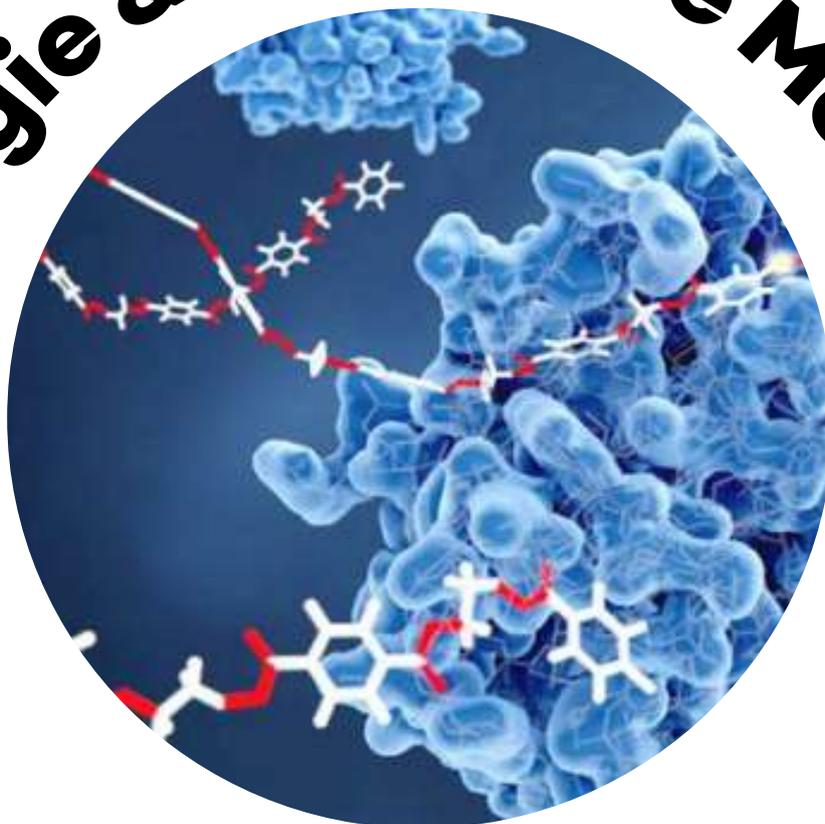


Enzymologie & Biochimie Métabolique



SCIENCES DE LA
VIE



Shop



- Cahiers de Biologie + Lexique
- Accessoires de Biologie



Etudier



Visiter [Biologie Maroc](http://www.biologie-maroc.com) pour étudier et passer des QUIZ et QCM en ligne et Télécharger TD, TP et Examens résolus.



Emploi



- CV • Lettres de motivation • Demandes...
- Offres d'emploi
- Offres de stage & PFE

*Université Abdelmalek Essaâdi
Faculté des Sciences de Tétouan
Département de Biologie*

Filière Sciences de la vie

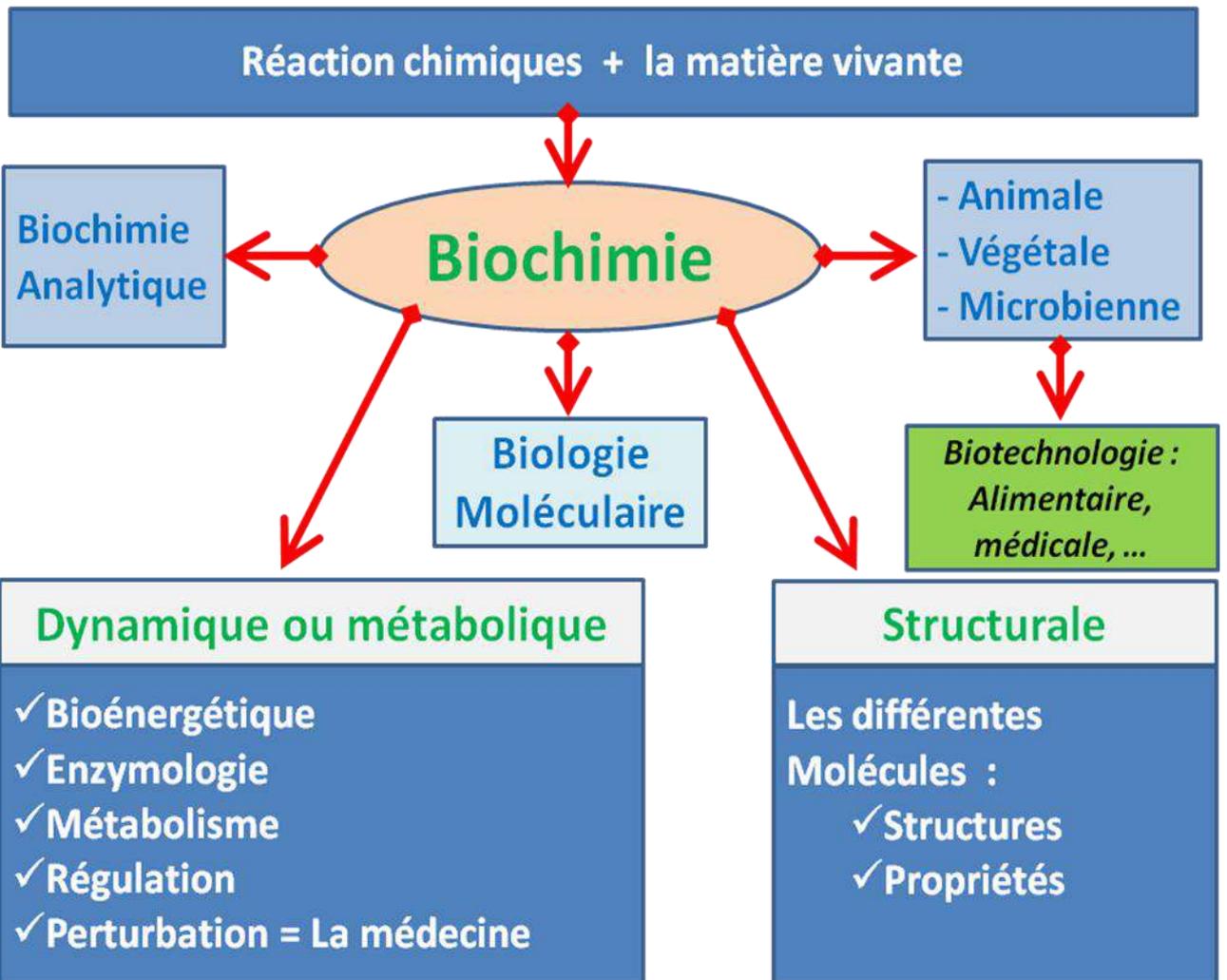
Semestre S4

Module : Enzymologie et Bio Métabolique

Enzymologie

Pr. Abdenbi BEN DRISS

Année universitaire 2016 – 2017



Chapitre 1

Caractères généraux des enzymes

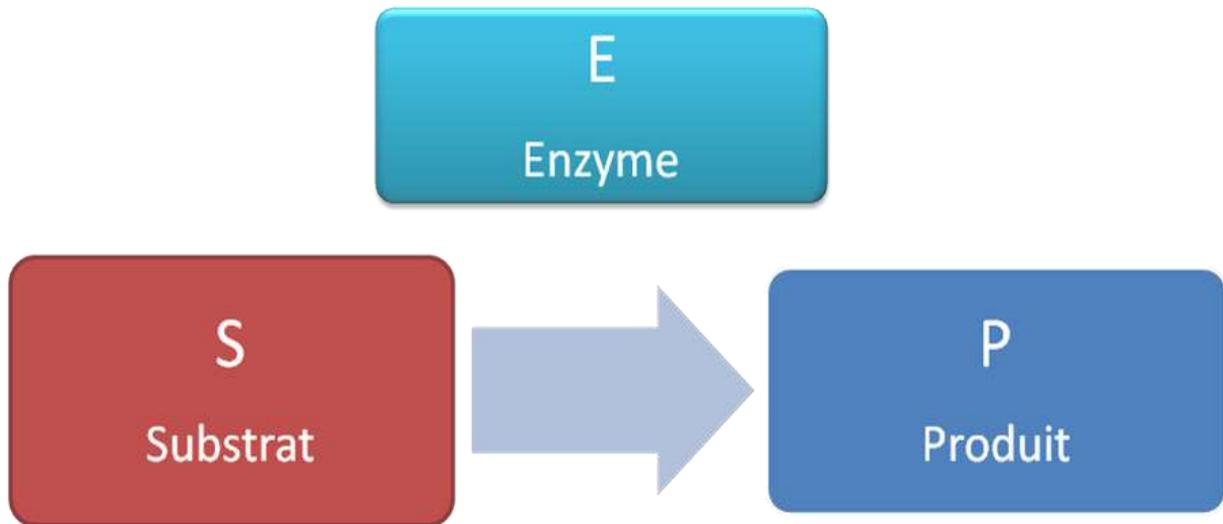
- Préciser le vocabulaire technique de base
- Justifier que les enzymes sont efficaces et la mise en œuvre difficile

- ✓ L'étude des propriétés structurales et fonctionnelles des enzymes,

- ✓ L'étude de la cinétique enzymatique : la vitesse des réactions catalysées par les enzymes.

- ✓ Toutes les réactions chimiques dans les organismes vivants : enzymes ;

- ✓ Ces réactions définissent : le métabolisme (la biosynthèse et la dégradation des molécules au sein de l'organisme vivant).



- Symbole du substrat
- Symbole du produit
- Symbole d'enzyme : au dessus de la flèche :
 - Intervient dans la réaction
 - Ne se dégradent pas au cours de la réaction
 - Agissent à faible dose

1-Définition des enzymes

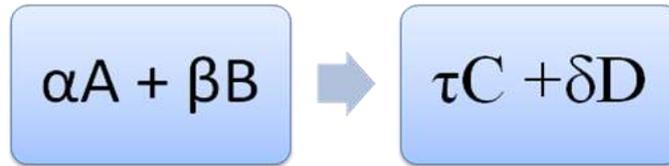


L'enzyme est un ***catalyseur biologique*** de ***nature protéique*** produit par un ***organisme vivant***

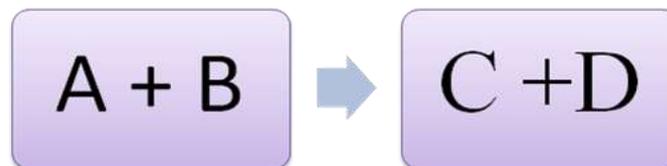
- Qu'est-ce un catalyseur ?
- Quelle est la différence entre un catalyseur chimique et un catalyseur biologique ?

