

Modèles en Sciences de la Vie  
Chapitre 4  
Modèles  
Caractérisation des enzymes par des mesures  
cinétiques

V. Garlatti  
virginie.garlatti@univ-tln.fr  
Bureau U 025

2023

# Quelques grands noms de l'enzymologie



Joseph Louis Gay Lussac  
1778-1850  
Fermentation alcoolique  
Alcomètre (1830)



Justus von Liebig  
1803-1873  
Fermentation alcoolique  
1830 "ferment"



Justus von Liebig  
1803-1873  
Fermentation alcoolique  
1830 "ferment"



Louis Pasteur  
1822-1895  
Fermentations  
microbiologie



Victor Henry  
1872-1940  
Enzymologie : invertase  
équation (reversible)



Maud Menten  
1879-1960  
Enzymologie  
équation



Leonor Mickaëlis  
1875-1949  
Enzymologie  
équation

# Vers une définition des enzymes : travail par groupe 10'

**Hydrolyse** : séparation d'une molécule en deux molécules plus petite sous l'effet de l'eau :

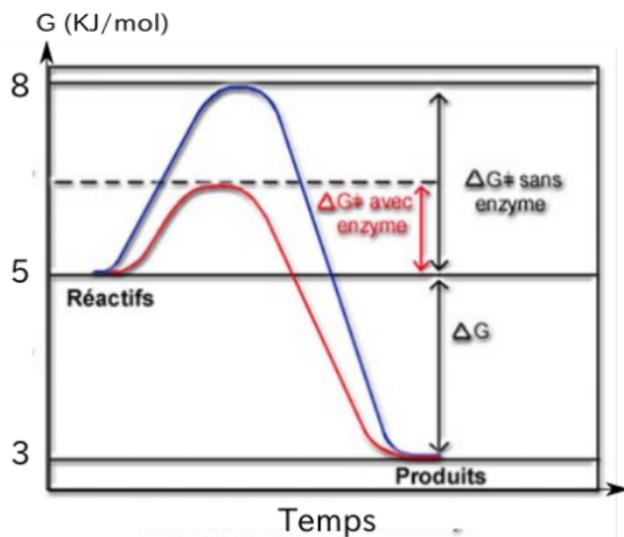
Réactifs	Amidon + eau	Amidon +eau + HCl	Amidon + eau + amylase
Température	ambiante	100	ambiante
Temps de réaction	plusieurs jours	2h	1 à 2mn
Produits	Glucose	glucose+HCl	glucose+amylase

## Questions :

- ◇ Quelle est la réaction dans chaque cas ?
- ◇ Quel est le rôle du HCl et de l'amylase ?
- ◇ Quel est la différence entre le HCl et L 'amylase ?

# Vers une définition des catalyseurs : travail par groupe 10'

**Diagramme de l'énergie de Gibbs** : La variation de l'énergie de Gibbs au cours du temps d'une réaction chimique est présentée.



## Questions :

- ◇ Calculez le  $\Delta G$  de la réaction avec et sans enzyme.
- ◇ Décrivez l'évolution de l'énergie libre de la réaction au cours du temps.
- ◇ Quelle est la différence entre la réaction catalysée par l'enzyme et la réaction non catalysée ?
- ◇ De quoi dépend la vitesse d'une réaction ?

# Vers une définition des catalyseurs : stabilisation de l'état de transition

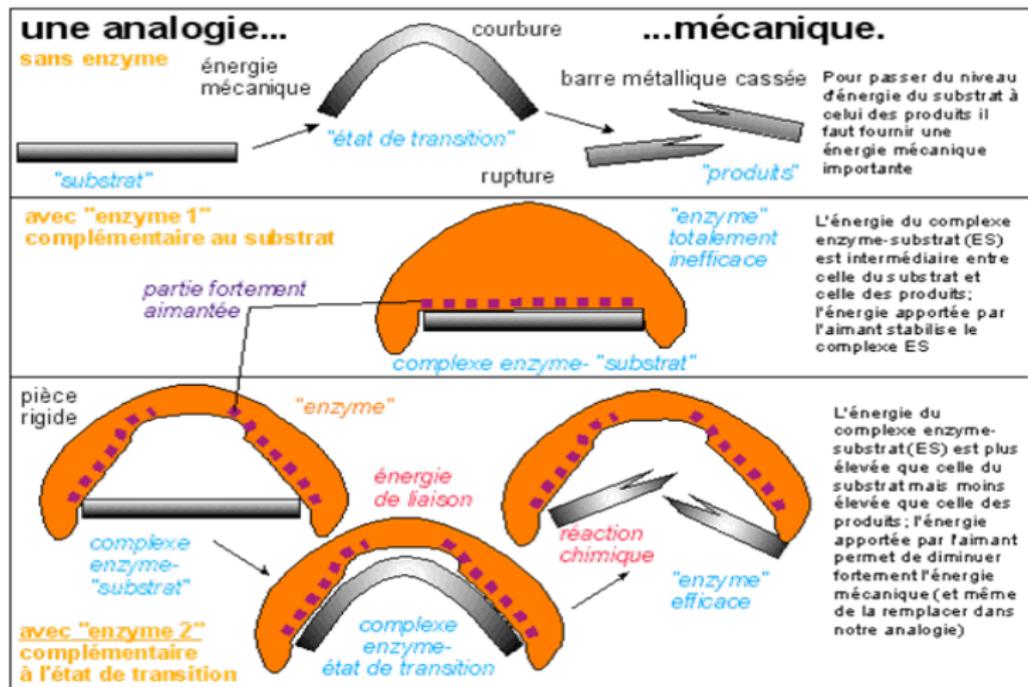
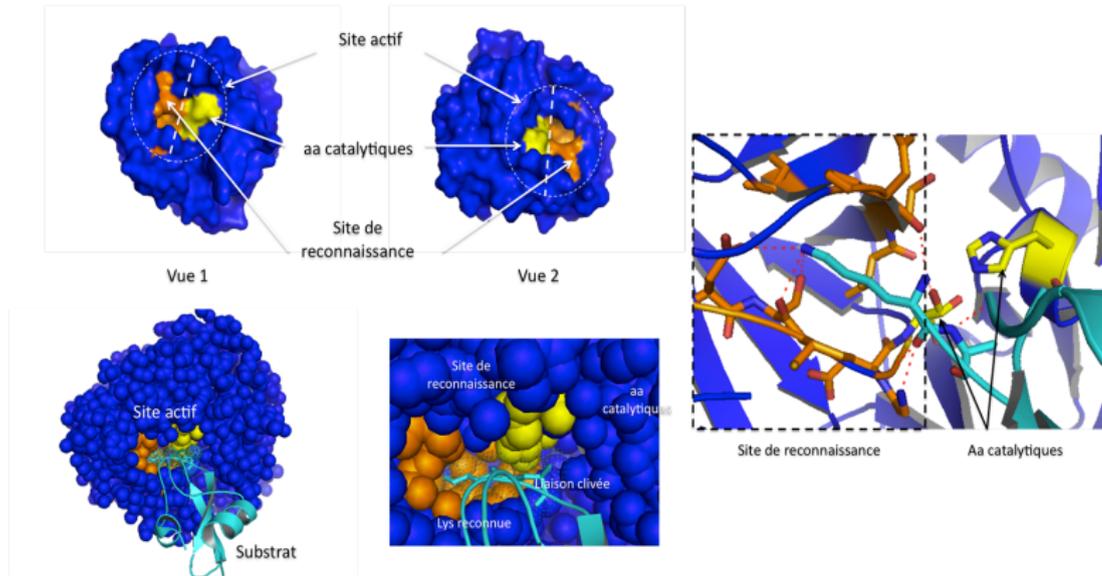


