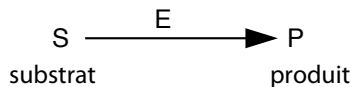


Les enzymes

DÉFINITION

- Les enzymes (E) sont des protéines qui catalysent des réactions biologiques dans lesquelles un substrat est transformé en produit.
- Ce sont les catalyseurs du monde vivant.



STRUCTURE DES ENZYMES

- Les enzymes sont en général des protéines globulaires.
- Le **site actif** est formé d'un **site de fixation** et d'un **site catalytique** (Fig. 43.1) :
 - le site de fixation reconnaît la structure du substrat et détermine l'affinité et la spécificité de la réaction ;
 - le site catalytique permet la transformation du substrat en produit et détermine la vitesse de la réaction.

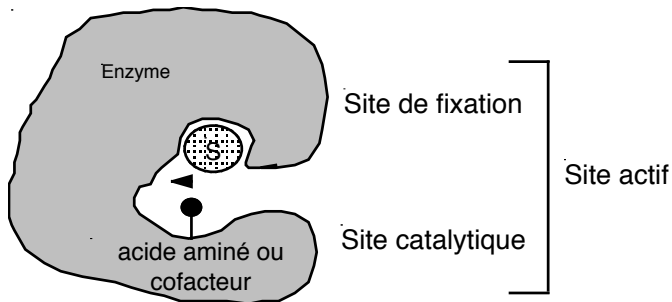


Fig. 43.1 – Représentation schématique d'une enzyme.

- Ces deux domaines sont constitués d'acides aminés éloignés dans la structure primaire mais proches dans la structure 3D. La dénaturation de l'enzyme entraîne son inactivation.
- Certaines enzymes ne sont constituées que d'une partie protéique qui assure à la fois la reconnaissance du substrat et sa transformation. La catalyse acido-basique met en jeu des acides aminés ionisés au site actif (Lys, Asp, Glu, Arg, His) ou polaires (Ser, Cys).
- D'autres comprennent une partie protéique (apoenzyme) spécifique de la fixation du substrat et une partie non protéique (groupement prosthétique, cofacteur ou coenzyme) spécifique de la réaction catalysée.
- Des ions métalliques (Ca^{++} , Mg^{++} , Zn^{++}) peuvent être nécessaires à la réaction (métalloenzymes).

COENZYMES ET GROUPES PROSTHÉTIQUES

COENZYMES REDOX

- Les réactions catalysées par les déshydrogénases utilisent comme coenzyme des transporteurs de protons et d'électrons.
- Ils possèdent un noyau flavinique comme le FAD et FMN ou nicotinamide comme le NAD^+ et le NADP^+ .

COENZYMES DE TRANSFERT DE GROUPE (Tab. 43.1)

- Leur fixation sur les substrats polarise et fragilise les liaisons à hydrolyser.
- Ces molécules sont pour la plupart dérivées de vitamines.

Coenzyme	Vitamine	Principaux types de réactions catalysées
Pyridoxal phosphate (PLP)	Vitamine B6 (pyridoxine)	Transamination des acides aminés Décarboxylation des acides aminés Déamination des acides aminés
Thiamine pyrophosphate (TPP)	Vitamine B1 (thiamine)	Décarboxylation des α -cétoacide Transcétolisation
Coenzyme A (CoASH)	Vitamine B5 (acide panthothénique)	Transfert de groupe acétyle, acyle
Tétrahydrofolate (THF)	Vitamine B9 (acide folique)	Transfert de groupe méthyle
Biotine	Vitamine B8 (vit.H)	Carboxylation
Acide lipoïque	–	Transfert de groupe acyle

Tab. 43.1 – Coenzymes de transfert de groupes.

- **NB** : pour les structures et les réactions catalysées, se reporter à la partie I.

ÉNERGIE D'ACTIVATION

- La vitesse de la réaction dépend d'un paramètre qui est l'énergie d'activation ΔG^* ou énergie de translation (Fig. 43.2).
- Les enzymes augmentent la vitesse de la réaction en diminuant la valeur de ΔG^* . Elles ne modifient pas la valeur de ΔG (variation d'énergie libre ou enthalpie de la réaction) qui ne dépend que de l'état initial et de l'état final.