2-La catalyse Biologique

Rappels sur la réaction chimique

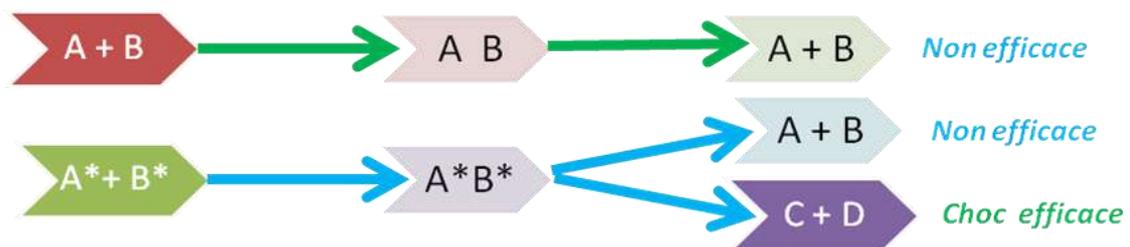


$\alpha = \beta = \tau = \delta = 1$ coefficients stœchiométriques



Cette réaction aura lieu s'il y a :

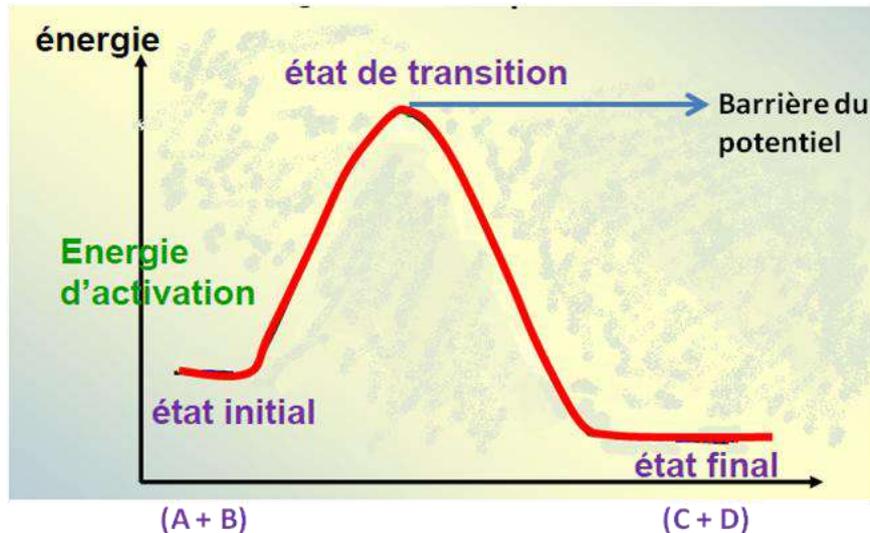
- Rencontre des deux molécules : collision ou choc
- Energie suffisante : formation d'un complexe de transition (A^*B^*)
- Transformation : choc efficace



Vitesse de la réaction chimique :

$$v = k (A^*B^*)$$

- L'évolution de l'enthalpie libre ΔG° de la réaction au cours de la réactions :

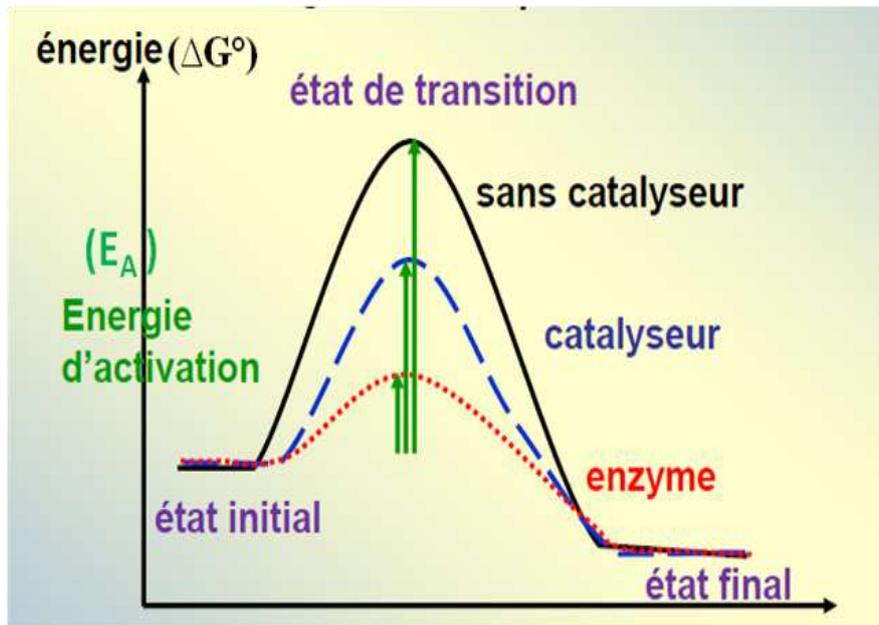


Pour qu'une réaction chimique se produise il est nécessaire :

- Que ΔG° soit négatif
- Que l'activation des molécules se produise pour franchir la barrière du potentiel : *c'est l'énergie d'activation*

Catalyseurs Chimiques et Biologiques

Exemple de la décomposition du peroxyde d'hydrogène :



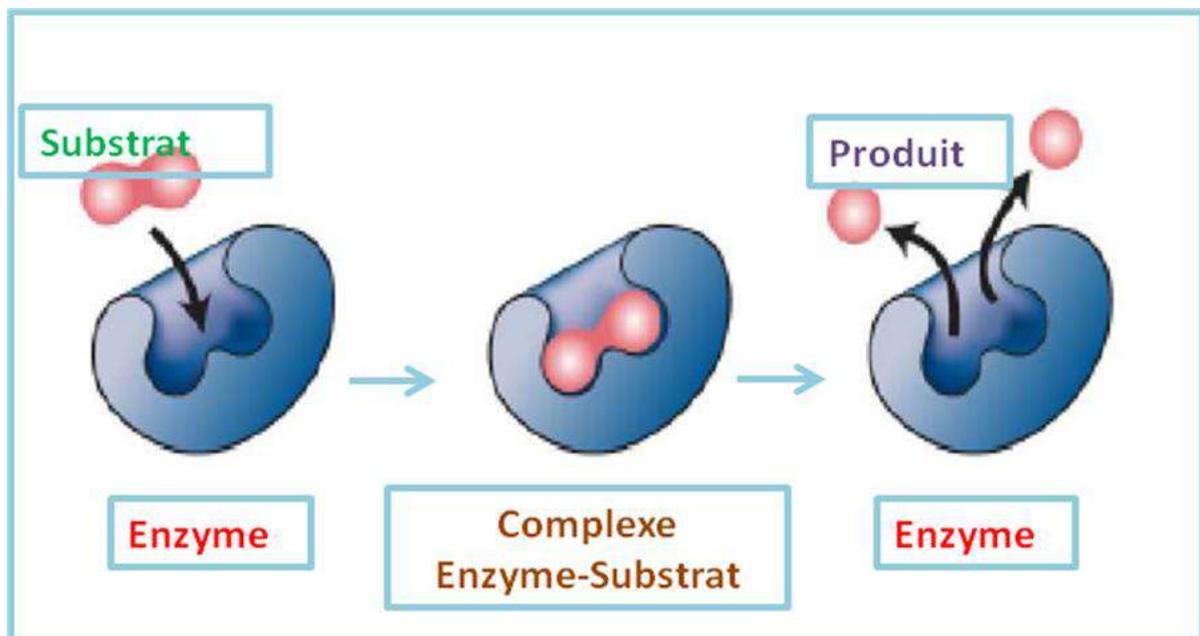
- L'énergie d'activation E_A :
 - ✓ En l'absence de catalyseur : **75.25 KJ/mol**
 - ✓ En présence d'un catalyseur chimique (platine colloïdal) : **48.9 KJ/mol**
 - ✓ En présence d'un catalyseur biologique (enzyme : catalase) : **8.36 KJ/mol.**

- L'hydrolyse de l'amidon :
 - ✓ **Rapide à 40°C avec l'amylase salivaire**
 - ✓ **Lente à 40°C avec H⁺** comme catalyseur
 - ✓ **Rapide à 100°C avec H⁺** comme catalyseur

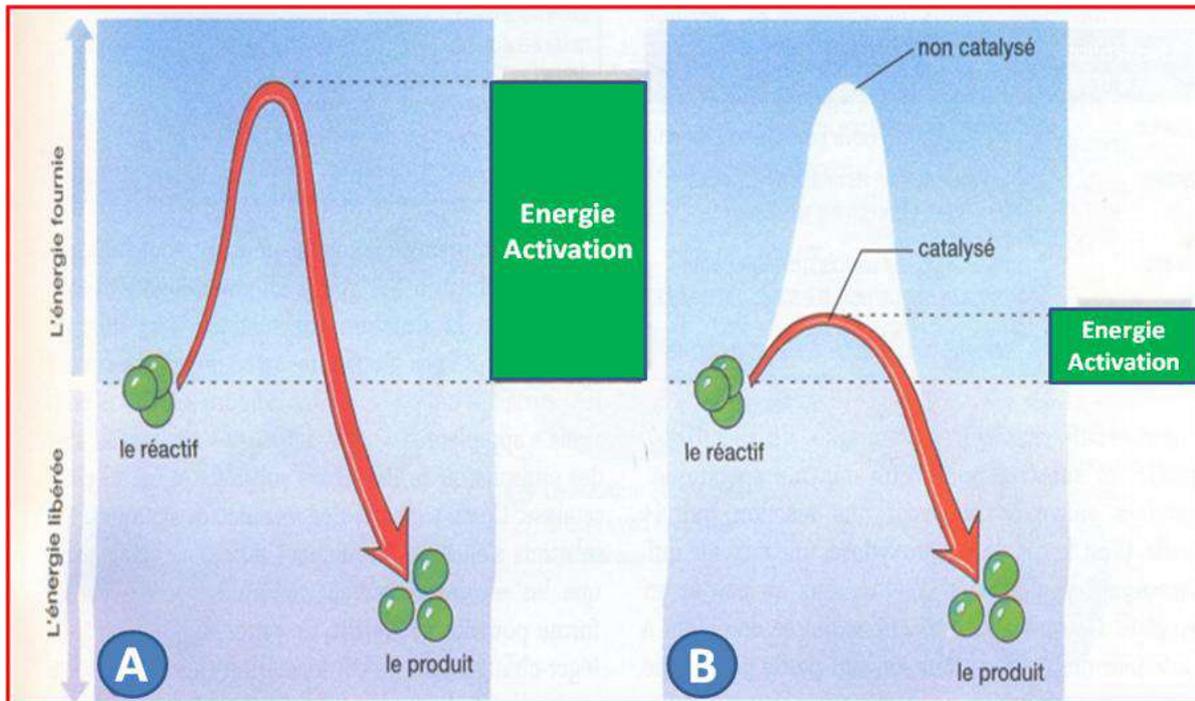
Pour une même vitesse de réaction les enzymes permettent une baisse de température

Origine de l'abaissement de la barrière énergétique :

- La réaction enzymatique suit un chemin différent de la réaction chimique ;
- La réaction enzymatique s'effectue en plusieurs étapes : formation d'un intermédiaire : complexe [ES] ce qui provoque :
 - *Un abaissement de la barrière de potentiel*
 - *Augmentation de la vitesse de réaction*



L'efficacité des catalyseurs biologiques est plus grande que celle des catalyseurs chimiques

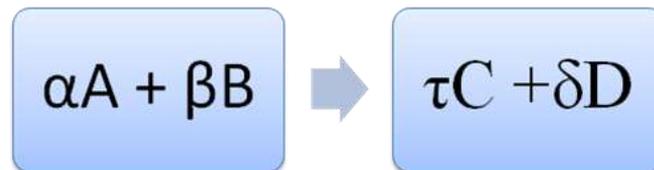


Les enzymes sont des catalyseurs :

- Les enzymes ne catalysent que les réactions thermodynamiquement possibles.
 - ✓ ΔG négatif : réaction possible spontanément
 - ✓ ΔG positif : réaction impossible dans le sens considéré.
 - ✓ Même si ΔG négatif : la réaction dépend aussi de la vitesse de la réaction.

- Les enzymes ne modifient pas l'équilibre de la réaction :

Toutes réaction chimique est caractérisée par une constante d'équilibre k .



$$K_c = \frac{[C]^\tau [D]^\delta}{[A]^\alpha [B]^\beta}$$

- ✓ Cette constante k n'est pas modifiée au cours d'une réaction enzymatique ;
- ✓ Elle reste constante ;
- ✓ La présence d'enzyme permet : atteindre l'équilibre plus rapidement.

Les enzymes sont actifs à faible dose :

Les enzymes ne sont pas transformés au cours de la réaction : ils peuvent être réutilisés à nouveau.

Les enzymes sont des catalyseurs, mais leur particularité : nature protéique.

3-Nature protéique des enzymes

- Macromolécule caractérisée par :
 - Une structure primaire qui est une séquence d'acides aminés ;
 - Une configuration spatiale tridimensionnelle.

Les caractéristiques de cette macromolécule auront trois conséquences

1. Conséquence de la séquence de la structure primaire

- Les enzymes vont avoir des structures différentes selon :
 - La séquence en acides aminés
 - Le nombre des chaînes peptidiques qu'ils comportent
 - Les enzymes à une seule chaîne : RNase, trypsine, ...
 - Les enzymes à plusieurs chaînes : enzymes oligomériques : LDH, isocitrate déshydrogénase, ...
 - Structure quaternaire : le plus souvent ; une activité de régulation.
 - Les enzymes peuvent nécessiter, ou pas, pour leur activité de certains cofacteurs. Les enzymes sont constitués soit :
 - Seulement par la partie protéique : Apoenzyme
 - Ou bien Apoenzyme associée au coenzyme (libre ou fixé).