Figure 1. Les enzymes seraient complémentaires de l'état de transition

# Interaction de l'enzyme avec son substrat

**Exercice :** Observation de la structure d'une protéase à sérine qui coupe après lysine ou arginine (Trypsine) 15'

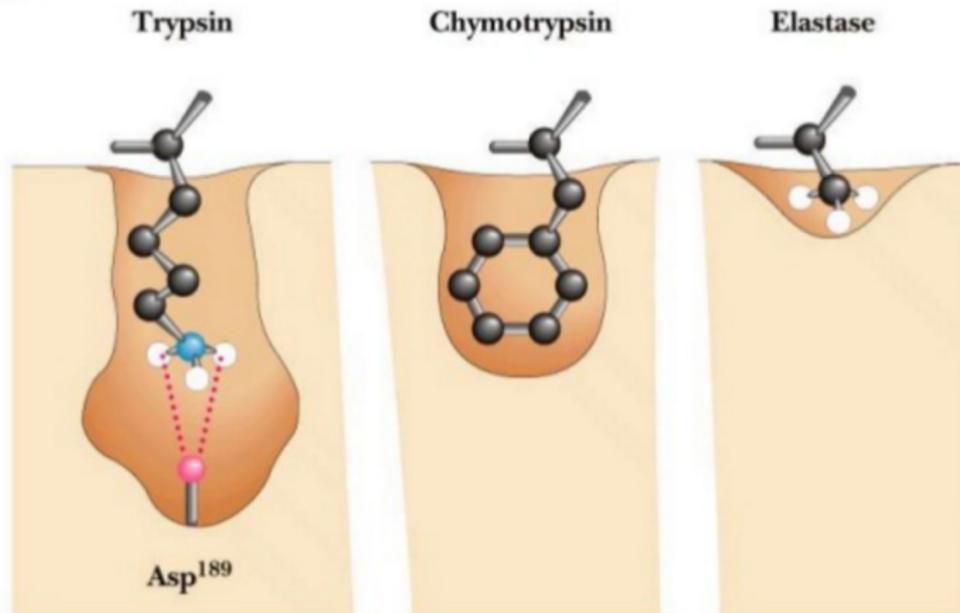


**Questions :** Forme générale de la protéine ? Où est le substrat ? Proposez un fonctionnement ?

# Interaction de l'enzyme avec son substrat

## Les sites de reconnaissance des protéases à sérine

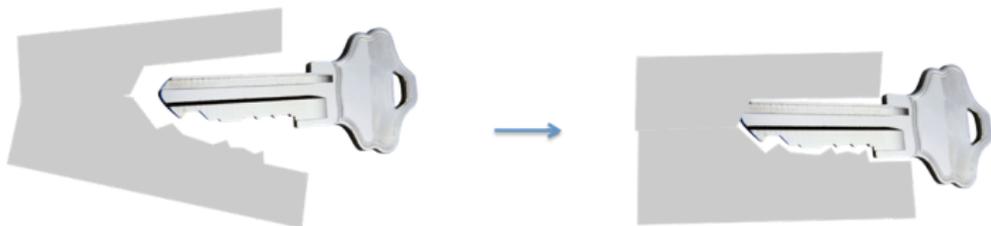
Garrett & Grisham: Biochemistry, 2/e  
Figure 16.19



# Complexe enzyme-substrat



Modèle clef-serrure



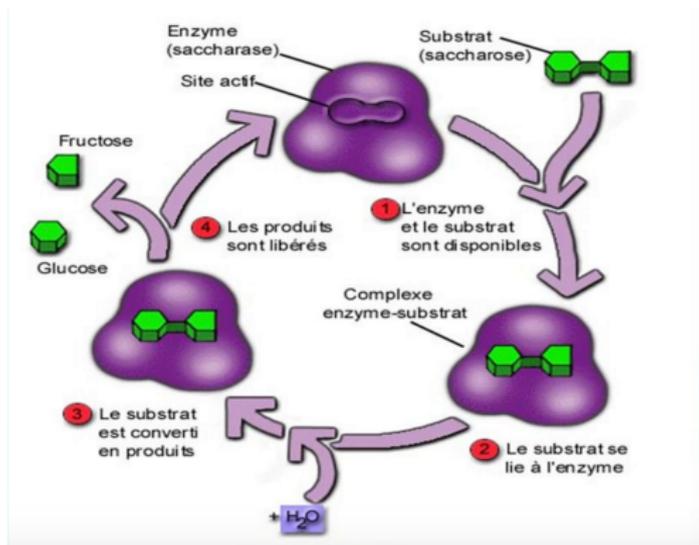
Modèle de l'ajustement induit

# La réaction enzymatique

Donnez les étapes élémentaires d'une réaction enzymatique à 1S, 1P.

# La réaction enzymatique

Donnez les étapes élémentaires d'une réaction enzymatique à 1S, 1P.



Proposez des étapes pour une réaction à 2S, 2P

# Les autres acteurs de la réaction

**Ligand** : Molécule qui se fixe sur un site SPECIFIQUE sur l'enzyme sans être modifiée

**Co-facteur** : Molécule nécessaire à la réaction enzymatique : ions ou coenzyme (molécule biologique complexe)

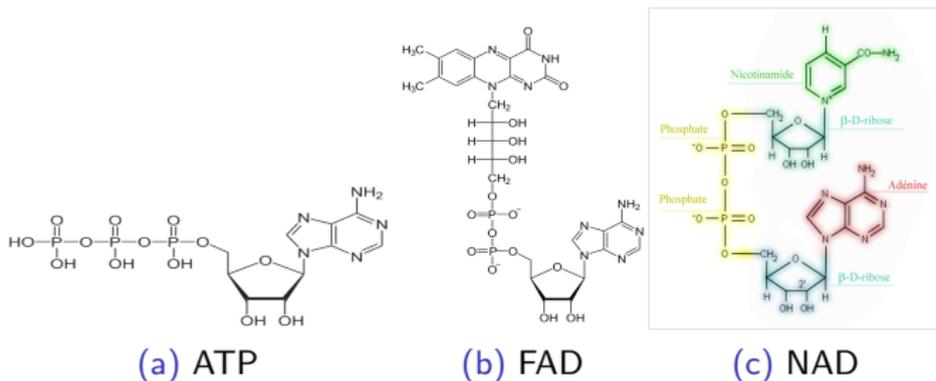


Figure – Quelques exemples de coenzymes

# La catalyse

Décrivez le cycle catalytique de la protéase à sérine ci-dessous (15' par groupes de 4)