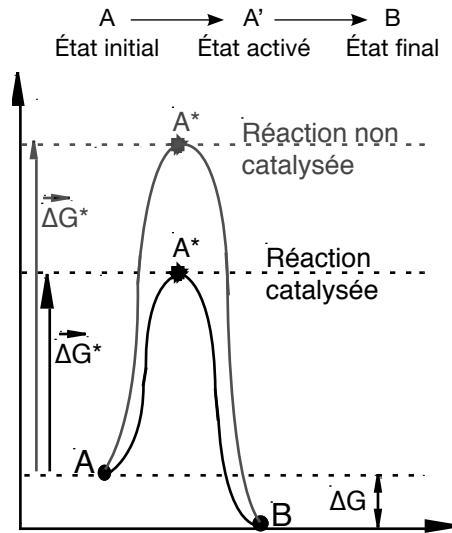


Fig. 43.2 – Les enzymes facilitent les réactions en abaissant l'énergie d'activation.

ACTIVITÉ ENZYMATIQUE

- L'activité de l'enzyme détermine la vitesse de la réaction. Lorsque le substrat est en excès par rapport à l'enzyme, l'apparition du produit (ou la disparition du substrat) est linéaire au cours du temps (Fig. 43.3). C'est pendant cette phase que l'activité de l'enzyme est mesurée expérimentalement.

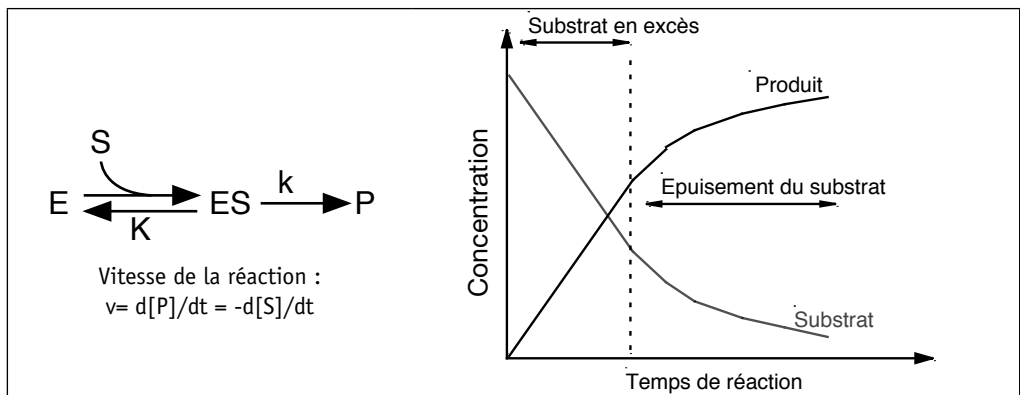


Fig. 43.3 – Cinétique enzymatique. Évolution des concentrations en substrat (S) et produit (P) au cours du temps.

- **Unité internationale d'activité (UI)** : une unité est la quantité d'enzyme transformant une μmole de substrat par minute dans les conditions optimales de dosage.
- **Katal** : en pratique médicale, l'activité enzymatique est exprimée en mole de substrat transformé par seconde. L'unité usuelle est le nanokatal (une nanomole de substrat transformé par seconde (1 UI = 16,6 nanokatal)).
- **Activité spécifique (AS)** : nombre d'unités d'activité par unité de masse (UI/mg de protéine). L'activité spécifique caractérise une préparation d'enzyme partiellement purifiée.
- **Activité spécifique moléculaire (ASM)** : nombre de moles de substrat transformé par mole d'enzyme et par seconde. C'est une caractéristique de l'enzyme et ne peut se calculer que si la préparation enzymatique est pure. L'ASM correspond à la constante catalytique (k_{cat}) ou *turn over* de la réaction et s'exprime en seconde^{-1} .