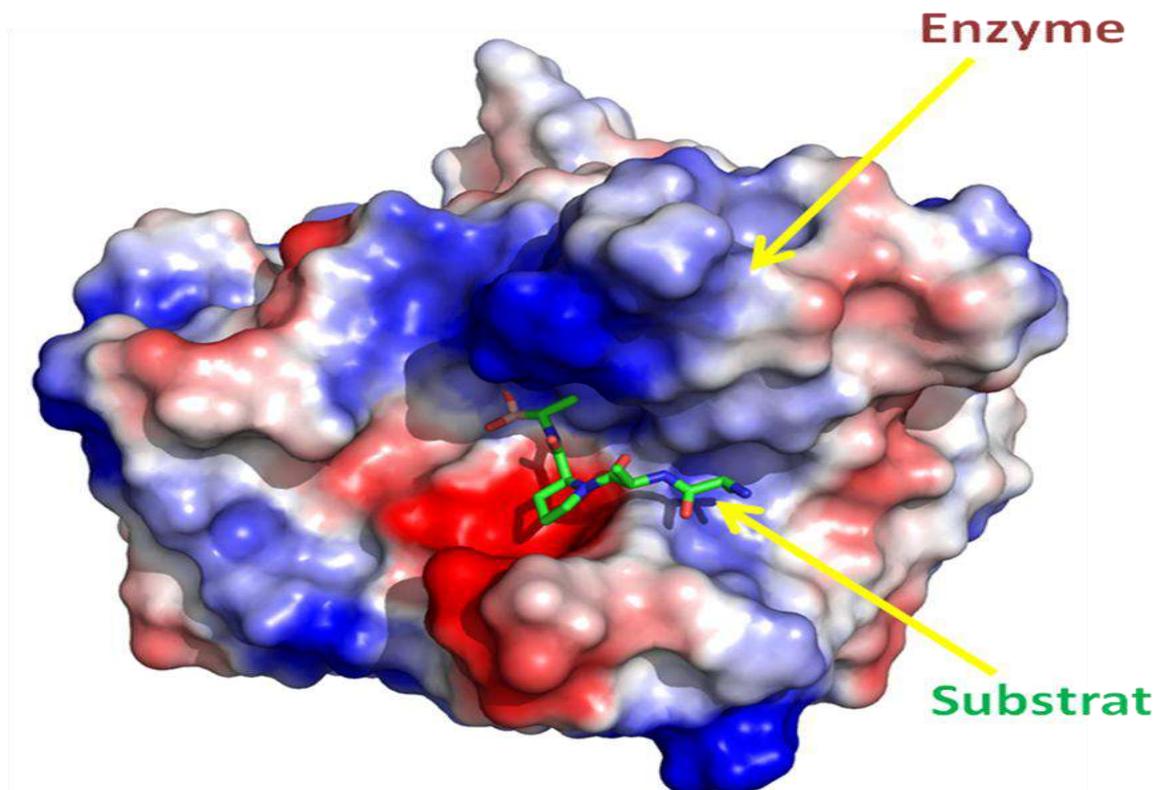
2. Conséquence de la présence d'une configuration ou conformation spatiale

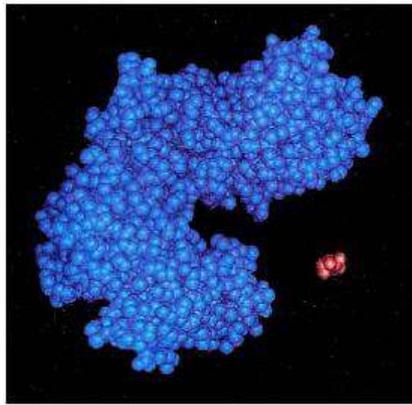
- Cela implique : la sensibilité aux différents agents influençant la structure des protéines :
 - pH
 - Température
 - Force ionique

L'altération (ou dénaturation) de cette structure a pour conséquence l'inactivation de la macromolécule.

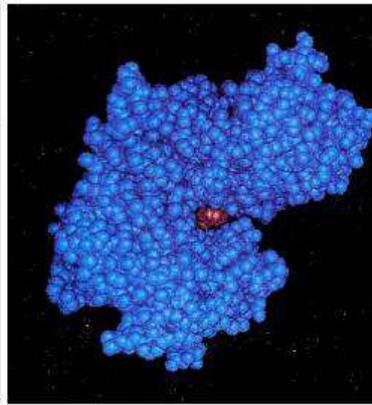
3. Conséquence de la flexibilité de la configuration spatiale

- Suite au rapprochement Enzyme – Substrat : les acides aminés se rapprochent ce qui peut constituer un environnement propice à :
 - La fixation du substrat
 - L'acte catalytique.

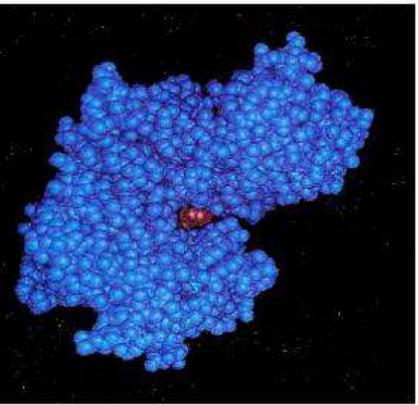




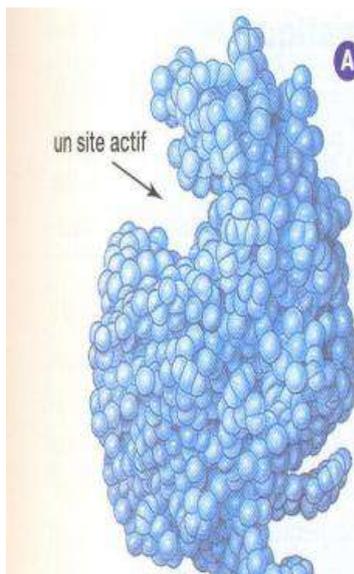
Conformation ouverte
Glucose non fixé sur son site
Pas de catalyse



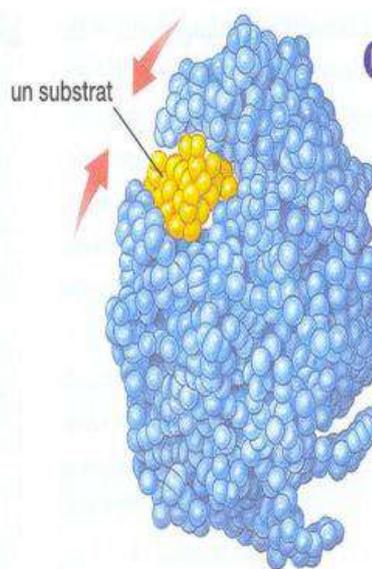
Conformation fermée
Glucose fixé sur son site
Catalyse



Le passage de la conformation ouverte à la conformation fermée implique des déplacements de plusieurs Angströms



A Le site actif dans ce modèle de lysozyme apparaît sous forme de dépression au milieu de l'enzyme.



B Le substrat s'ajuste au site actif. Il induit l'enzyme à modifier sa forme et à le serrer plus étroitement. Ce processus permet à l'enzyme d'interagir chimiquement avec le substrat.

En 1958 (Koshland) : modifie le principe clé serrure à celui de l'ajustement induit :

- Le site actif s'ajuste en change de forme avec le substrat.
- Un enzyme peut accepter plusieurs substrats légèrement différents. (Exemple d'un gant qui s'adaptent à plusieurs mains)

Nature protéique des enzymes

Les enzymes ne peuvent réagir (fixer ou transformer) qu'avec

Des Molécules

D'un seul type

D'une seule
espèce

Les enzymes sont spécifiques

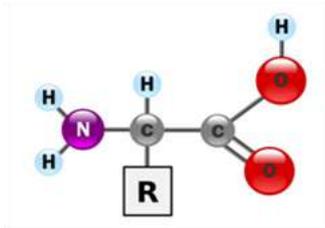
Spécificité enzymatique :

- Elle est double : chaque enzyme sélectionne à la fois :
 - La réaction catalysée
 - Le substrat

Spécificité de la réaction :

- Pour un substrat (S) donné un enzyme ne catalyse qu'une seule réaction parmi celles possibles ;
- La réaction est déterminée par la partie protéine de l'enzyme : la spécificité est liée à l'apoenzyme (partie protéique) ;
- L'environnement moléculaire de l'apoenzyme : oriente le type de réaction.

Exemple du métabolisme des acides aminés :



Dans la cellule, et suivant le cas :

- 1- Décarboxylé par une décarboxylase
- 2- Désaminé et oxydé par une aminoacide oxydase
- 3- Transaminé par une transaminase

Pour tous ces enzymes :

- le coenzyme est le même : Phosphate du pyridoxal ;
- Les apoenzymes sont différents.
- La spécificité de la réaction est assurée par l'Apoenzyme

Apoenzyme définit :

- 1- La configuration spatiale du centre actif
- 2- Le type de réaction se réalisant

- **Spécificité du substrat :**
- Cette spécificité peut être très large ou très étroite avec tous les cas intermédiaires.

-La spécificité large : l'enzyme agit sur beaucoup de types de composés

- La spécificité étroite : l'enzyme agit sur un seul composé

De la spécificité la plus large vers la plus étroite , on rencontre :

- La spécificité liée à la nature de la liaison
- La spécificité de groupe fonctionnel
- la spécificité liée à l'acceptation d'un seul substrat
- La stéréospécificité

La spécificité liée à la nature de la liaison

C'est le cas pour les hydrolases, enzymes catalysant la réaction d'hydrolyse du composé A – B :



On distingue selon le type de liaison hydrolysée :

-Les osidases :



-Les estérases :



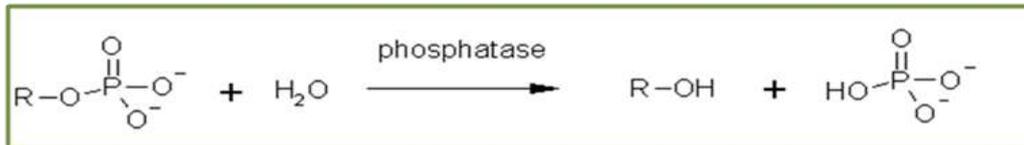
- Les amidases :



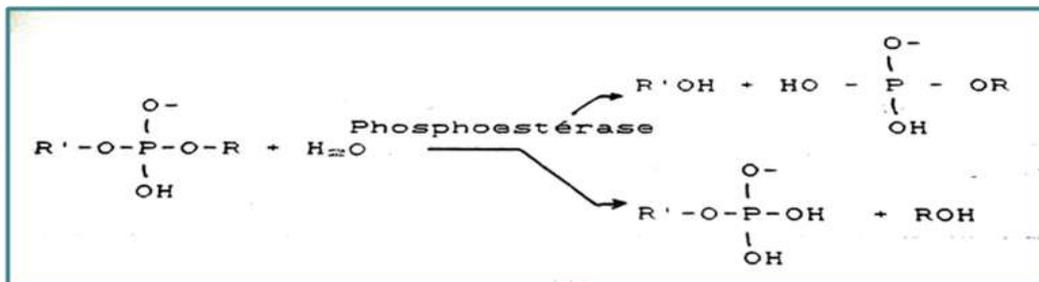
La spécificité de groupe fonctionnel

C'est l'exemple des estérases, on distingue :

- les carboxyestérases : spécifique des liaisons esters où sont engagés des acides carboxyliques :



- Les phosphodiesterases : enzyme qui hydrolyse une des fonctions esters d'un acide phosphorique diestérifié :



la spécificité liée à l'acceptation d'un seul substrat

- Connue depuis longtemps que les enzymes sont spécifiques d'un seul substrat ;
- Le nom de l'enzyme dérive du nom du substrat ;
- L'uréase est spécifique de l'urée.