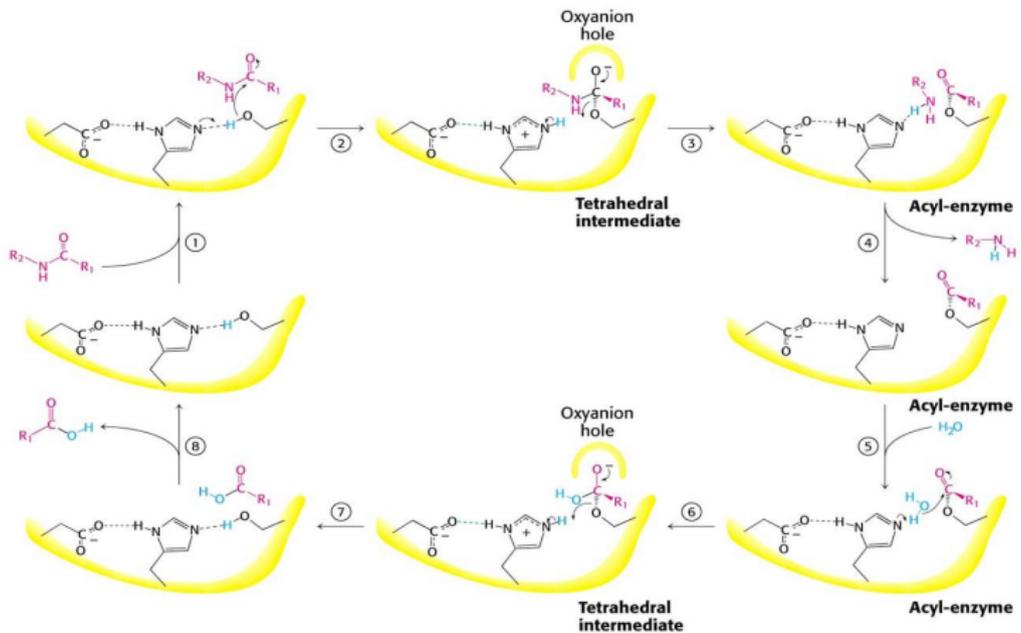


Figure – Exemple de la catalyse du clivage d'un peptide par une protéase 11/68

## La classification des enzymes

Class	Reaction type	Important subclasses
1 Oxidoreductases	<p>○ = Reduction equivalent</p> <p>A<sub>red</sub> + B<sub>ox</sub> ⇌ A<sub>ox</sub> + B<sub>red</sub></p>	Dehydrogenases Oxidases, peroxidases Reductases Monooxygenases Dioxygenases
2 Transferases	<p>A-B + C ⇌ A + B-C</p>	C <sub>1</sub> -Transferases Glycosyltransferases Aminotransferases Phosphotransferases
3 Hydrolases	<p>A-B + H<sub>2</sub>O ⇌ A-H + B-OH</p>	Esterases Glycosidases Peptidases Amidases
4 Lyases ("synthases")	<p>A + B ⇌ A-B</p>	C-C-Lyases C-O-Lyases C-N-Lyases C-S-Lyases
5 Isomerases	<p>A ⇌ Iso-A</p>	Epimerases <i>cis trans</i> Isomerases Intramolecular transferases
6 Ligases ("synthetases")	<p>A + B + XTP ⇌ A-B + XDP</p> <p>X = A, G, U, C</p>	C-C-Ligases C-O-Ligases C-N-Ligases C-S-Ligases

# La classification des enzymes

Classification officielle des enzymes		
<b>EC 1 Oxydo-réductases</b>		
1.2 sur aldéhyde ou oxo	Formiate deshydrogenase	1.2.1.2
1.3 sur liaison C-C	Fumarate réductase	1.3.1.6
1.4 sur liaison amine	Glutamate déshydrogénase	1.4.1.2
1.11 utilise H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Catalase	1.11.1.6
<b>EC 2 Tranférases</b>		
2.1 tr. Groupe 1 seul C	Sérine hydroxyméthyl transf.	2.1.2.1
2.7 tr. Groupe avec P	Pyruvate kinase	2.7.1.40
<b>EC 3 Hydrolases</b>		
3.1 sur esters	Acétylcholine estérase	3.1.1.7
3.4 liaison peptidique	chymotrypsine	3.4.4.5
<b>EC 4 Lyases</b>		
4.1 sur liaison C-C	Glutamate décarboxylase	4.1.1.15
4.6 sur P-O	Adénylate cyclase	4.6.1.1
<b>EC 5 Isomérases</b>		
5.1 Racémases, épimérases	UDP-glc-4-épimérase	5.1.3.2
<b>EC 6 Ligases</b>		
6.1 Forment C-O	Alanyl-ARNt-synthétase	6.1.1.7

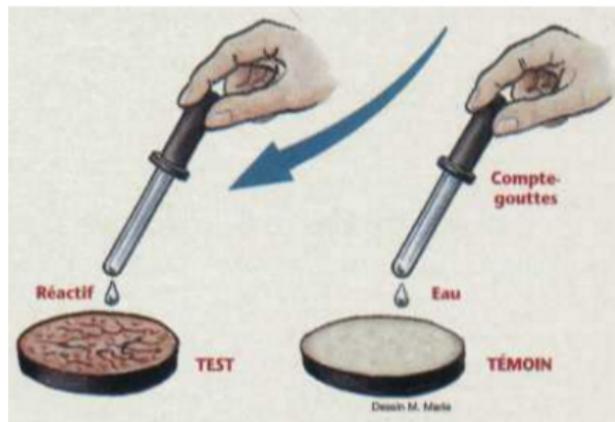
## Comment étudier les enzymes ?

- ◇ A quoi servent les enzymes ?
- ◇ Qu'est-ce qu'on aimerait connaître sur chaque enzyme (10' groupe 4) ?
- ◇ Pour chaque point à découvrir que feriez vous (10mn groupe 4) ?

# Comment fait-on ?

## Exercice

- ◇ Réactif : Gaiacol et H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>
- ◇ Propriété radis noir : présence d'une peroxydase qui catalyse la formation de gaiacol oxydé et H<sub>2</sub>O

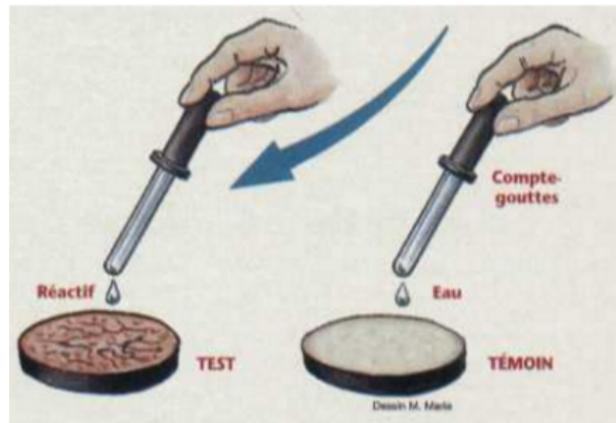


## Travail par groupe de 4

- ◇ Ecrire la réaction catalysée par la peroxydase du radis noir
- ◇ Proposez une méthode pour mesurer l'activité de cette peroxydase sous forme pure.