NOMENCLATURE ET CLASSIFICATION

- Le nom de l'enzyme indique à la fois le substrat et la réaction catalysée :
 - *glucose-6 phosphatase* : l'enzyme hydrolyse la liaison ester-phosphate en C-6 du glucose ;
 - *glucokinase* : l'enzyme transfère un groupe phosphate de l'ATP au glucose.
- La Commission des enzymes (*Enzyme Commission*) a établi une classification qui attribue à chaque enzyme un nombre à quatre chiffres (E.C. X.X.X.X, Fig. 43.4) en fonction :
 - de la réaction chimique ;
 - de la classe de réaction ;
 - de la sous-classe ;
 - des caractéristiques de l'enzyme.

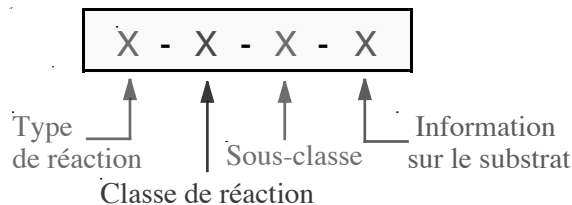


Fig. 43.4 – Nomenclature des enzymes.

TYPES DE RÉACTIONS CATALYSÉES

- EC 1 : oxydoréductases (catalysent les réactions d'oxydoréduction).
- EC 2 : transférases (transfèrent un groupement fonctionnel, un phosphate par exemple).
- EC 3 : hydrolases (catalysent la coupure de liaisons avec consommation de H_2O).
- EC 4 : lyases (catalysent la coupure de liaisons sans consommation de H_2O).
- EC 5 : isomérases (catalysent les réactions d'isomérisation dans une molécule).
- EC 6 : ligases (catalysent la formation de liaisons covalentes entre deux molécules).

Lactate déshydrogénase E.C 1.2.1.22			
1. Oxydoréductase	2. Agit sur la fonction aldéhyde ou oxo du donneur d'électrons	1. L'accepteur d'électrons est NAD ⁺ ou NADP ⁺	22. Le substrat est le lactate
Hexokinase E.C 2.7.1.1			
2. Transférase	7. Le groupe transféré est un phosphate	1. L'accepteur est une fonction alcool	1. Le substrat est un hexose
Trypsine E.C 3.4.21.4			
3. Hydrolase	4. Agit sur des liaisons peptidiques	21. Serine endopeptidase	4. Clivage préférentiel : Arg, Lys

Tab. 43.2 – Exemples de la classification des enzymes.

PROTÉASES

- Les protéases constituent une famille d'enzymes hydrolysant des peptides ou des protéines.
- On distingue les endoprotéases (trypsine, chymotrypsine, pepsine, thermolysine, papaïne...) clivant une liaison interne et les exoprotéases (carboxypeptidases, aminopeptidases) agissant à partir d'une des extrémités de la protéine.
- Selon le mécanisme au site actif, on les classe en sérine-protéases, thio-protéases, métalloprotéases et protéases acides.
- **Sérine-protéases** (ex. : trypsine, chymotrypsine) : le site actif est constitué de trois acides aminés formant la triade Asp, His, Ser (Fig. 43.5). Elles hydrolysent les liaisons amides (comme la liaison peptidique) mais aussi les esters.

