12.00$  milliards. Selon ce modèle, quelle sera la population mondiale

- A. en 2014 ?
- B. en 2044 ?

**Solution**

On prend  $t = 0$  en 1994.

$$Q = \frac{Q_\infty Q_0 e^{rt}}{Q_\infty + Q_0 (e^{rt} - 1)} = \frac{(12)(5.606)e^{(0.02678)t}}{12 + 5.606(e^{(0.02678)t} - 1)}, \text{ on obtient}$$

- A. en 2014,  $t = 20$  années et  $Q = 7.20$  milliards
- B. en 2044,  $t = 50$  années et  $Q = 9.24$  milliards

**Question 5. [1.5 point] Chaleur spécifique et chaleur latente.** Combien de chaleur, en joules, est nécessaire pour évaporer 2.35 kg d'eau, initialement à 15.0 °C ? (Remarques : il faut amener l'eau à son point d'ébullition avant de l'évaporer. La chaleur spécifique de l'eau est  $c = 4186$  J/(kg·K), et sa chaleur latente d'évaporation est  $L_v = 2.26 \times 10^6$  J/kg.

**Solution**

Pour l'amener au point d'ébullition, il faut  $Q_1 = mc\Delta T$  et pour l'évaporer, il faut  $Q_2 = mL_v$ . La chaleur totale requise est donc

$$mc\Delta T + mL_v = (2.35)(4186)(100 - 15) + (2.35)(2.26 \times 10^6) = 6.15 \text{ MJ}$$

[suite à la page suivante]

**Question 6. [1.5 point] Conduction thermique.** Considérez une fenêtre à vitrage triple (*triple-glazed window*) qui contient *trois vitres*, chacune d'épaisseur  $L_v = 0.950$  cm et de conductivité thermique  $k_v = 0.960$  W/(m·°C), séparées par *deux couches d'argon*, chacune d'épaisseur  $L_a = 0.120$  cm et de conductivité thermique  $k_a = 0.016$  W/(m·°C).

- A. Quel est le facteur  $R$ , en  $\text{m}^2 \cdot \text{°C}/\text{W}$  ?  
 B. S'il y a un écart de température de  $35.0$  °C entre les deux côtés de cette fenêtre, quelle quantité de chaleur traversera cette fenêtre, par seconde et par  $\text{m}^2$  ?

**Solution**

A. Les facteurs  $R$  sont donnés par  $R_v = \frac{L_v}{k_v}$  et  $R_a = \frac{L_a}{k_a}$ , et le facteur  $R$  total vaut

$$R_{total} = 3R_v + 2R_a = 3 \frac{L_v}{k_v} + 2 \frac{L_a}{k_a} = 3 \frac{9.5 \times 10^{-3}}{0.96} + \frac{2(1.2 \times 10^{-3})}{0.016} = 0.180 \text{ m}^2 \cdot \text{°C}/\text{W}$$

B. Le taux de transfert de chaleur est donné par  $P = \frac{A \Delta T}{R_{total}}$ . La chaleur par unité de temps

par unité de surface est donc  $\frac{P}{A} = \frac{\Delta T}{R_{total}} = \frac{35}{0.105} = 194 \text{ W}/\text{m}^2$ .

**Question 7. [2.0 points] Réfrigérateurs.** Un réfrigérateur effectue un travail de  $450$  J afin de retirer  $112$  J de son intérieur.

- A. Combien de chaleur est alors libérée dans la cuisine ?  
 B. Quelle est le coefficient de performance (COP) du réfrigérateur ?  
 C. Quelle est l'efficacité thermique  $\eta$  du réfrigérateur ?

**Solution**

A.  $Q_h = W + Q_c = 450 + 112 = 562 \text{ J}$

B.  $COP = \frac{Q_c}{W} = \frac{112}{450} = 0.249$

C.  $\eta = \frac{W}{Q_h} = \frac{W}{W + Q_c} = \frac{1}{1 + COP} = \frac{1}{1.249} = 80.1\%$

[suite à la page suivante]

**Question 8. [1.5 point] Moteur automobile et essence.** Une automobile fonctionne avec de l'essence dont la valeur calorifique vaut  $q = 3.16 \times 10^7 \text{ J/L}$ . Si sa puissance d'entrée est  $P_{fi} = 65 \text{ kW}$ , quelle sera sa consommation d'essence, en L par 100 km, si elle roule à une vitesse de 120 km/h ?

