

ORDRE DES INGÉNIEURS DU QUÉBEC

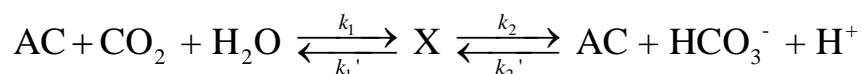
SESSION DE NOVEMBRE 2014

- Toute documentation permise
- Calculatrice: modèles autorisés seulement
- Durée de l'examen: 3 heures
- Deux (2) feuilles de papier millimétré requises

14-AL-B2 Génie biochimique

QUESTION 1 (5+5+5+5+5 = 25 points): réaction enzymatique réversible

Vous êtes intéressés à développer un processus enzymatique homogène en phase aqueuse pour la capture du CO_2 , basé sur l'utilisation de l'anhydrase carbonique (AC) qui produit du bicarbonate (HCO_3^-) à partir de dioxyde de carbone d'une manière réversible:



où X est le complexe enzyme-substrat. Pour réussir ce projet, vous avez besoin d'une bonne relation cinétique. En supposant que chaque étape de ce processus suit une loi cinétique élémentaire, développez une relation cinétique globale, fonction de la concentration enzymatique totale, $[\text{AC}]_{\text{tot}} = [\text{AC}] + [\text{X}]$.

- Écrivez un bilan molaire pour la forme libre de l'enzyme, AC, en supposant un processus cuvée en système monophasique;
- En supposant un régime pseudo-permanent pour l'espèce enzymatique (i.e. $d[\text{AC}]/dt \approx 0$), simplifiez la relation développée en (a) pour obtenir une relation entre les deux formes sous laquelle est présente l'enzyme (AC et X);
- Étant donné que la vitesse de réaction (r) pertinente dans ce procédé est celle de l'enlèvement du CO_2 :

$$r = k_1 \cdot [\text{AC}][\text{CO}_2] \cdot [\text{H}_2\text{O}] - k_1' \cdot \text{X}$$

Simplifiez cette relation pour qu'elle ne dépende plus que d'une forme de l'enzyme (AC ou X);

- Utilisant le bilan molaire entre les différentes formes de l'enzyme, exprimez l'équation obtenue en (c) en termes de $[\text{AC}]_{\text{tot}}$;
- À partir de l'équation développée en (d), trouvez la relation entre les concentrations de réactifs et de produits à l'équilibre (i.e. quand $r = 0$)

QUESTION 2 (5+5+5+5+5 = 25 points): Cinétique microbienne (feuille de papier millimétré #1)

Les données ci-dessous ont été obtenues durant une fermentation en cuvée d'un micro-organisme particulièrement intéressant pour la production d'éthanol.

t (h)	X (g/L)	S (g/L)
0	0,1	25,0
2	0,3	24,4
4	0,8	22,5
6	2,3	17,1
8	6,4	1,9
10	6,9	0,0

Où t est le temps, X et S sont les concentrations en micro-organisme et en substrat limitant, respectivement. Vous voulez analyser ces données.

- Y-a-t-il une période de latence lors de cette fermentation?
- Quel est le type de cinétique qui contrôle la croissance de ce micro-organisme? Quels sont le(s) paramètre(s) de cette cinétique?
- Est-ce que le coefficient de rendement cellule-substrat ($Y_{x/s}$) de cette fermentation est constant? Si oui, quel est la valeur de ce paramètre?
- Si la consommation de substrat était en partie due à la maintenance des micro-organismes, est-ce que cela serait visible sur ces graphes et si oui, comment?
- Si l'éthanol produit durant cette fermentation l'était de manière associée à la croissance du micro-organisme, avec un coefficient de rendement produit-cellules $Y_{p/x} = 0,5$, quel serait la concentration en éthanol à la fin de cette fermentation (t = 10 h)?

Note: tracez tous les graphes utiles pour répondre aux questions (a) à (c) (2 graphes requis, sur une feuille quadrillée).

QUESTION 3 (3+2+5+5+5+5+5 = 30 points): Simulation d'une cuvée alimentée

Votre projet consiste à simuler l'évolution d'une cuvée alimentée pour une bactérie productrice d'acétone dont la cinétique est de type Haldane (i.e. inhibée par le substrat), dont les paramètres sont:

$$\mu_{\max} = 0,007 \text{ min}^{-1}$$

$$Y_{x/s} = 0,3 \text{ g/g}$$

$$K_i = 12 \text{ g/L}$$

$$K_s = 3 \text{ g/L}$$

$$Y_{p/x} = 0,2 \text{ g/g}$$

La phase de latence, la consommation de substrat pour maintenance, le transfert de masse et l'inhibition par le produit sont négligeables. La production d'acétone est strictement associée à la croissance.

La fermentation démarrera à un volume de 250 L, une concentration en micro-organismes de 0,5 g/L et sera alimentée par une solution concentrée en substrat de $[S]_{\text{in}} = 400 \text{ g/L}$. Le volume final de cette fermentation (V_{final}) sera de 500 L. Votre objectif

consistera à simuler cette fermentation de manière à obtenir un rendement en produit maximal.

- Identifiez la concentration en substrat dans le fermenteur à laquelle le taux de production spécifique sera le plus grand;
- Quel programme d'alimentation de la solution concentrée allez-vous utiliser pour maintenir la concentration optimale en substrat identifiée en (a) tout au long de la fermentation? Pensez-vous qu'un débit constant de cette alimentation permettrait d'atteindre cet objectif? Si non, quelle tendance devrait suivre cette alimentation?
- Faites un bilan différentiel sur le volume dans le fermenteur et solutionnez cette équation dans la mesure du possible;
- Faites un bilan différentiel sur la quantité totale de micro-organismes dans le fermenteur ($X \cdot V$) et résoudre en considérant cette quantité comme une variable composée;
- Faites un bilan différentiel sur la quantité totale de substrat dans le fermenteur. Posez les hypothèses adéquates et solutionnez cette équation de manière à proposer une fonction, un programme, dépendant uniquement des constantes et du temps pour le débit de la solution concentrée d'alimentation (F);
- Suivant cette approche, quelle serait la valeur initiale de F ?
- Quelle quantité totale d'acétone sera produite durant cette cuvée alimentée?

QUESTION 4 (5+5+5+5 = 20 points): Fermentation en chemostat (feuille millimétrée # 2)

On vous fournit ces données concernant la fermentation d'un micro-organisme très intéressant permettant d'atteindre de très hautes densités cellulaires. À partir de ces données, obtenues en chemostat opéré en régime permanent pour différents taux de dilution (D , en jour^{-1}), concentration en substrat limitant (S) et concentration en biomasse (X):

D (j^{-1})	S (g/L)	X (g/L)
1,5	1	90
2,4	300	0
3,3	200	30
5,4	5	89
5,4	100	60
7,6	10	87
7,6	50	75
8,8	20	84

- Tracez le graphe d'opération de ce chemostat (X et S vs D);
- Déterminez le taux de dilution de lavage, la concentration en substrat dans l'alimentation et le rendement cellule/substrat ($Y_{X/S}$);
- Déterminez la cinétique de croissance de ce microorganisme et estimez-en la valeur des paramètres;
- Qu'est-ce qui rend l'opération d'un chemostat particulièrement difficile pour la culture d'un microorganisme avec ce type de cinétique de croissance?