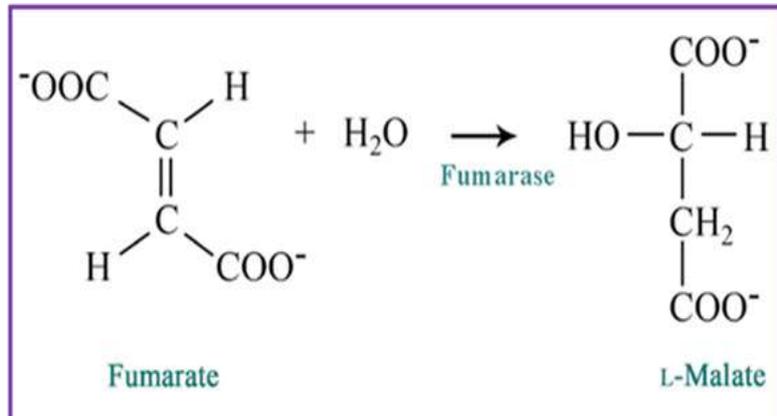
La stéréospécificité

- De nombreux enzymes sont capables de distinguer des isomères ne différant que par la position des atomes dans l'espace : les stéréoisomère.
- Le substrat est constitué d'un seul stéréoisomère:
 - CIS ou TRANS
 - Les formes D ou L
 - Les conformations α et β des liaisons osidiques.

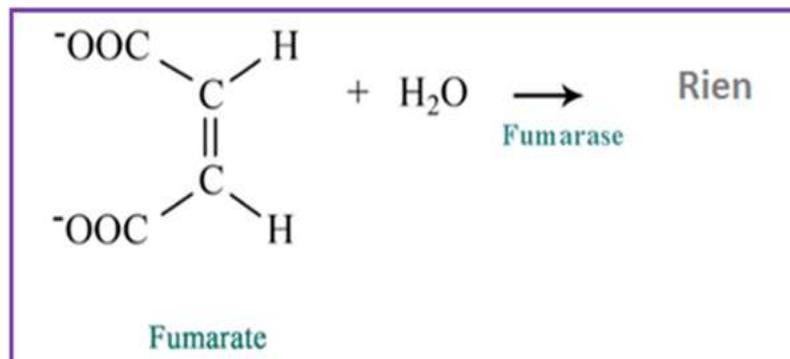
Stéréospécificité liée à l'isomère CIS – TRANS

La stéréospécificité de la fumarase vis-à-vis du fumarate, enzyme du cycle de Krebs :

Fumarate forme TRANS :



Fumarate forme CIS :

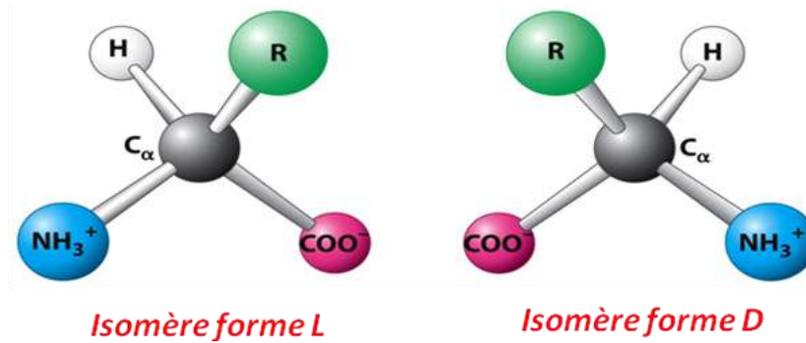


Stéréospécificité liée aux formes D et L

Beaucoup d'enzymes n'acceptent que des substrats d'une seule forme soit D soit L :

- Forme L pour les enzymes des acides aminés
- Forme D pour les enzymes des glucides

Trypsine, chymotrypsine et pepsine n'acceptent comme substrat que les polymères d'acides aminés de la série L.



Stéréospécificité liée aux conformations α et β des liaisons osidiques

- Les enzymes du métabolisme des glucides (osidases) sont le plus souvent stéréospécifique pour les conformations α et β .
- L'exemple des glucosidases et des galactosidases.

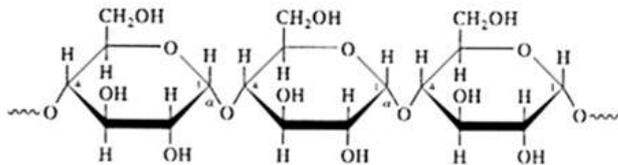
-Les α - glucosidases : les amylases salivaires et pancréatiques hydrolyse les polymères de glucose liés des liaisons α (1 \rightarrow 4).

-Les β - glucosidases : Elles sont, par exemple bactériens, hydrolysant les polymères de glucose liés des liaisons β (1 \rightarrow 4) (cellulose).

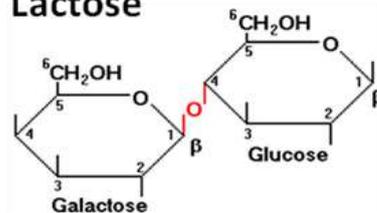
-Les α - galactosidases : lactase, enzyme intestinal qui hydrolyse le lactose.

-Les β - galactosidases : intervient dans de nombreuses réactions qui fait intervenir les β galactosides comme substrat.

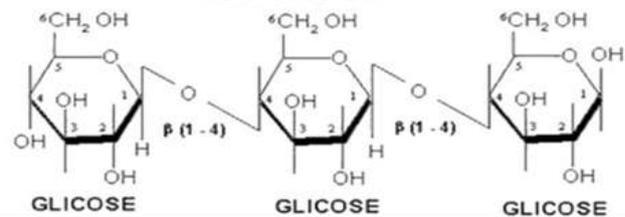
Amidon



Lactose



CELULOSE



- Les enzymes sont des catalyseurs biologiques qui permettent aux réactions chimiques nécessaires à vie et à la multiplications cellulaire :

- De s'effectuer à vitesse élevée et avec une grande spécificité
- D'être modulées : s'adapter aux conditions de l'environnement

4-Nomenclature et classification des enzymes

- Le nombre des enzymes est très important : plus de 500.000 ;
- Certaines enzymes ont des activités semblables : les isoenzymes ;
- Il faut une dénomination claire et précise : quel nom donner aux enzymes ?

Dénomination ancienne :

Toujours utilisé mais peu informative : pepsine qui vient du mot grec « pepsie » qui signifie «coction » et c'est la digestion des aliment par l'estomac.

Deuxième dénomination :

- ✓ Le nom du substrat suivie du suffixe « ase » ;
- ✓ L'exemple : hydrolases, ligases, peptidase, uréase, glucosidases, osidases, etc.
- ✓ Elle est employée couramment.

Nomenclature internationale officielle depuis 1961 :

Exemple du LDH : lactate déshydrogénase

L-Lactate : NAD⁺ - oxydoréductase (EC 1.1.1.27)

- Nom du substrat : L-Lactate
- Le nom de l'accepteur (CoE) : NAD⁺
- Le type de réaction : oxydoréductase
- Le numéro de la classification des enzymes : (EC 1.1.1.27)

Le numéro de la classification des enzymes

- Les enzymes sont classés en : classe, sous-classe et sous-sous-classe puis numérotés.
- 6 classes : suivant le type de réaction :
 - 1: oxydoréductase, 2: transférase, 3: hydrolase,
 - 4: lyases, 5: isomérase, 6: ligase ou synthétase.

Exemple :

Classe 1 : oxydoréductase

1.1 : oxydoréductase agissant sur un groupement >CH-OH
(comme donneur d'hydrogène)

1.1.1. : avec NAD⁺ ou NADP⁺ comme accepteur d'hydrogène

- L- Malate (MDH) : NAD- oxydoréductase (1.1.1.37)

- L- Lactate (LDH) : NAD- oxydoréductase (1.1.1.27)

Chapitre 2

La réaction enzymatique: cinétique enzymatique

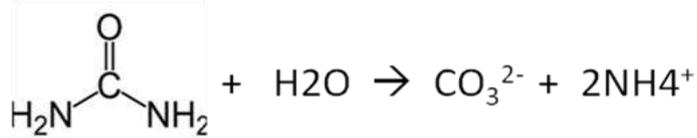
- L'étude de la réaction chimique ou enzymatique = la quantification : définir et mesurer les paramètres caractérisant le système (vitesse, vitesse initiale, paramètres cinétique, ...)
- La quantification est réalisée en se basant sur :
 - *Concepts chimiques : cinétique chimique, vitesse de réaction, schémas réactionnels, ...*
 - *Hypothèses enzymatiques particulières : état stationnaire, complexes intermédiaires)*
 - *Relier les différents paramètres par diverses relations mathématiques plus ou moins complexes*

1-Notion de vitesse initiale

- C'est l'association :
 - La notion classique de la chimie générale : vitesse ;
 - Les conditions initiales : plusieurs conditions influent sur la réaction enzymatique.

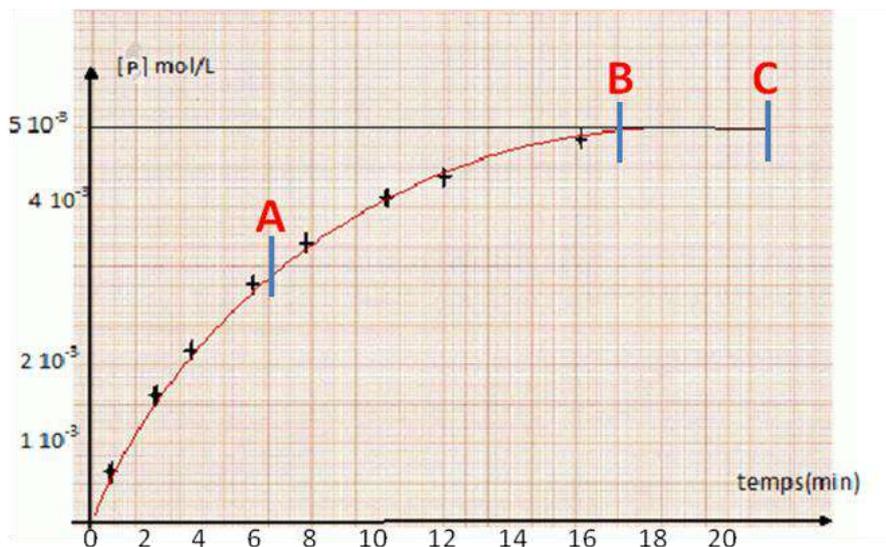
a. Mise en évidence de la vitesse initiale : conditions initiales

- Approche expérimentale :
 - Réaction enzymatique : hydrolyse de l'urée par l'uréase :



Mettre dans un bêcher placé dans un bain-marie réglé à une température connue (25°C par exemple):