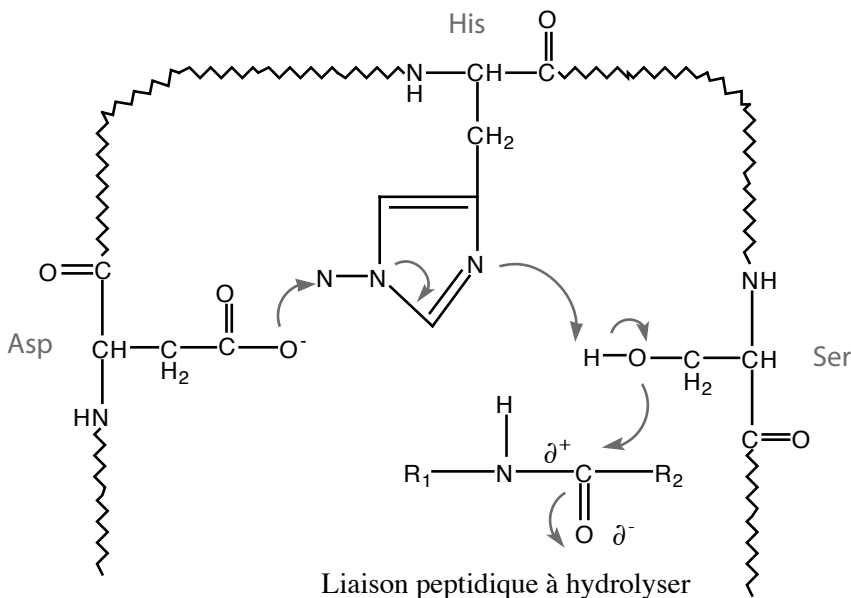


Fig. 43.5 – Mécanisme au site actif des sérine-protéases.

- Elles sont inactivées de façon irréversible par le di-isopropyl fluorophosphate (DIFP ou DFP) qui se lie de façon covalente au résidu sérine (Fig. 43.6).

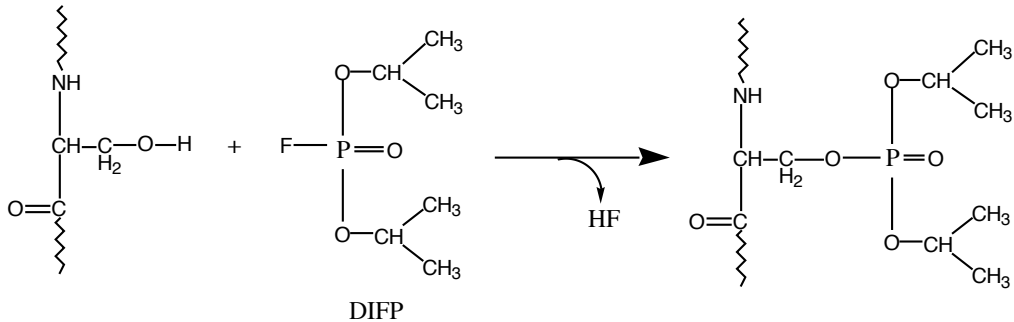


Fig. 43.6 – Inactivation des sérine-protéases par le DIFP.

- **Thio-protéases** (ex. : papaïne) : un résidu de cystéine à l'état réduit est impliqué au site actif. Elles sont inactivées par les réactifs des groupes thiols (N-éthyl maléimide, iodoacétate).
- **Métalloprotéases** (ex. : carboxypeptidase, DNase) : elles sont actives en présence d'ions métalliques, souvent Ca^{++} , Mg^{++} ou Zn^{++} . Elles sont inactivées en présence d'agents chélateurs comme l'EDTA, l'EGTA ou l'orthophénantroline.
- **Protéases acides** (ex. : pepsine) : un acide aspartique est indispensable à l'activité. Son remplacement par un autre acide aminé par mutagenèse dirigée inactive l'enzyme.

58. Concernant la synthèse protéique

- A. Le cycloheximide est un inhibiteur de la traduction
- B. Le cycloheximide est un inhibiteur de la transcription
- C. La substitution d'un nucléotide change le cadre de lecture
- D. La délétion d'un nucléotide change le cadre de lecture
- E. Une mutation non-sens peut être le résultat d'une transversion dans les codons de la tyrosine

ENZYMOLOGIE**59. Les enzymes sont les catalyseurs du monde vivant parce que :**

- A. Elles augmentent l'énergie d'activation des réactions
- B. Elles abaissent l'énergie d'activation des réactions
- C. Elles diminuent la variation d'enthalpie libre de réaction
- D. Elles augmentent la variation d'enthalpie libre de réaction
- E. Elles déplacent l'équilibre car la réaction est irréversible

60. Parmi les définitions ci-dessous utilisées pour définir l'activité d'une préparation d'enzyme, lesquelles sont correctes ?