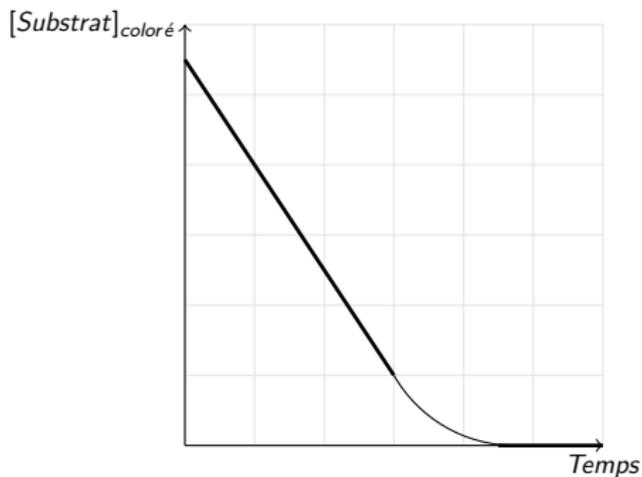
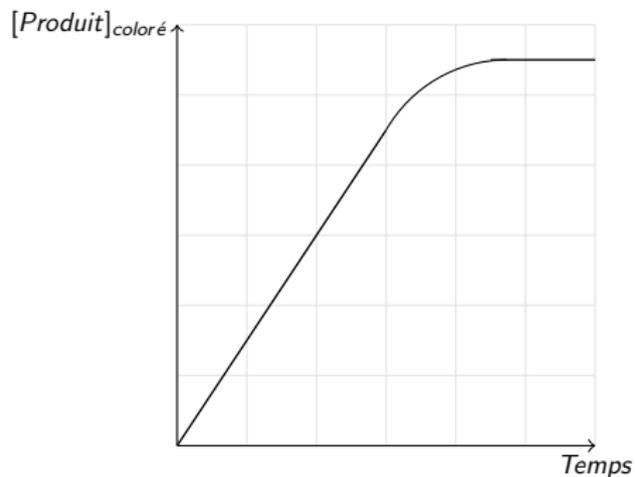
# Comment fait-on ?

Voici les résultats obtenus.  
Tracez la courbe.

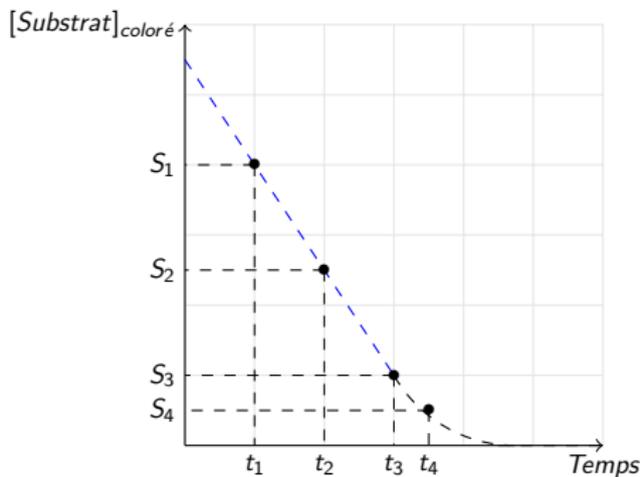
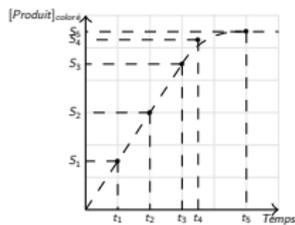


t(s)	24	48	72	96	120	168	240	450	600
A	0,41	0,74	1	1,2	1,37	1,6	1,8	2	2

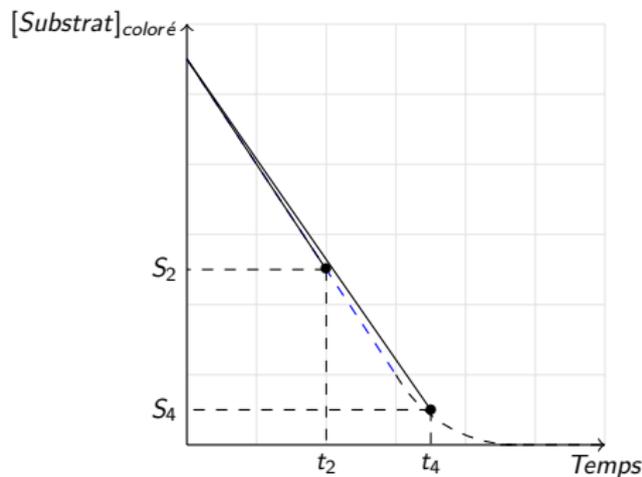
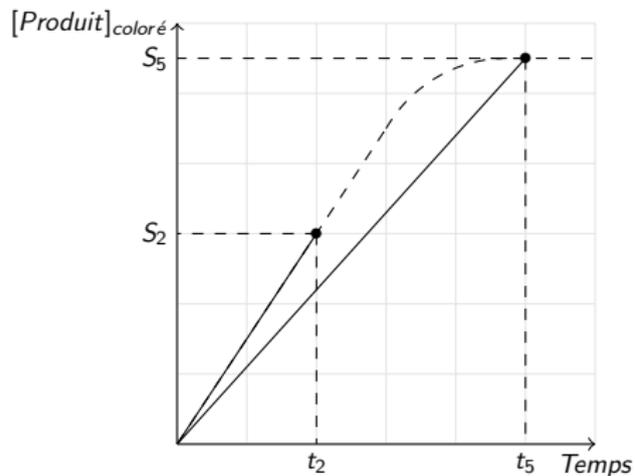
# Les différentes méthodes de mesure : continue



# Les différentes méthodes de mesure : point par point

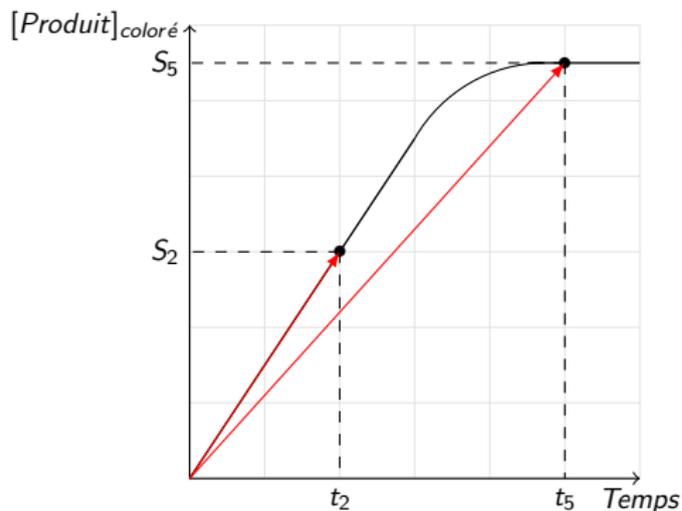


## Les différentes méthodes de mesure : point final



Comparez ces trois résultats

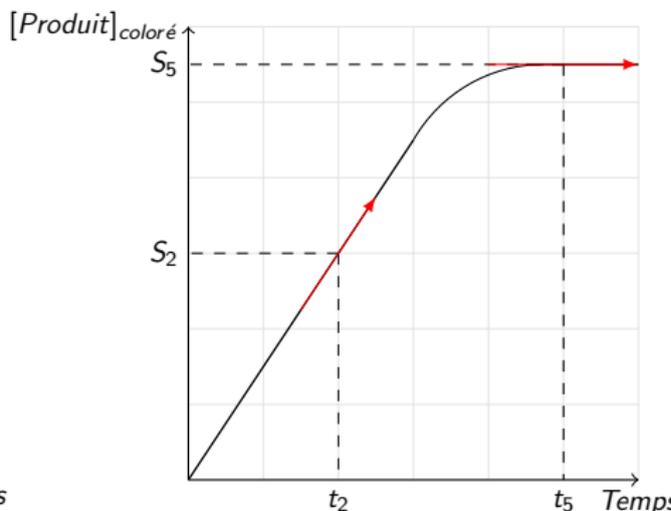
# Choix des vitesses de réaction



Vitesses moyennes

**La vitesse moyenne**

$$\bar{V}_{t_1-t_2} = \frac{\Delta(P)}{\Delta(t)} = \frac{P_1 - P_2}{t_1 - t_2}$$



