

# ORDRE DES INGÉNIEURS DU QUÉBEC

SESSION MAI 2013

Toute documentation permise

Calculatrices: Seulement des modèles autorisés sont permis

Durée de l'examen: 3 heures

## Examen 04-ENV-A6 : Génie et gestion des déchets solides

### 1. Concepts fondamentaux (20 points)

- 1.1. (5 points) La demande biologique en oxygène (DBO) d'un échantillon de lixiviat provenant d'un site d'enfouissement sanitaire a été mesurée à 1800 mg/L. Quelle est la  $DBO_5$  si le taux spécifique de la réaction DBO est  $0.09\text{ d}^{-1}$ ?
- 1.2. (3+2 points) Cycle hydrologique d'un site d'enfouissement: Calculer le taux d'infiltration dans la couche du sol d'un site d'enfouissement d'une section de  $100\text{ cm}^2$ , ayant une profondeur d'eau souterraine de 25cm and une conductivité hydraulique de  $10^{-7}\text{ cm/s}$ . Expliquer les phénomènes de la 'évapotranspiration' et du 'ruissellement de surface' et ce dont vous avez besoin pour les quantifier.
- 1.3. (5 points) De quoi avez-vous besoin pour calculer le diamètre d'un pipeline de transport des eaux usées, si le débit volumique est de  $5\text{ m}^3/\text{s}$  et la vitesse maximale permise de  $0.4\text{ m/s}$ ? Est-ce que ce calcul est influencé de la charge des eaux usées en solides suspendus et pourquoi?
- 1.4. (5 points) Expliquer l'utilité des valeurs statistiques 'Moyenne' et 'Écart type' dans le cas de données distribuées normalement pour valider les mesures et les conclusions d'une étude.

### 2. Valorisation énergétique de déchets solides (30 points)

Une ville a une population de 700 000 habitants. Chaque habitant produit quotidiennement 1.3kg de matières résiduelles (moyenne annuelle). 55% de la masse de ces dernières est recyclée, 25% est valorisée énergétiquement par gazéification+reformage, 15% est envoyé dans un lieu d'enfouissement sanitaire et 5% est composté. La composition moyenne des matières valorisées énergétiquement par gazéification est: 75% matières combustibles, 5% inorganiques inertes et 20% d'humidité. La gazéification a lieu avec de l'air équivalent à 32% d'oxygène stoechiométrique. Voici quelques données et hypothèses additionnelles :

- On peut approximer la composition des matières gazéifiables par la formule  $\text{C}_{12}\text{H}_{20}\text{O}_{10}\text{N}_{0.15}\text{S}_{0.02}$ .
- Le soufre se transforme en  $\text{H}_2\text{S}$  et l'azote en  $\text{N}_2$ .
- La gazéification+reformage a les caractéristiques suivantes :
  - 8% w/w des déchets sont transformés en solides riches en carbone; on peut appliquer l'hypothèse que ces solides ne contiennent que du carbone et les inorganiques inertes.

- 92% w/w des déchets sont transformés en gaz qui, mis à part le  $N_2$  et le  $H_2S$ , est composé de  $CO$ ,  $H_2$ ,  $CO_2$  et  $CH_4$  à ratios molaires 1/0.5/0.3/0.05.
- 2.1. (5 points) Estimez la quantité annuelle des solides riches en carbone et des liquides.
  - 2.2. (10 points) Si le pouvoir calorifique supérieur du liquide est de 7 MJ/kg quelle est la puissance thermique disponible?
  - 2.3. (10 points) Quelle est la quantité de gaz à effet de serre (exprimé en  $CO_2$  équivalent) émise par année si 1/3 du carbone des déchets est convertie en  $CO_2$  et 1/20 en  $CH_4$ ? Note: Si vous ne pouvez pas calculer le débit de sortie de la gazéification+reformage faites votre calcul sur une base arbitraire.
  - 2.4. (5 points) Utilisez des règles de pouce pour estimer grossièrement la production de biogaz provenant des matières enfouies au site d'enfouissement sanitaire. Combien d'énergie thermique pourrait-elle être récupérée de ce biogaz?
3. Compostage anaérobie (20 points)
- Tel qu'indiqué à la Question 2, cette ville opère un centre de compostage pour le 15% w/w de ses déchets. Les données suivantes sont disponibles:
- Composition :
    - 75% des matières solides sèches est compostable (matières putrescibles)
    - L'humidité moyenne des matières reçues au centre de compostage est de 45% w/w.
    - La composition globale de la partie 'matières solides sèches compostables' est approximée par la formule :  $C_{13}H_{28}O_{12}N_{0.15}S_{0.02}$ .
  - Sous ces conditions anaérobies ces putrescibles sont décomposées en  $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $H_2O$ ,  $H_2S$  et  $NH_3$ . Le ratio molaire  $CO_2/CH_4$  est en moyenne égal à 0.9.
- 3.1. (13 points) Estimez la quantité annuelle et la composition du biogaz produit à pression atmosphérique (760mmHg) et 15°C.
  - 3.2. (7 points) Si la chaleur de combustion de  $CH_4$  à ces conditions est de 890 MJ/kmol  $CH_4$ , et que cette énergie est convertie en électricité avec une efficacité avec une efficacité de 38% calculer la puissance moyenne disponible en  $MW_{th}$ .
4. Sites d'enfouissement sanitaire (15 points)
- 4.1. (5 points) En utilisant la méthode de décroissance de 1er ordre, estimez la génération annuelle de gaz d'un site d'enfouissement sanitaire ayant les caractéristiques suivantes:
    - Site ouvert depuis 30 ans.
    - Site actuellement en opération et recevant à un rythme annuel de 25 000tn/year.

Note: Faites des hypothèses raisonnables pour les valeurs 'k' et 'L<sub>0</sub>'.
  - 4.2. (5 points) Quels principes physiques et biologiques sont impliqués lors de l'opération d'un filtre du type 'lit percolateur' (trickling) et d'un système de traitement par 'bassin anaérobie' (anaerobic pond).
  - 4.3. (5 points) Quelle est la technique la plus communément utilise pour enlever des métaux lourds solubles d'un lixiviat? Décrivez brièvement les 3 modules de traitement en série utilisée lors de l'application de cette technique.

5. Déchets dangereux et sites contaminés (15 points)

- 5.1. (4 points) Décrivez la méthode de stabilisation par vitrification Quels sont les principaux avantages et les inconvénients de cette méthode?
- 5.2. (6 points) Donnez un croquis d'un système du type 'Injection en puits profonds' (deep well injection) and expliquer brièvement ses composantes.
- 5.3. (5 points) Quelles sont les caractéristiques d'un site d'enfouissement de déchets dangereux? Quels sont les avantages et les inconvénients de cette technique?