- A. Une unité internationale (UI) est la quantité d'enzyme capable de catalyser la transformation d'une micromole de substrat en une minute
- B. Une unité internationale (UI) est la quantité d'enzyme capable de catalyser la transformation d'une mole de substrat en une seconde
- C. L'activité spécifique est exprimée en U/mole d'enzyme
- D. L'activité spécifique moléculaire augmente avec le degré de pureté d'une préparation d'enzyme
- E. Dans une réaction dont le k catalytique (k_{cat}) est 100 s^{-1} , une mole d'enzyme transforme 100 moles de substrat par seconde

61. On a purifié une enzyme à partir d'un lysat cellulaire. Le lysat initial contient 5 000 UI et 200 mg de protéine. La fraction purifiée contient 500 UI et 1 mg de protéine. On peut dire que :

- A. L'activité spécifique a été multipliée par 10
- B. L'activité spécifique a été multipliée par 20
- C. L'activité spécifique a été multipliée par 200
- D. Le rendement de purification est de 10 %
- E. Le rendement de purification est de 20 %

**62. Concernant la réaction (considérée dans le sens de la flèche) :
Dihydroxyacétone-phosphate → Glycérol 3-phosphate**

- A. On peut suivre l'avancement de la réaction par spectrométrie à 340 nm
- B. On peut suivre la disparition du substrat par spectrométrie à 260 nm
- C. L'enzyme est une déshydrogénase qui utilise le NADH comme cofacteur
- D. Dans l'organisme, la réaction se déroule dans le cytosol
- E. C'est une réaction de la néoglucogenèse

63. Concernant les enzymes michaeliennes

- A. K_M est spécifique de l'enzyme pour un substrat donné
- B. K_M augmente quand l'affinité diminue
- C. K_M augmente quand la concentration de substrat diminue
- D. Le K_M mesuré expérimentalement dépend de la concentration en enzyme
- E. K_M correspond à la vitesse de la réaction quand la moitié du substrat a été transformée en produit

64. Concernant la cinétique $[P] = f(t)$ des enzymes michaeliennes

- A. La phase préstationnaire correspond à la vitesse initiale
- B. La phase stationnaire correspond à la vitesse maximale
- C. La phase stationnaire correspond à la période pendant laquelle $[ES]$ est constante
- D. Le plateau correspond à la vitesse maximale
- E. Le plateau correspond à l'épuisement du substrat

65. Les LDH-1 et LDH-5 sont deux isoformes de la lactico-déshydrogénase dont les caractéristiques sont les suivantes :

Isoforme	Substrat : pyruvate	Substrat : lactate
LDH-1	$K_{Mpyr} = 0,1 \text{ mM}$	$K_{Mlact} = 0,08 \text{ mM}$
LDH-5	$K_{Mpyr} = 1 \text{ mM}$	$K_{Mlact} = 8 \text{ mM}$

On peut dire que :

- A. L'isoforme LDH-1 a moins d'affinité pour le pyruvate que l'isoforme LDH-5
- B. L'isoforme LDH-1 catalyse la réaction préférentiellement dans le sens Lactate → Pyruvate
- C. L'isoforme LDH-5 favorise la formation de lactate à faible concentration de pyruvate
- D. L'isoforme LDH-5 est compatible avec le métabolisme du pyruvate dans le muscle squelettique
- E. L'isoforme LDH-1 est compatible avec le métabolisme du pyruvate dans le cœur

66. On considère les représentations graphiques A et B ci-dessous dans lesquelles les courbes 1 représentent l'activité d'une enzyme en absence d'effecteur.

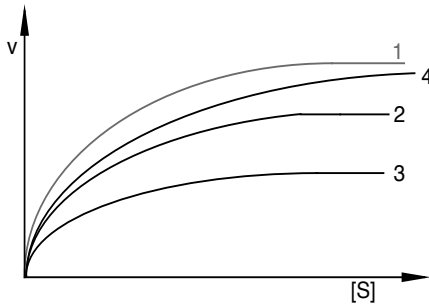


Figure A

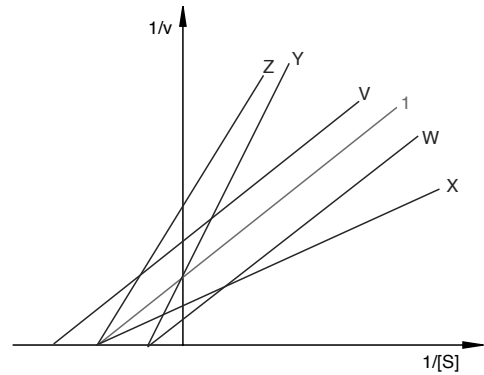


Figure B

Quelles sont les propositions exactes concernant la figure A ?