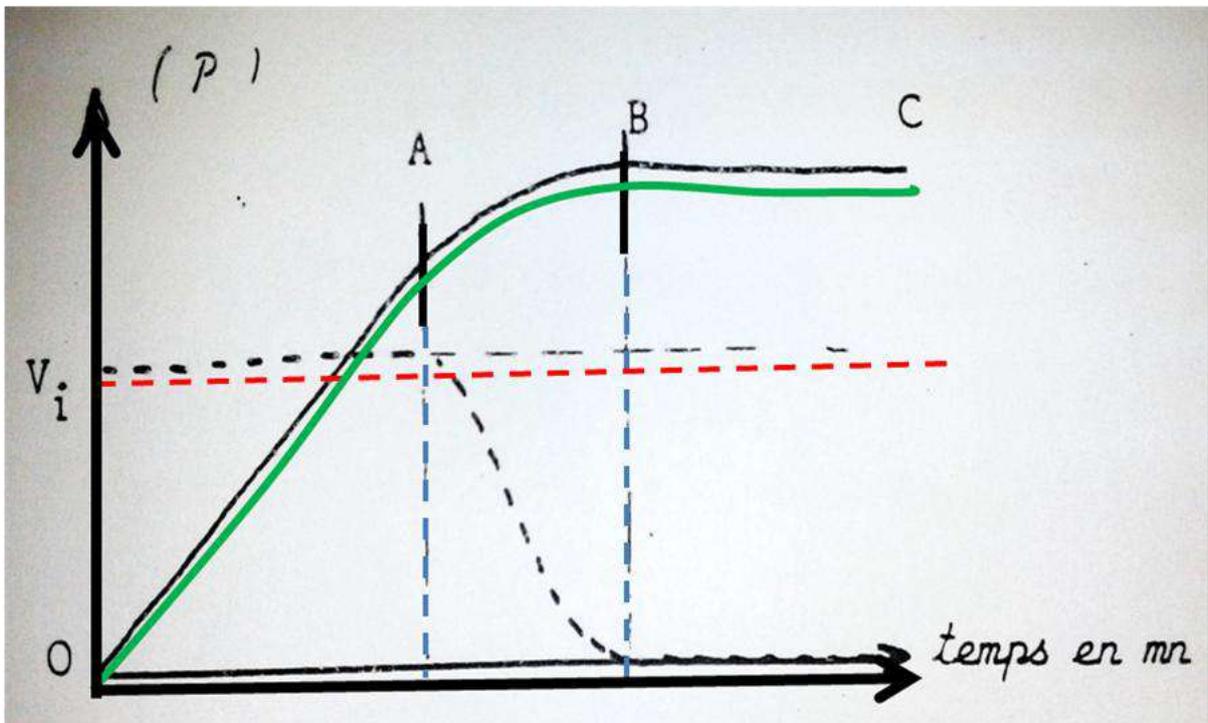
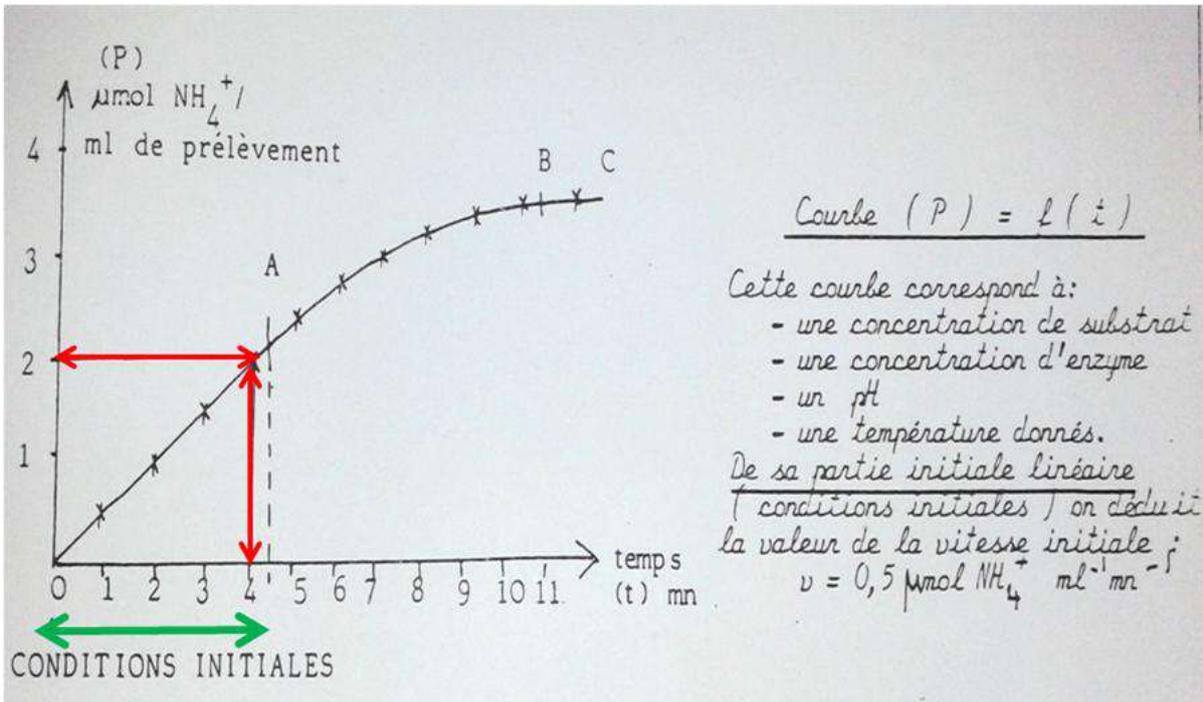
- Une solution d'urée de concentration connue (le substrat) ;
 - Un tampon à un pH donné ;
 - Un coenzyme en excès (si nécessaire)
 - Une solution d'enzyme dans le tampon à une concentration connue.
- La réaction est déclenchée : ajout de la solution d'enzyme ;
 - Toutes les minutes, on prélève 1 ml du milieu réactionnel ;
 - On dose l'ion ammonium par une méthode colorimétrique ;
 - On trace la courbe : $P = f(t)$.



Interprétation de la courbe :

- La courbe peut être subdivisée en trois parties :
 1. La première partie de 0 à A : c'est une droite passant par l'origine.
 - La production du produit est proportionnelle au temps.
 - Le rapport du [P] sur le temps (concentration du produit divisée par le temps) est constant.
 - C'est la vitesse de la réaction $v = \Delta P / \Delta t$. Elle est constante durant toute cette phase.
 - La période durant laquelle la vitesse de réaction enzymatique est constante (et non nulle) définit les « conditions initiales ». Notamment la [S] qui est suffisante.
 - Il s'agit de la vitesse initiale v_i
 2. La seconde partie AB : courbe qui s'incurve, la production du produit diminue c'est-à-dire que la vitesse diminue. La [S] est insuffisante.
 3. La troisième partie BC : Courbe parallèle à l'axe des abscisses, la concentration du produit reste constante c'est-à-dire que la vitesse est nulle.

La détermination des vitesses des réactions enzymatiques se fait dans les conditions initiales : il s'agit de la vitesse initiale (v_i).

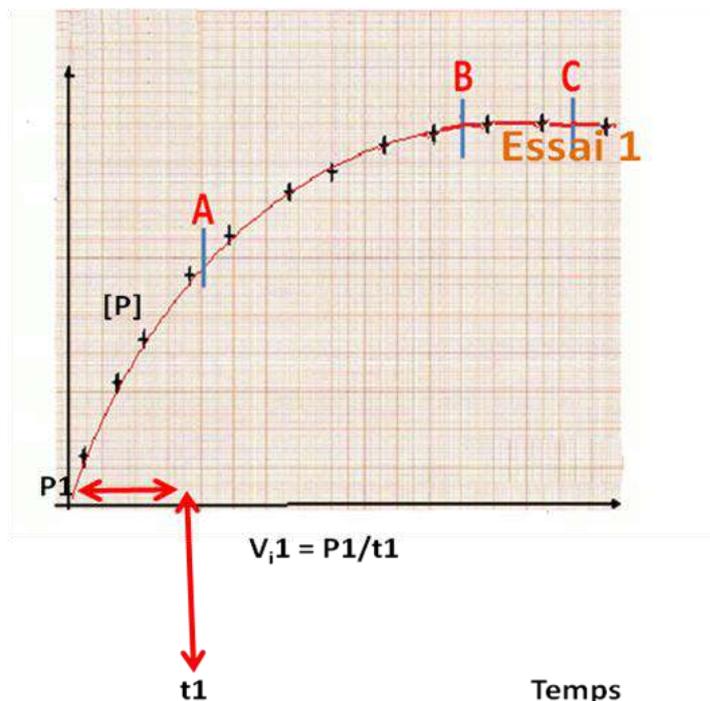


b. Variation de la vitesse initiale

- La vitesse initiale d'une réaction enzymatique varie en fonction de divers paramètres et notamment : $[E]$ et $[S]$.

Variation de la vitesse initiale en fonction de la $[E]$:

On réalise successivement plusieurs cinétiques avec la même concentration de Substrat, le même pH, la même température mais avec des concentrations en enzyme croissantes.



Conditions de réaction :

$$-[E] = [E_1]$$

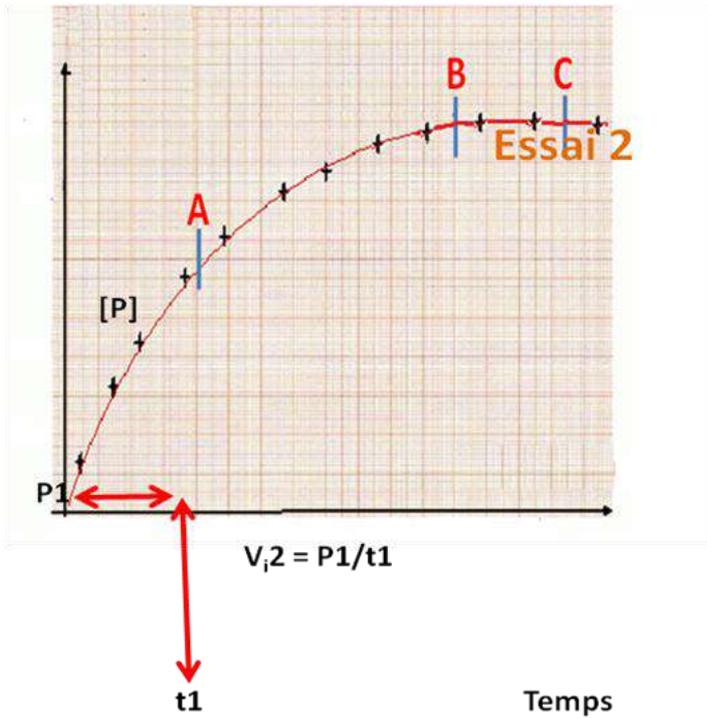
$$-[S] = [S_i]$$

$$-T^\circ = T_i^\circ$$

$$-pH = pH_i$$

Fixés

$$V_{iE1} = 2 \mu\text{mole}/\text{min}$$



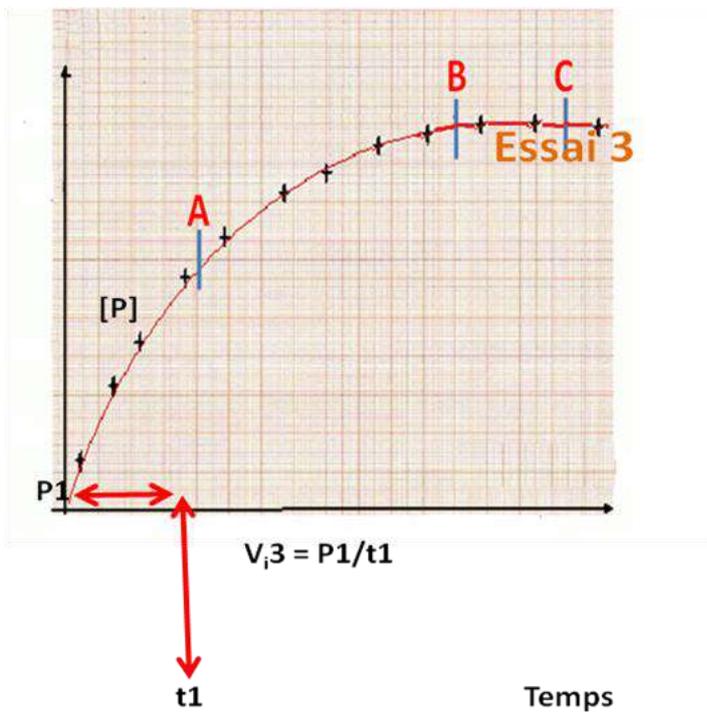
Conditions de réaction :
 -[E1] < [E2] ([E2] = 2 x [E1])

-[S] = [S_i]
 -T° = T°_i
 -pH = pH_i

} Constants

$$V_{i2} = P1/t1$$

V_iE2 = ? μmole/min



Conditions de réaction :
 -[E2] < [E3] ([E3] = 2 [E2])

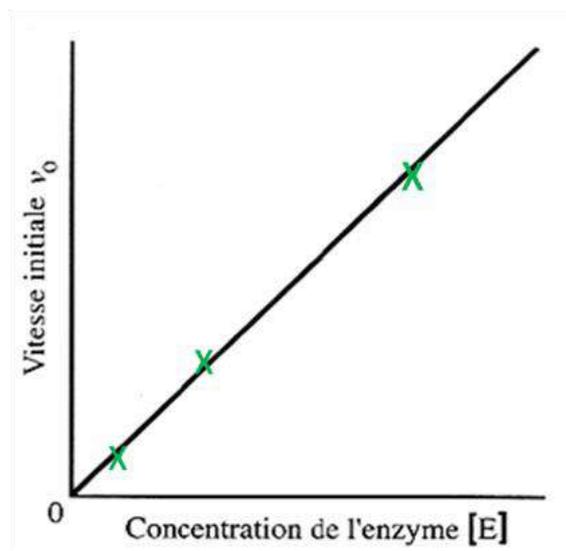
-[S] = [S_i]
 -T° = T°_i
 -pH = pH_i

} Constants

$$V_{i3} = P1/t1$$

V_iE3 = ? μmole/min

- Chaque cinétique permet de déterminer la vitesse initiale ;
 - Chaque vitesse correspond à une concentration en enzyme .
-
- On peut donc représenter la vitesse initiale d'une réaction en fonction de la concentration en enzyme :