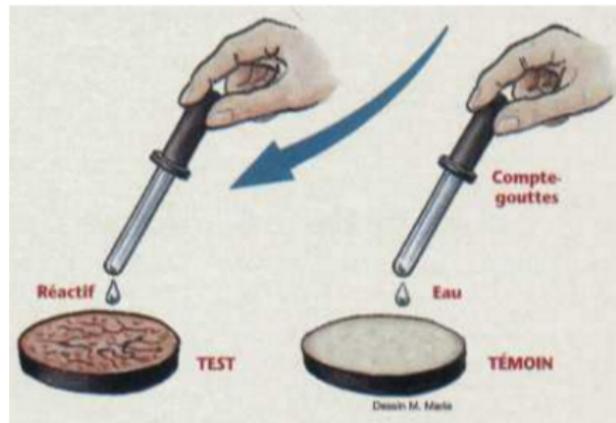
Vitesses instantanées

**La vitesse instantanée à t1**

$$v = \frac{dP}{dT}$$

# Calcul de la vitesse de réaction

Reprenez la courbe obtenue précédemment et calculez la vitesse de la réaction (5' en groupe de 4) .  
Tracez la courbe.

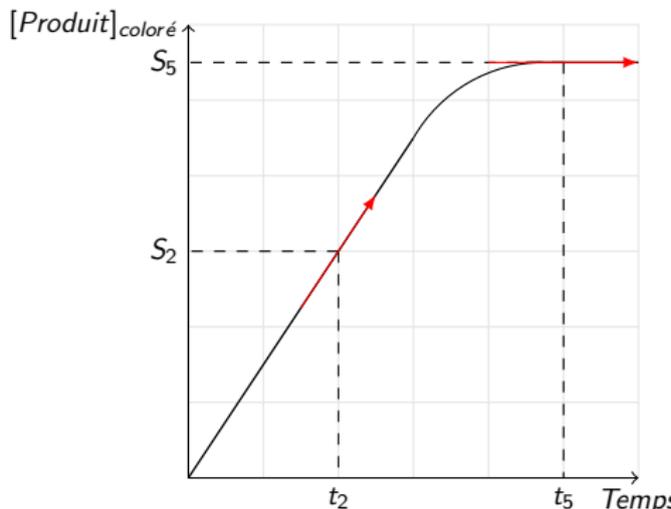


t(s)	24	48	72	96	120	168	240	450	600
A	0,41	0,74	1	1,2	1,37	1,6	1,8	2	2

# Réaction enzymatique 1S, 1P



- ◇ Comment évolue la vitesse de réaction au cours du temps ?
- ◇ Quand-est-ce que la vitesse est maximale ?

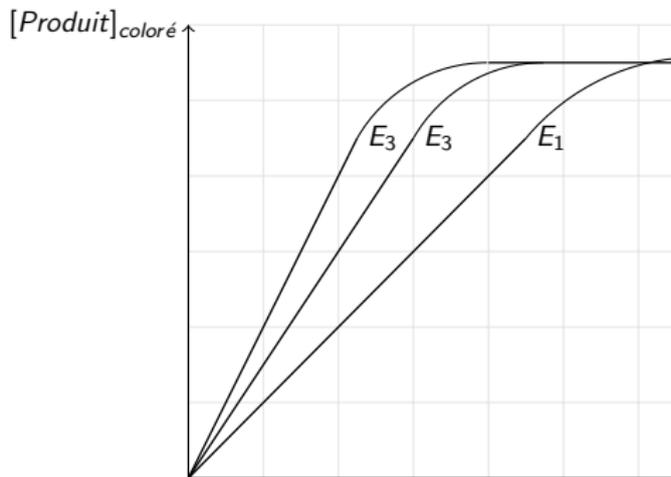


Vitesses instantanées

# Réaction enzymatique 1S, 1P : influence de l'enzyme



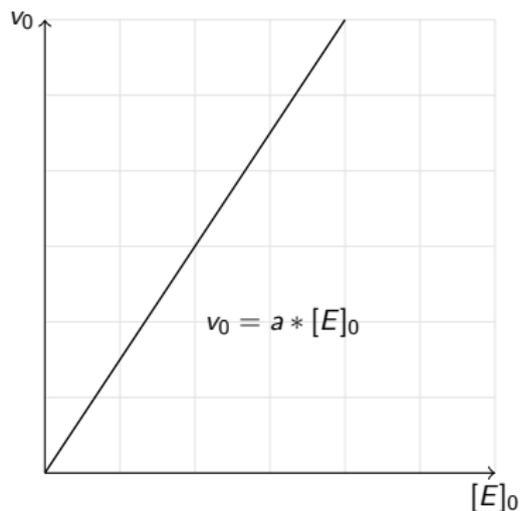
- ◇ La concentration en enzyme modifie-t-elle la quantité finale de produit ?



## Réaction enzymatique 1S, 1P : influence de l'enzyme



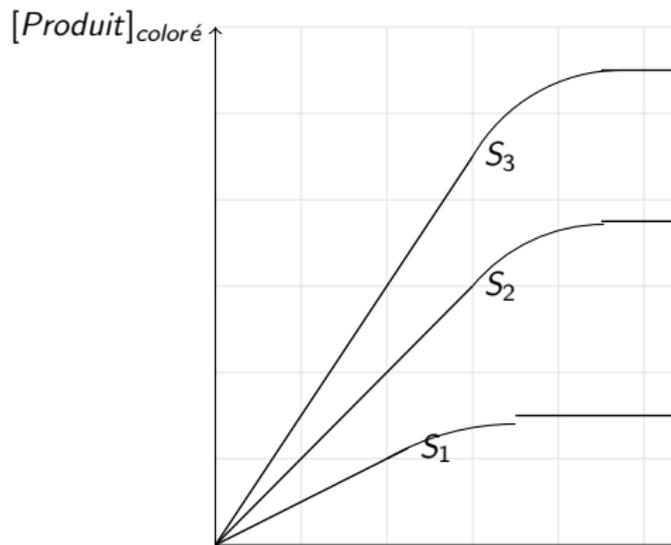
- ◇ Comment la vitesse initiale évolue avec la concentration en enzyme ?