- A. La courbe 2 est obtenue en présence d'un inhibiteur compétitif
- B. La courbe 4 est obtenue en présence d'un inhibiteur compétitif
- C. La courbe 2 est obtenue en présence d'un inhibiteur non compétitif
- D. La courbe 4 est obtenue en présence d'un inhibiteur non compétitif
- E. La courbe 3 est obtenue en absence d'inhibiteur avec une concentration en enzyme $E' = E/2$

67. Quelles sont les propositions exactes concernant la figure B ?

- A. Le composé Y est un inhibiteur compétitif
- B. Le composé X est un inhibiteur non compétitif
- C. Le composé Z est un inhibiteur non compétitif
- D. Le composé V est un inhibiteur incompétitif
- E. Le composé W est un inhibiteur incompétitif

68. Soit une réaction catalysée par une enzyme michaelienne E d'affinité K_M et de vitesse maximale 100 (unités arbitraires). On peut dire que :

- A. Quand $[S] = K_M$, la vitesse de la réaction est égale à 100
- B. Quand $[S] = 10 K_M$, la vitesse de la réaction est égale à 100
- C. Quand $[S] = K_M$, la vitesse de la réaction est égale à 50
- D. Quand $[S] = 2 K_M$, la vitesse de la réaction est égale à 100
- E. Quand $[S] = K_M/3$, la vitesse de la réaction est égale à 25

69. Concernant les enzymes allostériques

- A. Elles sont formées de quatre sous unités de conformation T ou R
- B. L'enzyme dans sa conformation R est plus active que dans sa conformation T
- C. Un inhibiteur allostérique est un analogue du substrat
- D. La courbe $v = f(S)$ est une sigmoïde
- E. La courbe $v = f(S)$ est une hyperbole quand l'enzyme est entièrement sous forme R

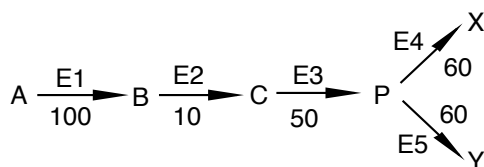
70. Concernant les enzymes allostériques

- A. Les enzymes allostériques possèdent plusieurs sites actifs
- B. Un inhibiteur allostérique favorise la conformation T
- C. L'affinité dépend de la concentration en substrat
- D. Elles sont activées par phosphorylation
- E. Les effecteurs se lient sur des sites différents des sites actifs

71. Concernant les enzymes allostériques

- A. La constante $K_{0,5}$ est augmentée en présence d'un activateur
- B. La constante $K_{0,5}$ diminue avec la conformation R
- C. La fixation du substrat entraîne un déplacement de la conformation R vers T
- D. Dans le modèle de Monod-Wyman-Changeux (MWC), le changement de conformation des sous unités est concerté
- E. Le $K_{0,5}$ de la phosphofructokinase (PFK) pour le F6P augmente en présence d'une concentration élevée en ATP

72. On considère la transformation métabolique ci-dessous (les chiffres représentent les activités spécifiques moléculaires en moles substrat/min/mole enzyme). En présence d'un excès de A, on peut dire que :



- A. Cent moles de P sont formées en 1 minute
- B. Cinquante moles de A sont transformées en P en 5 minutes
- C. Cinq cents moles de P sont formées en 10 minutes
- D. Cent moles de X et cent moles de Y sont formées à partir de cent moles de P
- E. Cinquante moles de X et cinquante moles de Y sont formées à partir de A en 10 minutes

58. Concernant la synthèse protéique

Réponses : A, D, E

- A. Le cycloheximide se lie aux ribosomes et interrompt la traduction.
- D. La délétion d'un nucléotide décale la lecture des codons.
- E. Les codons de la tyrosine UAU et UAC peuvent donner respectivement les codons stop UAA et UAG par transversion T → A et C → G.

ENZYMOLOGIE

59. Les enzymes sont les catalyseurs du monde vivant parce que :

Réponse : B

B. Les enzymes augmentent la vitesse de réaction en abaissant la valeur de l'énergie d'activation ΔG^* . Elles ne modifient pas la variation d'enthalpie libre de réaction (ΔG).