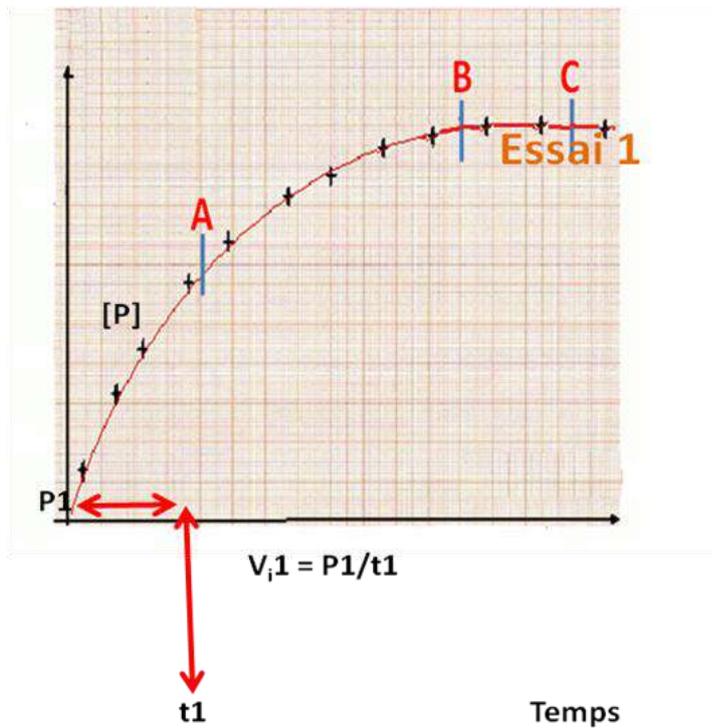
- La courbe obtenue est une droite : la vitesse initiale de la réaction est proportionnelle à la concentration en enzyme.

- Si On augmente la [E] à l'infini ?

→ *La vitesse initiale est proportionnelle à la [E] à condition que le substrat soit saturante*

Variation de la vitesse initiale en fonction de la $[S]$:

On réalise successivement plusieurs cinétiques avec la même concentration en enzyme, le même pH, la même température mais avec des concentrations en substrat croissantes.



Conditions de réaction :

$-[S] = [S_1]$

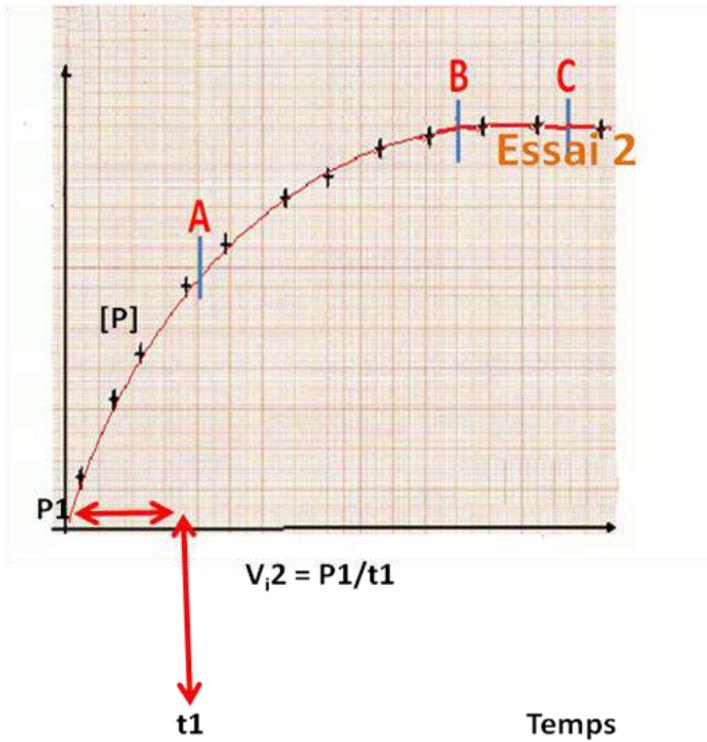
$-[E] = [E_i]$

$-T^\circ = T_i^\circ$

$-\text{pH} = \text{pH}_i$

} Fixés

$$V_{iS1} = 2 \mu\text{mole}/\text{min}$$

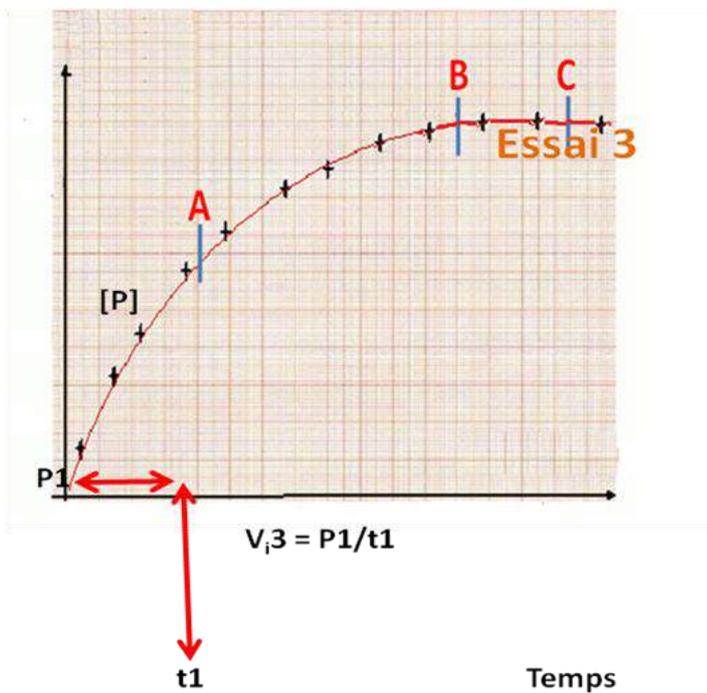


Conditions de réaction :
 -[S1] < [S2] ([S2] = 2 x [S1])

-[E] = [E_i]
 -T° = T°_i
 -pH = pH_i

} Fixés

$V_{iS2} = ? \mu\text{mole}/\text{min}$



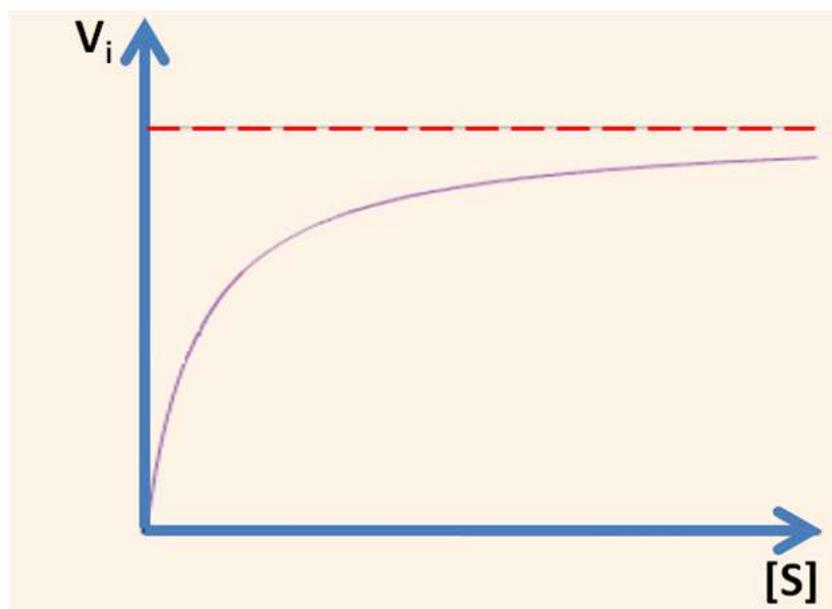
Conditions de réaction :
 -[S2] < [S3] ([S3] = 2 x [S2])

-[E] = [E_i]
 -T° = T°_i
 -pH = pH_i

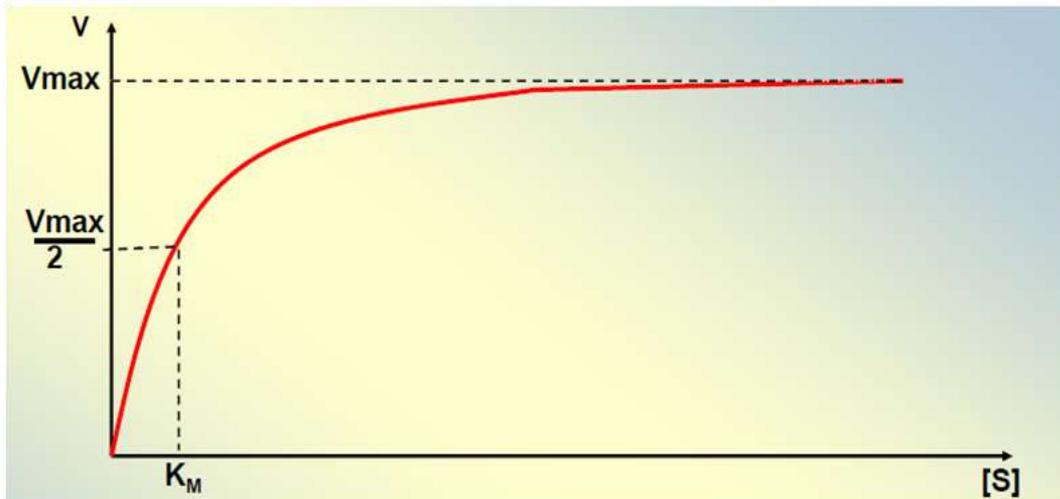
} Fixés

$V_{iS3} = ? \mu\text{mole}/\text{min}$

- Chaque cinétique permet de déterminer la vitesse initiale ;
 - Chaque vitesse correspond à une concentration du substrat .
-
- On peut donc représenter la vitesse initiale d'une réaction en fonction de la concentration du substrat :



- ✓ Cette courbe est très importante, elle caractérise le comportement d'une enzyme pour un substrat donné, dans des conditions expérimentales données (T° , pH,).
- ✓ Elle permet de déduire 2 paramètres caractérisant ce comportement : les paramètres cinétiques de la réaction étudiée.



✓ Les paramètres cinétiques de la réaction K_M et V_{max} :

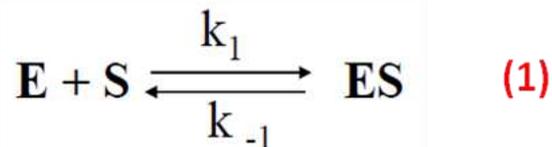
- V_{max} : Vitesse maximale, c'est une vitesse en présence d'une grande concentration du substrat = concentration saturante en substrat ;
- K_M : La concentration en substrat pour laquelle la vitesse est égale à la moitié de la V_{max} : c'est la constante de Michaelis, elle représente l'affinité du substrat vis-à-vis de son enzyme.

2-Etude cinétique : Equation de Michaelis

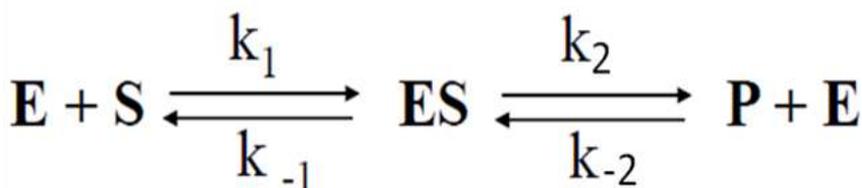
- Le modèle de Michaelis : décrit par Michaelis et Menten en 1913 :
 - Le plus important pour décrire la cinétique d'une réaction catalysée par une enzyme agissant sur un substrat unique pour donner un produit ;
 - Basé sur le complexe [E-S] ;
 - Excellente description du phénomène et du schéma réactionnel ;
 - Il est Vérifié expérimentalement.

a. Equation de Michaelis : modèle simple

- L'élaboration de ce modèle a été basé sur des recherches théoriques à des fins pratiques.
- Hypothèse :
 - la réaction entre l'enzyme et le substrat comporte un intermédiaire ; le complexe E-S ;
 - La réaction est en équilibre.