# Réaction enzymatique 1S, 1P : influence du substrat



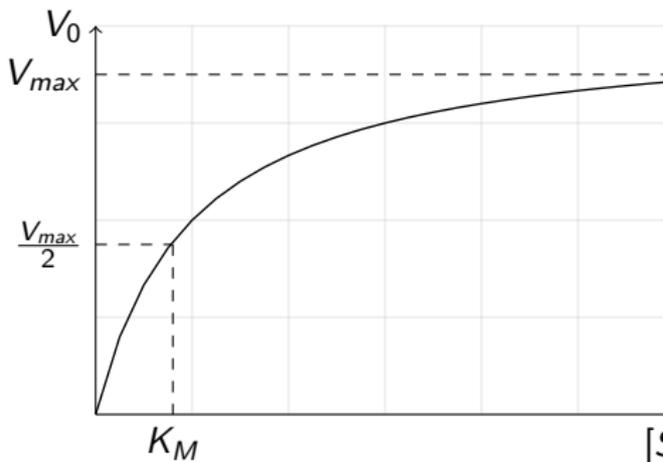
- ◇ La concentration en substrat modifie-t-elle la quantité finale de produit ?



# Réaction enzymatique 1S, 1P : influence du substrat



- ◇ Comment la vitesse initiale évolue avec la concentration en substrat ?



# Réaction enzymatique 1S, 1P :exercice

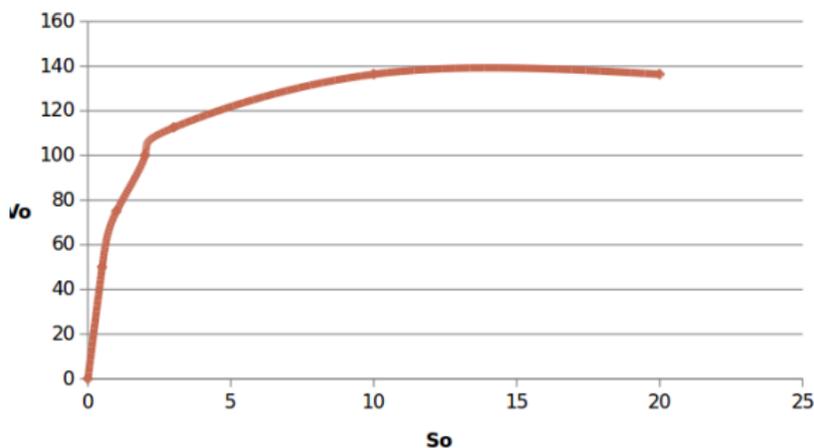
**Exercice** : voici les vitesses initiales mesurées pour un enzyme en présence de différentes concentration en substrat. Tracez la courbe et déterminez  $V_{max}$  et  $K_M$  graphiquement. (exercice personnel , 10mn)

$S_0$ mM	0,5	1	2	3	10
$V_0$	50	75	100	112,5	136,4

# Réaction enzymatique 1S, 1P :exercice

**Exercice** : voici les vitesses initiales mesurées pour un enzyme en présence de différentes concentration en substrat. Tracez la courbe et déterminez  $V_{max}$  et  $K_M$  graphiquement. (exercice personnel , 10mn)

## Influence de la concentration en substrat

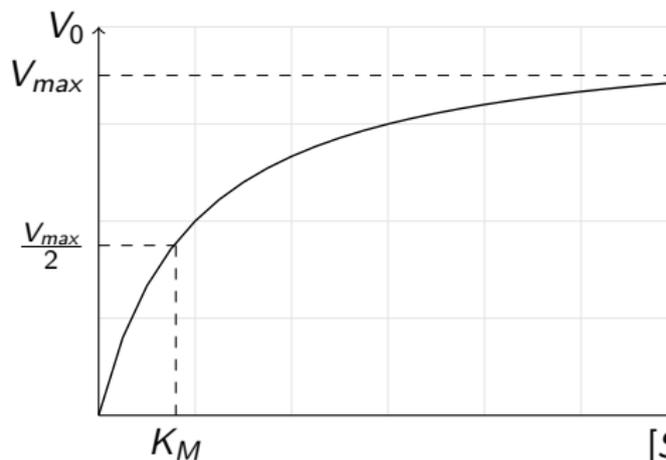


# Réaction enzymatique 1S, 1P : influence de la concentration en substrat



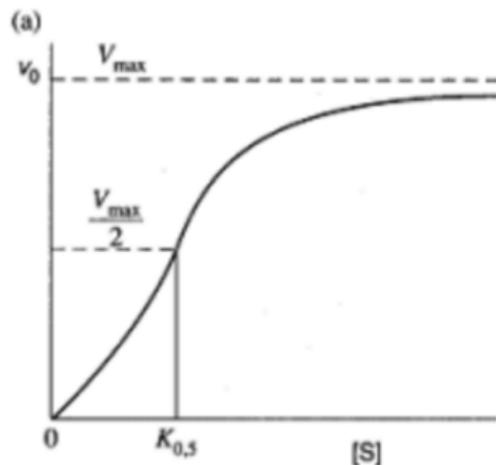
- ◇ Observation : hyperbole, plateau
- ◇ Conclusion : enzyme dite Mickaëlienne

$$V_0 = \frac{k_{cat} E_0 [S]_0}{K_M + [S]_0} = \frac{V_{max} [S]_0}{K_M + [S]_0}$$



# Réaction enzymatique 1S, 1P : influence de la concentration en substrat

- ◇ Observation :  
sigmoïde, plateau
- ◇ Conclusion :  
enzyme dite Allostérique



## Définition des constantes cinétiques $K_M$

**Définition :**  $K_M$  est la concentration en substrat pour laquelle la vitesse de la réaction est égale à la moitié de la vitesse maximale.

## Définition des constantes cinétiques $K_S$

**Définition :** Cette valeur est la constante de dissociation du complexe enzyme-substrat

## Définition des constantes cinétiques $K_{cat}$

**Définition :** Cette valeur est aussi appelée turnover number de l'enzyme car elle est égale au nombre de molécules de substrat converties en produit par unité de temps par une seule enzyme à saturation.

## Définition : Activité

**Définition :** Cette activité s'exprime en quantité de substrat pouvant être transformé par unité de temps dans des conditions de pH, tampon, température optimales et dans des conditions où l'enzyme est à saturation

## Définition : Activité Spécifique

**Définition :** L'activité spécifique est l'activité de l'enzyme rapportée à la masse de protéines présente dans l'échantillon

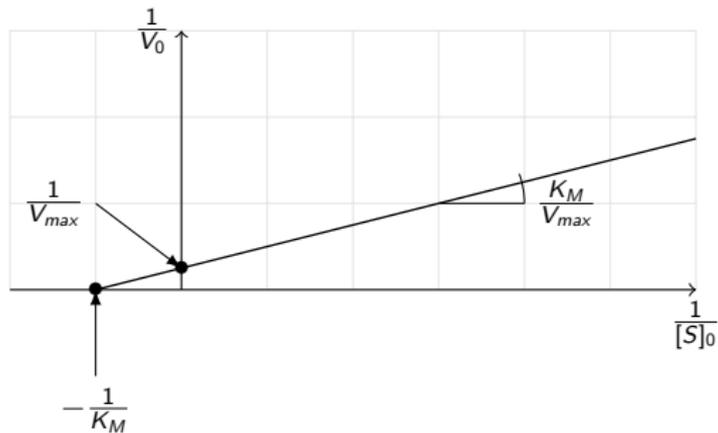
# Méthode de Lineweaver et Burk

**Exercice 2** : A partir des valeurs calculez  $1/V$  et  $1/S$  et tracez  $1/V=f(1/S)$  (10mn)

Quelle est la pente ? Quelle est l'ordonnée à l'origine ? En quel point la droite coupe l'axe des abscisses ?