60. Parmi les définitions ci-dessous utilisées pour définir l'activité d'une préparation d'enzyme, lesquelles sont correctes ?

Réponses : A, E

- A. La nomenclature officielle définit comme une unité d'activité la quantité d'enzyme transformant une micromole de substrat en une minute. La définition donnée en B est celle du katal.
- E. Le k_{cat} correspond à l'activité spécifique moléculaire de l'enzyme (ici, 100 moles de substrat transformées par seconde et par mole d'enzyme). Elle est caractéristique de l'enzyme et n'augmente pas au cours de la purification. C'est l'activité spécifique (U/mg) qui augmente.

61. On a purifié une enzyme à partir d'un lysat cellulaire. Le lysat initial contient 5 000 UI et 200 mg de protéine. La fraction purifiée contient 500 UI et 1 mg de protéine. On peut dire que :

Réponses : B, D

- B. L'activité spécifique initiale est 25 U/mg et l'activité spécifique finale 500 U/mg.
- D. Le rendement est l'activité récupérée après purification (500 UI) par rapport à l'activité totale initiale (5 000 UI).

62. Concernant la réaction (considérée dans le sens de la flèche) : Dihydroxyacétone-phosphate → Glycérol 3-phosphate

Réponses : A, C, D

- A. Lors de la réduction de la dihydroxyacétone en glycérol phosphate, le NADH est oxydé en NAD^+ . Le noyau nicotinamide réduit du NADH absorbe spécifiquement à 340 nm et l'on peut suivre sa disparition au cours du temps en spectroscopie.
- C. Il s'agit de la glycérol phosphate déshydrogénase. Le coenzyme est NAD/NADH.
- D. La réaction est couplée au transfert du pouvoir réducteur (NADH) du cytosol à la mitochondrie. Il existe une isoforme mitochondriale qui utilise le FAD et qui catalyse la réaction en sens inverse.

63. Concernant les enzymes michaeliennes

Réponses : A, B

A et B. K_M est une grandeur caractéristique de l'enzyme qui mesure l'affinité pour le substrat. Plus l'affinité est grande, plus le K_M est petit.

64. Concernant la cinétique $[P] = f(t)$ des enzymes michaeliennes

Réponses : B, C, E

- B et C. La phase stationnaire correspondant à la période pendant laquelle l'enzyme est saturée en substrat ($ES = E_t$). Le substrat est en excès, $[ES]$ est constant et la vitesse $d[P]/dt$ est constante et maximale.
- E. Quand une bonne partie du substrat est transformée en produit, il n'y en a plus assez pour saturer l'enzyme. Il y a de moins en moins de complexes ES, la vitesse diminue puis s'annule.

65. Les LDH-1 et LDH-5 sont deux isoformes de la lactico-déshydrogénase dont les caractéristiques sont les suivantes :

Isoforme	Substrat : pyruvate	Substrat : lactate
LDH-1	$K_{M\text{pyr}} = 0,1 \text{ mM}$	$K_{M\text{lact}} = 0,08 \text{ mM}$
LDH-5	$K_{M\text{pyr}} = 1 \text{ mM}$	$K_{M\text{lact}} = 8 \text{ mM}$

On peut dire que :

Réponses : B, D, E

- B. L'isoforme LDH-1 a plus d'affinité pour le lactate que pour le pyruvate et catalyse la réaction dans le sens Lactate \rightarrow Pyruvate.
- D. L'isoforme LDH-5 a plus d'affinité pour le pyruvate que pour le lactate. La réaction se déroule dans le sens Pyruvate \rightarrow Lactate. Néanmoins le pyruvate doit être à concentration relativement élevée ($K_{M\text{pyr}} \approx 1 \text{ mM}$). Les propriétés de la LDH-5 sont compatibles avec la transformation du pyruvate en condition anaérobie (cas du muscle squelettique).

- E. En présence de l'isoforme LDH-1, la réaction évolue dans le sens Lactate → Pyruvate. Les propriétés de la LDH-1 sont compatibles avec la transformation du pyruvate en condition aérobie (cas du cœur).