**Solution**

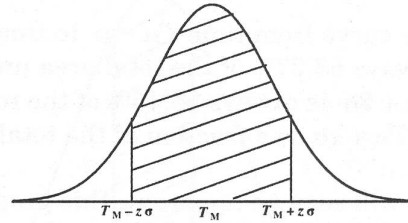
Si  $e$  est la consommation du véhicule, en L/km, on a  $P_{fi} = qve$ , de sorte que

$$e = \frac{P_{fi}}{qv} = \frac{(65000 \text{ J/s})(3600 \text{ s/h})}{(3.16 \times 10^7 \text{ J/L})(120 \text{ km/h})} = 0.0612 \text{ L/km} = 6.17 \text{ L/100km}.$$

**Bonne chance !**

**Table 3-1**  
**Integral of the Gaussian Function vs. z**

This table gives the integral of the Gaussian function from  $T_M - z\sigma$  to  $T_M + z\sigma$ , shown as the shaded area to the right, as a decimal fraction of the total area under the function.



z	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
0.0	.0	.0080	.0160	.0239	.0319	.0399	.0478	.0558	.0638	.0717
0.1	.0797	.0876	.0955	.1034	.1113	.1192	.1271	.1350	.1428	.1507
0.2	.1585	.1663	.1741	.1819	.1897	.1974	.2051	.2128	.2205	.2282
0.3	.2358	.2434	.2510	.2586	.2661	.2737	.2812	.2886	.2961	.3035
0.4	.3108	.3182	.3255	.3328	.3401	.3473	.3545	.3616	.3688	.3759
0.5	.3829	.3899	.3969	.4039	.4108	.4177	.4245	.4313	.4381	.4448
0.6	.4515	.4581	.4647	.4713	.4778	.4843	.4907	.4971	.5035	.5098
0.7	.5161	.5223	.5285	.5346	.5407	.5467	.5527	.5587	.5646	.5705
0.8	.5763	.5821	.5878	.5935	.5991	.6047	.6102	.6157	.6211	.6265
0.9	.6319	.6372	.6424	.6476	.6528	.6579	.6629	.6680	.6729	.6778
1.0	.6827	.6875	.6923	.6970	.7017	.7063	.7109	.7154	.7199	.7243
1.1	.7287	.7330	.7373	.7415	.7457	.7499	.7540	.7580	.7620	.7660
1.2	.7699	.7737	.7775	.7813	.7850	.7887	.7923	.7959	.7995	.8029
1.3	.8064	.8098	.8132	.8165	.8198	.8230	.8262	.8293	.8324	.8355
1.4	.8385	.8415	.8444	.8473	.8501	.8529	.8557	.8584	.8611	.8638
1.5	.8664	.8690	.8715	.8740	.8764	.8789	.8812	.8836	.8859	.8882
1.6	.8904	.8926	.8948	.8969	.8990	.9011	.9031	.9051	.9070	.9090
1.7	.9109	.9127	.9146	.9164	.9181	.9199	.9216	.9233	.9249	.9265
1.8	.9281	.9297	.9312	.9327	.9342	.9357	.9371	.9385	.9399	.9412
1.9	.9426	.9439	.9451	.9464	.9476	.9488	.9500	.9512	.9523	.9534
2.0	.9545	.9556	.9566	.9576	.9586	.9596	.9606	.9615	.9625	.9634
2.1	.9643	.9651	.9660	.9668	.9676	.9684	.9692	.9700	.9707	.9715
2.2	.9722	.9729	.9736	.9743	.9749	.9756	.9762	.9768	.9774	.9780
2.3	.9786	.9791	.9797	.9802	.9807	.9812	.9817	.9822	.9827	.9832
2.4	.9836	.9840	.9845	.9849	.9853	.9857	.9861	.9865	.9869	.9872
2.5	.9876	.9879	.9883	.9886	.9889	.9892	.9895	.9898	.9901	.9904
2.6	.9907	.9909	.9912	.9915	.9917	.9920	.9922	.9924	.9926	.9929
2.7	.9931	.9933	.9935	.9937	.9939	.9940	.9942	.9944	.9946	.9947
2.8	.9949	.9950	.9952	.9953	.9955	.9956	.9958	.9959	.9960	.9961
2.9	.9963	.9964	.9965	.9966	.9967	.9968	.9969	.9970	.9971	.9972
3.0	.9973									
3.5	.9995									
4.0	.9999									