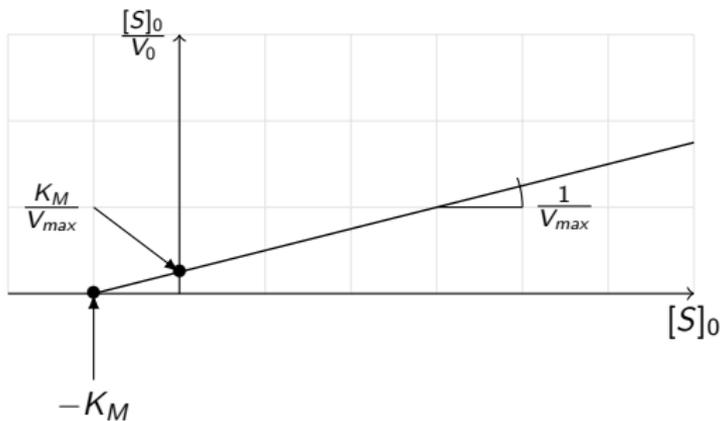
$S_0$ mM	0,5	1	2	3	10
$V_0$	50	75	100	112,5	136,4

# Méthode de Lineweaver et Burk

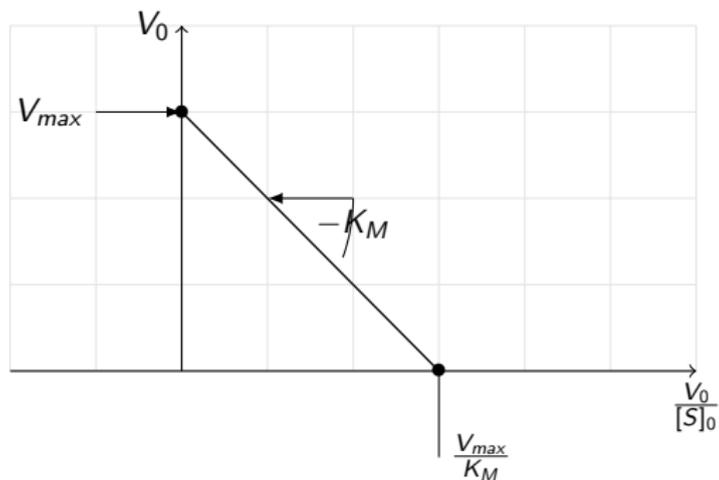


$$\frac{1}{V_0} = \frac{K_M}{V_{max}} * \frac{1}{[S]_0} + \frac{1}{V_{max}}$$

# Méthode de Hanes



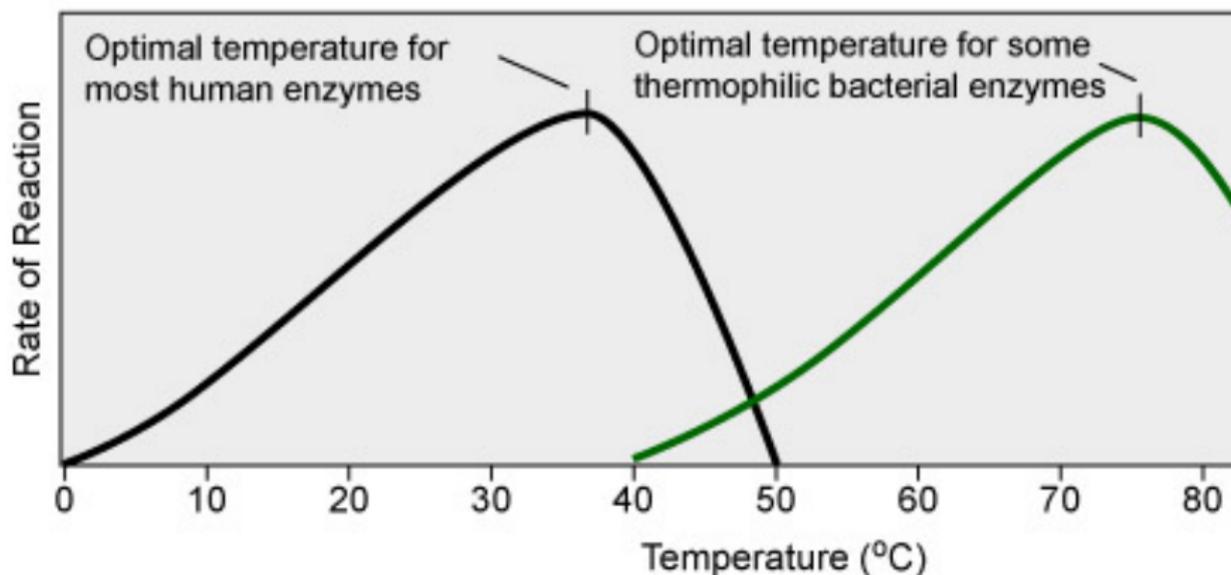
# Méthode d'Eadie et Hofstee



$$V_0 = V_{max} - K_M * \frac{V_0}{[S]_0}$$

# Influence des paramètres physico-chimiques

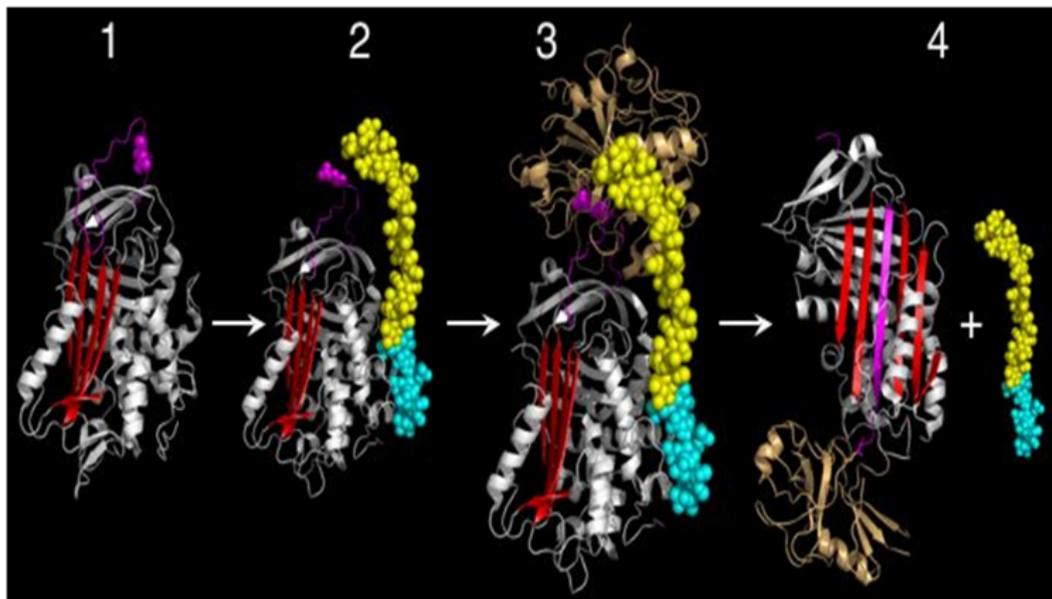
## Optimal Temperature and pH



Optimal pH for pepsin

Optimal pH for trypsin

# Les inhibiteurs irréversibles



1. Antitrombine native

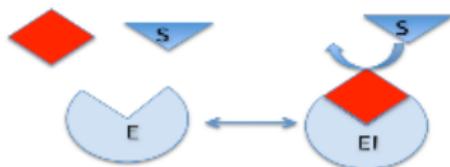
2. Antitrombine en présence d'héparine

3. Fixation de la thrombine (protéase à sérine)

4. Catalyse de l'anti-thrombine : complexe covalente entre l'enzyme et l'inhibiteur : inactivation des deux

# Les inhibiteurs réversibles

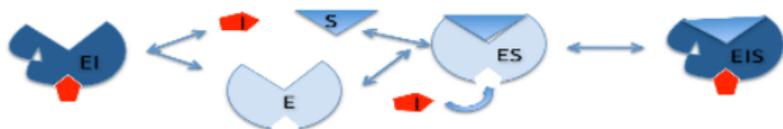
◇ Compétitif



◇ Uncompétitif



◇ Mixte



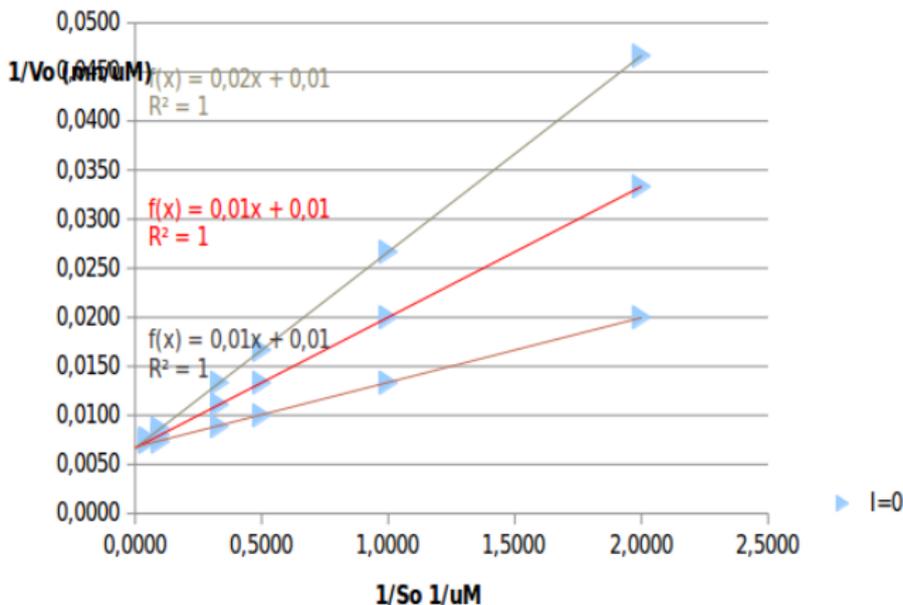