66. Quelles sont les propositions exactes concernant la figure A ?

Réponses : B, C, E

- B. La vitesse maximale est inchangée et K_M augmente.
- C. La vitesse maximale est diminuée et K_M est inchangé.
- E. La vitesse maximale est diminuée de moitié et K_M est inchangé. En absence d'inhibiteur, ce résultat est obtenu avec une quantité d'enzyme $E' = E/2$.

67. Quelles sont les propositions exactes concernant la figure B ?

Réponses : A, C, D

- A. En présence de Y, V_m est inchangé et K_M augmente.
- C. En présence de Z, K_M est inchangé et V_m diminue.
- D. En présence de V, K_M et V_m diminuent dans les mêmes proportions.

68. Soit une réaction catalysée par une enzyme michaelienne E d'affinité K_M et de vitesse maximale 100 (unités arbitraires). On peut dire que :

Réponses : B, C, E

- B. La vitesse est maximale en excès de substrat (soit $[S] \approx 10 K_M$).
- C. K_M est la concentration en substrat pour laquelle $v = V_m/2$.
- E. La relation de Michaelis donne $v = (V_m + K_M/3)/(K_M + K_M/3)$ soit $v = V_m/4$.

69. Concernant les enzymes allostériques

Réponses : B, D, E

- B. Le changement de conformation $T \rightarrow R$ correspond à la transition allostérique. La forme R est la forme active.
- D. L'affinité de l'enzyme dépend de la concentration en substrat. L'allure de la courbe $v = f(S)$ est une sigmoïde.
- E. Lorsque l'enzyme est entièrement dans la conformation R, toutes les sous-unités ont la même affinité pour le substrat et l'enzyme se comporte comme une enzyme michaelienne.

70. Concernant les enzymes allostériques

Réponses : A, B, C, E

- A. Il y a un site actif par sous-unité catalytique.
- B. Un inhibiteur allostérique déplace l'équilibre vers la forme T inactive.

- C. La fixation du substrat entraîne un changement de conformation de T vers R.
- E. Les enzymes possèdent des sites régulateurs différents des sites actifs.

71. Concernant les enzymes allostériques

Réponses : B, D, E

- B. $K_{0,5}$ est une grandeur qui représente l'affinité des enzymes allostériques pour leur substrat (comme K_M pour les enzymes michaeliennes). La conformation R est à haute affinité pour le substrat donc $K_{0,5}$ est d'autant plus petit qu'il y a plus de forme R.
- D. La fixation du substrat entraîne un changement de conformation T \rightarrow R simultanément de toutes les sous unités. Le modèle de MWC est un modèle symétrique.
- E. La PFK est inhibée par l'ATP à forte concentration. L'affinité pour le F6P diminue et le $K_{0,5}$ augmente.

72. On considère la transformation métabolique ci-dessous (les chiffres représentent les activités spécifiques moléculaires en moles substrat/min/mole enzyme). En présence d'un excès de A, on peut dire que :

Réponses : B, E

- B. L'étape limitante est catalysée par E2. La vitesse de la transformation A \rightarrow P est donc 10 moles par minute et par mole d'enzyme.
- E. X et Y sont formés à la même vitesse à partir de P. En 10 minutes, il y a formation de 100 moles de P qui donnent 50 moles de X et 50 moles de Y.

73. À propos d'une enzyme régulatrice du métabolisme diriez-vous que :

Réponses : A, B, E

- A. Une enzyme régulatrice catalyse une étape limitante ou étape lente. Elle limite le flux à travers la voie.
- B. L'enzyme est limitante car elle ne peut transformer plus de substrat car son activité est déjà maximale (k_{cat} faible).
- E. La réaction catalysée par une enzyme dont le k_{cat} est faible est hors équilibre : les substrats sont formés plus vite qu'ils ne sont transformés en produits. La variation d'enthalpie libre ΔG de la réaction est grande et la réaction est irréversible.

MÉTABOLISME

74. Concernant le glucose 6-phosphate (G6P)

Réponses : A, B, E

- A. La glucokinase est spécifiquement exprimée dans le foie. Elle n'est pas inhibée par le G6P.