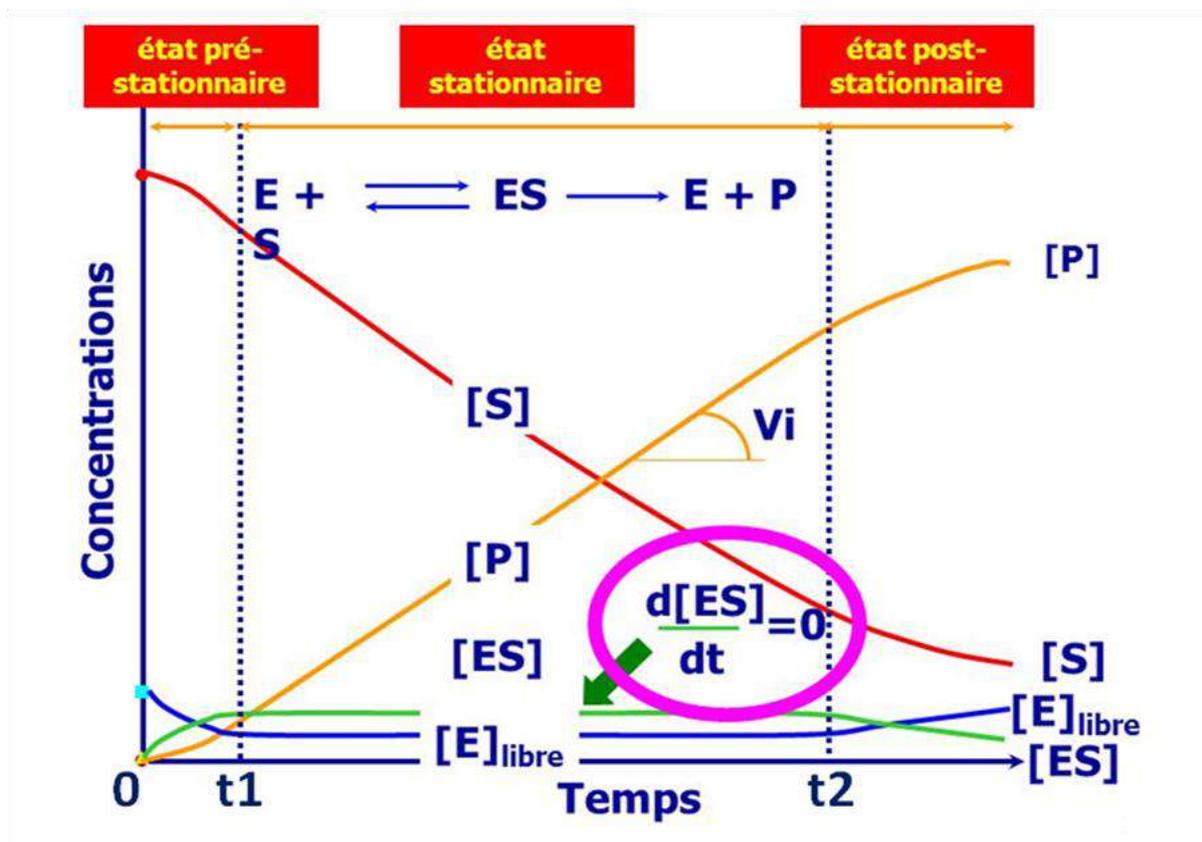
- Par cette hypothèse : calcul de la vitesse
- La décomposition du complexe E-S libère le produit P.



k_1, k_{-1}, k_2 et k_{-2} sont des constantes de vitesses.

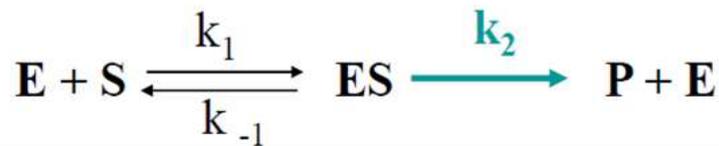
Notions d'états pré – stationnaire, stationnaire et post – stationnaire :

- **Etat pré – stationnaire** : le début de la réaction, la formation du complexe ES augmente.
- **Etat stationnaire** : la concentration du complexe ES se stabilise ; il s'agit des conditions initiales et la vitesse de réaction est constante.
- **Etat post – stationnaire** : la concentration du complexe ES diminue, le substrat commence à s'épuiser progressivement. La vitesse de la réaction diminue pour finalement s'annuler entièrement.



Equation de Michaelis:

- Les paramètres cinétiques de la réaction sont déterminés à l'état stationnaire.
- A l'état stationnaire c'est-à-dire dans les conditions initiales, le modèle se simplifie en :



k_2 est supposé très inférieur à K_1 et k_{-1}

La vitesse de réaction s'exprime par :

$$\text{Vitesse de réaction: } V = k_2 [\text{ES}]$$

$$v = - \frac{d[\text{S}]}{dt} \quad \text{ou} \quad v = \frac{d[\text{P}]}{dt}$$

vitesse de formation de ES: $= k_1 [\text{E}] [\text{S}]$

vitesse de dissociation de ES $= (k_{-1} + k_2) [\text{ES}]$

à l'état stationnaire: $[\text{ES}] = \text{Cste}$ donc $k_1 [\text{E}] [\text{S}] = (k_{-1} + k_2) [\text{ES}]$

$$[\text{ES}] = \frac{[\text{E}] [\text{S}]}{\underbrace{(k_{-1} + k_2) / k_1}_{K_m}}$$

$$\longrightarrow [\text{ES}] = \frac{[\text{E}] [\text{S}]}{K_m}$$

K_m est la constante de Michaelis

Vitesse de réaction: $V = k_2 [ES]$

$$[E] = [E_T] - [ES] \quad \text{si } [S] \gg [E]$$

$$[ES] = \frac{([E_T] - [ES]) [S]}{K_m} \quad \Rightarrow \quad [ES] = [E_T] \frac{[S]}{[S] + K_m}$$

$$V = k_2 [E_T] \frac{[S]}{[S] + K_m}$$

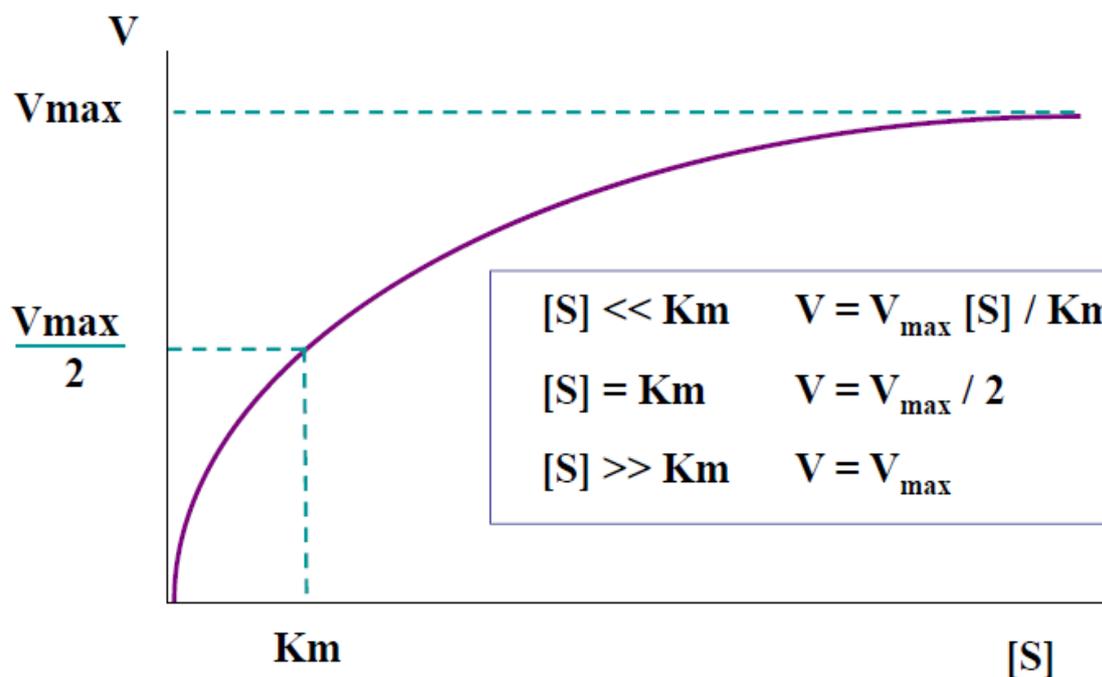
K_m est la constante catalytique

Equation de Michaelis

$$V = V_{\max} \frac{[S]}{[S] + K_m}$$

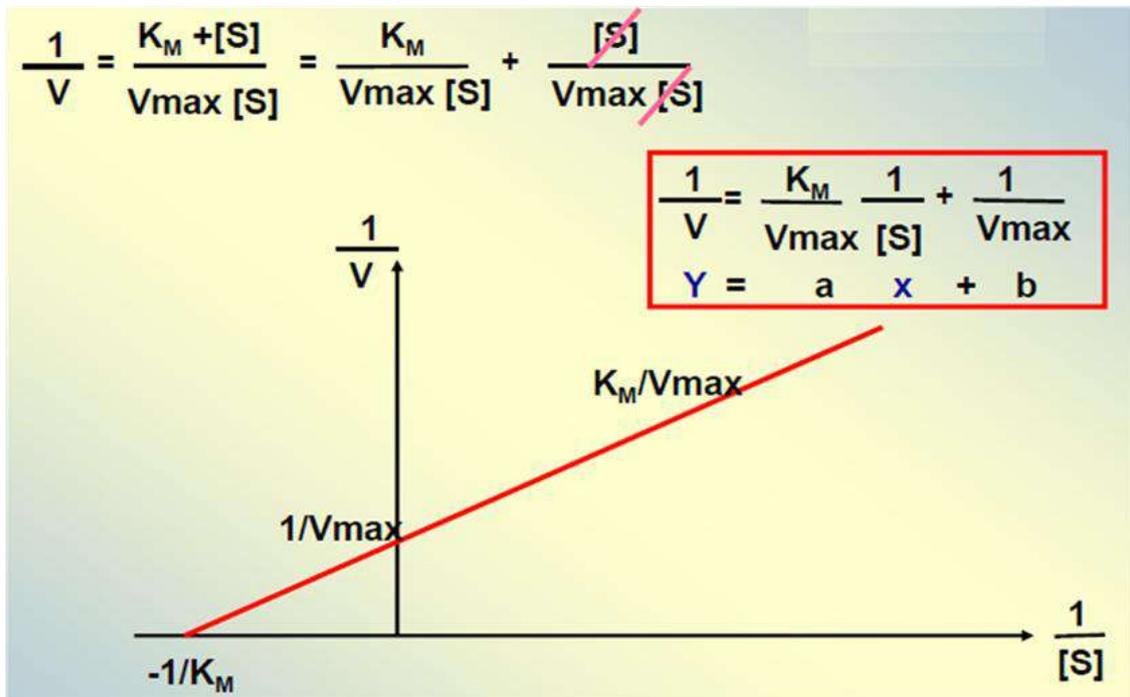
Représentation graphique

$$V = V_{\max} \frac{[S]}{[S] + K_m}$$

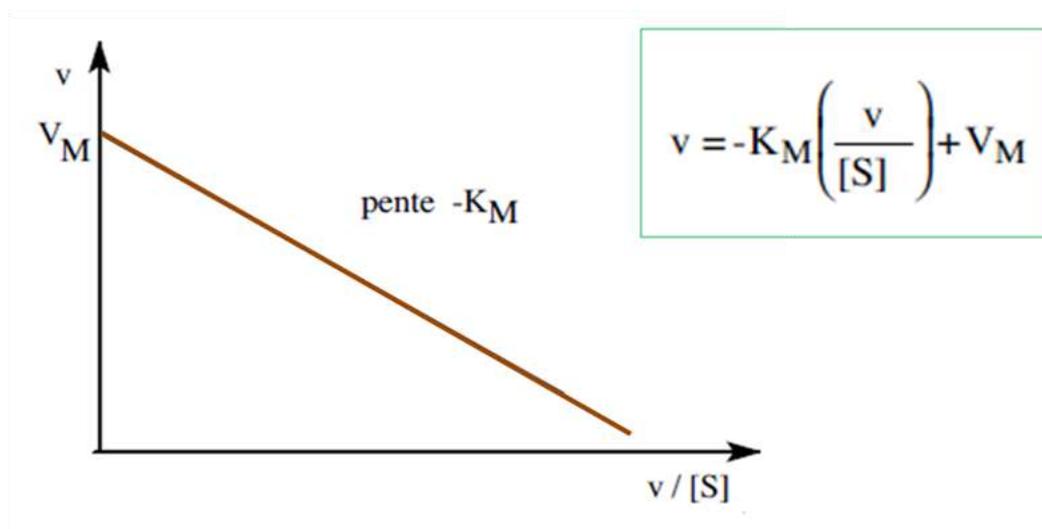


Détermination graphique des paramètres cinétique:

