ORDRE DES INGÉNIEURS DU QUÉBEC

SESSION DE NOVEMBRE 2019

- Toute documentation permise
- Calculatrice : modèles autorisés seulement
- Durée de l'examen : 3 heures
- Quatre (4) feuilles millimétrées requises

16-CH-A7 Génie biochimique (total: 100 points)

QUESTION 1 (7,5+7,5+7,5+5+7,5+5 = 40 points): Détermination d'une cinétique enzymatique (papier millimétré requis)

Les données suivantes ont été obtenues lors de la mesure de la vitesse de réaction, r (mM/min), d'une enzyme en fonction de différentes concentrations en substrat limitant, S (mM), pour une concentration enzymatique E = 10 mM.

S (mM)	r (mM/min)
0	0
100	97
200	144
500	173
1000	147
2000	100

a) À partir d'un graphe de r vs S, identifiez le type de cinétique de cette enzyme;

b) Par une mise en forme graphique appropriée de ces données, identifiez la valeur de la vitesse maximale de réaction, r_{max}, et de la constante d'affinité, K_S, de cette cinétique;

c) Par une autre mise en forme graphique appropriée, identifiez la valeur de la constante d'inhibition K_i;

d) Pour prédire l'évolution de S en fonction du temps dans un système cuvée (batch), écrivez le bilan molaire transitoire pour S en système fermé;

e) Développez et obtenez une solution S=f(t) non-explicite à partir de (d);

f) Pour une concentration initiale en substrat de 2000 mM, calculez le temps requis pour obtenir une conversion de 95%, à partir de la relation développée en (e).

QUESTION 2 (5+7,5+7,5+5 = 25 points): Réacteur enzymatique en cuvée alimentée

Pour l'enzyme décrite ci-dessus, en (1), vous planifiez une réaction en cuvée alimentée (fed-batch) à une concentration enzymatique de 20 mM, supposée constante. Pour ce faire, vous voudrez maintenir constante la concentration en substrat, S, à la valeur permettant une vitesse de réaction maximale, en alimentant le réacteur à un taux d'alimentation qui va permettre d'équilibrer cette alimentation avec la consommation de S.

a) Déterminez la valeur de S pour laquelle la vitesse de réaction sera maximale, S_{opt} (attention cette vitesse n'est pas la r_{max} déterminée en 1); Calculez r_{opt} correspondant à S_{opt};

b) Faites les bilans nécessaires (sur le volume et sur le substrat) pour développer les équations qui vous permettront de prédire le fonctionnement de la cuvée alimentée;

c) Pour un réacteur d'un volume initial V_0 = 1L, opérant à la concentration de substrat déterminée en (a), calculez le débit volumétrique initial, F_0 en ml/min, auquel il faudra alimenter une solution de concentration en S, S_{in} = 1500 mM pour garder S constant dans le réacteur;

d) En supposant que la réaction sera terminée lorsque le volume de liquide sera égal à 10 V_0, calculez le temps requis pour atteindre ce volume.

QUESTION 3 (5+5+5+5+5+5+5 = 35 points): Opération d'une fermentation en réacteur parfaitement agité et continu (CSTR) (papier millimétré requis)

Un fermenteur est opéré selon un mode parfaitement agité et continu, en régime permanent. Le micro-organisme fermenté obéit à une relation de croissance de type inhibée par le substrat (Haldane), dont la forme correspond à:

$$\boxed{\mu = \frac{\mu_{MAX} \cdot S}{K_S + S + \frac{S^2}{K_i}}}$$

où μ est le taux spécifique de croissance (h^{-1}), μ_{MAX} = 0,7 h^{-1}, le taux spécifique de croissance maximum, K_S = 10 g/L est la constante de saturation, K_i = 50 g/L est la constante d'inhibition et S (g/L) la concentration en substrat limitant. Pour une alimentation concentrée en substrat, S_{in} = 300 g/L, dont le débit volumétrique est F (L/min) et un volume de réacteur V (L):

a) Faites un bilan sur la masse de micro-organisme, dont la concentration est X (g/L) et tirez-en une relation entre μ et D, le taux de dilution (D = F/V);
b) Tracez la courbe d'opération du CSTR (S vs D). Quelle conclusion importante pouvez-vous tirer de cette courbe pour une cinétique de type Haldane, à un D donné?
c) Faites un bilan sur la masse de substrat dans le CSTR. Connaissant le coefficient de rendement micro-organisme/substrat, $Y_{X/S}$ = 0,3, tracez la courbe de la concentration en micro-organisme, X, sur le graphe en (b);
d) Identifiez le taux de dilution de lavage, $D_{wash\text{-}out}$;
e) Calculez et tracez la courbe de la productivité en micro-organisme (D*X) en $g \cdot L^{-1} \cdot h^{-1}$ sur la courbe d'opération (en b et c);
f) Identifiez quelles conditions d'opération permettrait une productivité maximale;
g) Décrivez comment ce CSTR devrait être opéré pour maintenir les meilleures conditions d'opérations possibles.