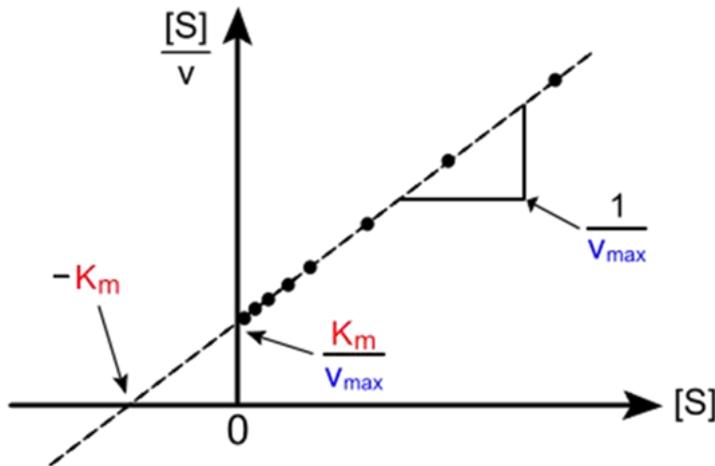
Représentation de LINEWEAVER et BURK : $1/v = f(1/S)$



Représentation de EADIE - HOFSTEE :



Représentation de HANES WOOL :



$$\frac{[S]}{v} = \frac{[S]}{V_{\max}} + \frac{K_m}{V_{\max}}$$

Ces représentations offrent l'avantage de permettre la détermination plus précise de K_M et V_{\max} . De plus, étant une droite, elle nécessite moins de points expérimentaux.

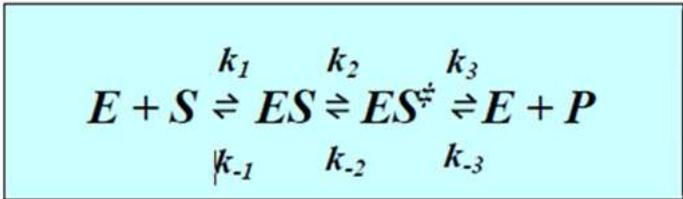
b. Equation de Michaelis : modèle plus complexe

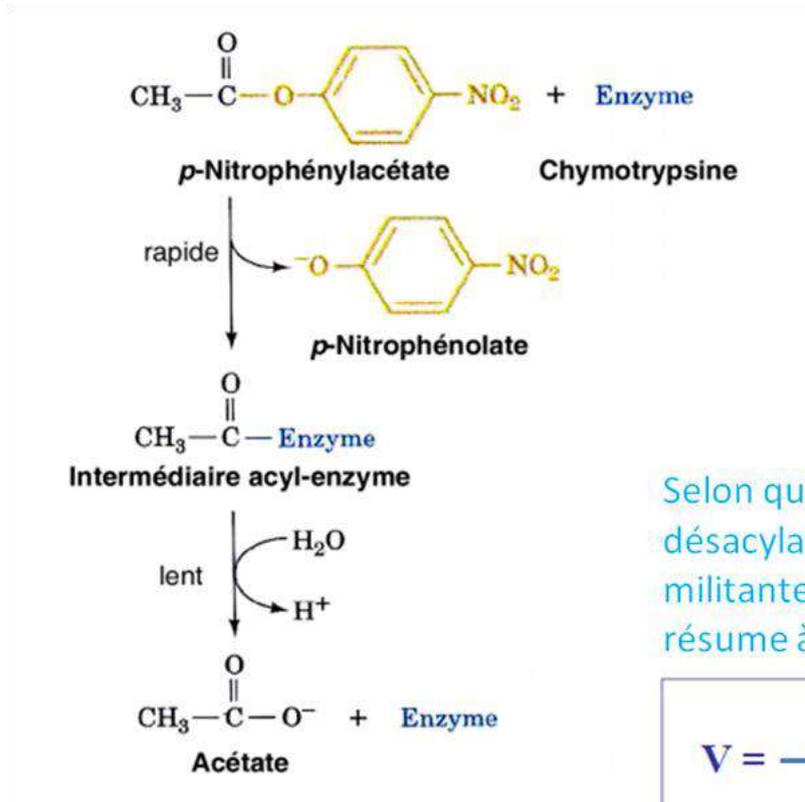
Pour étudier les caractéristiques cinétiques des enzymes d'autres modèles plus complexes ont été proposés mettant en jeu :

- Plusieurs complexes intermédiaires ;
- Plusieurs substrats.

Présence de plusieurs complexes intermédiaires :

Certaines enzymes protéolytiques: enzymes à sérine; une étape d'acylation (acyl – enzyme) et une autre étape de désacylation.





Selon que l'acylation ou la désacylation est une étape limitante ou pas l'équation se résume à :

$$V = \frac{K_{\text{cat}} \cdot [\text{ET}] \cdot [\text{S}]}{K_{\text{Mapp}} + [\text{S}]}$$

Système à plusieurs substrats :

Un seul substrat : simplification du système.

La plupart des enzymes catalysent des réactions à 2 (ou 3 et plus) donnant 2 (ou 3 ou plus) produits.

Réactions à 2 substrats :

Réactions catalysées par oxydoréductases, transférases et ligases



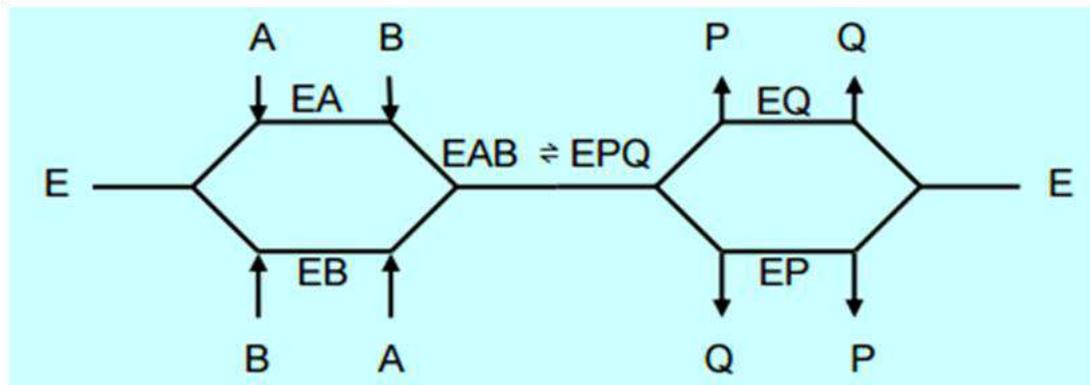
A et B : 2 Substrats

P et Q : 2 Produits

Il existe deux grandes catégories pour les réactions à deux substrats :

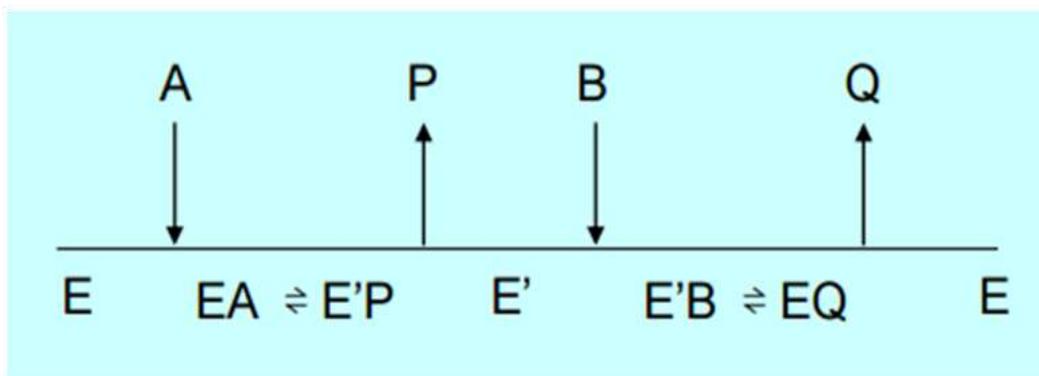
- Complexes ternaires : complexe contenant l'enzyme et deux substrats : l'acte catalytique se réalise en une seule fois ; réaction par simple déplacement.

Mécanisme séquentiel au hasard

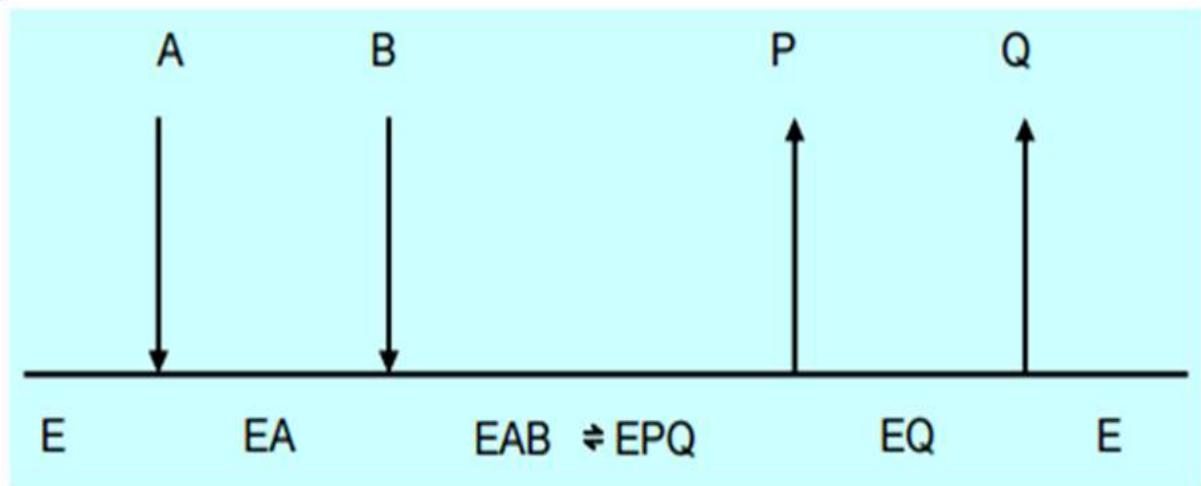


- Complexes binaires : complexe contenant l'enzyme et un seul des deux substrats : l'acte catalytique se réalise en deux fois ; réaction par double déplacement, il provoque une modification de l'enzyme et des deux substrat .

Mécanisme Enzyme substitué (Ping – Pong)



Mécanisme ordonné ou obligatoire



Bon courage



LIENS UTILES 🙌

Visiter :

1. <https://biologie-maroc.com>

- Télécharger des cours, TD, TP et examens résolus (PDF Gratuit)

2. <https://biologie-maroc.com/shop/>

- Acheter des cahiers personnalisés + Lexiques et notions.
- Trouver des cadeaux et accessoires pour biologistes et géologues.
- Trouver des bourses et des écoles privées

3. <https://biologie-maroc.com/emploi/>

- Télécharger des exemples des CV, lettres de motivation, demandes de ...
- Trouver des offres d'emploi et de stage