# Les inhibiteurs : effet des inhibiteurs sur la vitesse de réaction ?

**Exercice** : Voici les résultats obtenus avec un inhibiteur compétitif.  
Tracez  $1/V=f(1/S)$

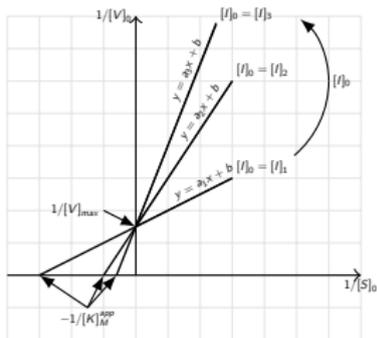
$1/[S]_0$ (mM)	2	0,5	0,05
$1/V _{I=0}$	0,0200	0,0100	0,0073
$1/V _{I=1mM}$	0,0333	0,0133	0,0073
$1/V _{I=2mM}$	0,0467	0,0167	0,0077

# Les inhibiteurs : effet des inhibiteurs sur la vitesse de réaction ?

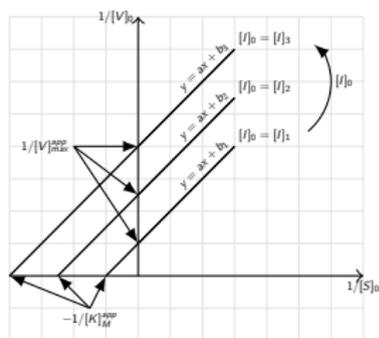
**Exercice** : Voici les résultats obtenus avec un inhibiteur compétitif.  
Tracez  $1/V = f(1/S)$



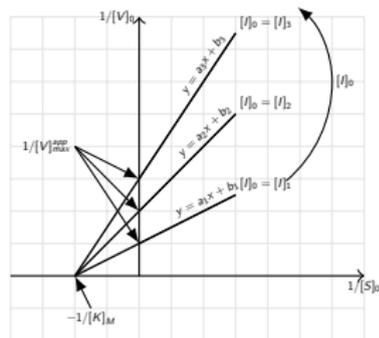
# Les inhibiteurs : effet des inhibiteurs sur la vitesse de réaction ?



· GRAPHIQUE PRIMAIRE :  $\frac{1}{[V]_0} = f\left(\frac{1}{[S]_0}\right)$



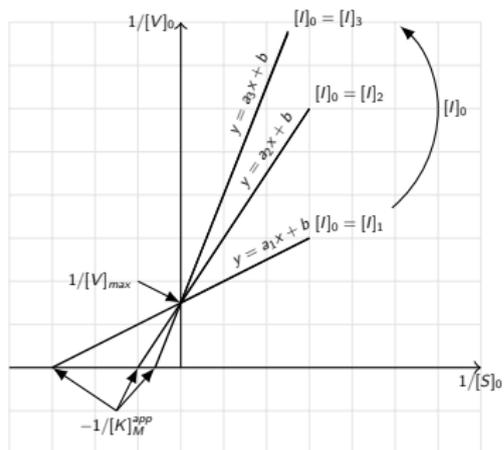
· GRAPHIQUE PRIMAIRE :  $\frac{1}{[V]_0} = f\left(\frac{1}{[S]_0}\right)$



· GRAPHIQUE PRIMAIRE :  $\frac{1}{[V]_0} = f\left(\frac{1}{[S]_0}\right)$

**Comparez ces trois graphiques**

# Les inhibiteurs : inhibition compétitive

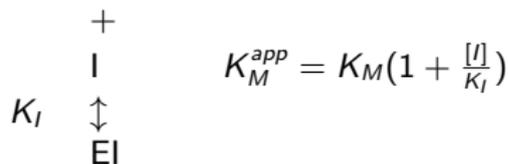


GRAPHIQUE PRIMAIRE :  $\frac{1}{[V]_0} = f\left(\frac{1}{[S]_0}\right)$

## Caractéristiques du mécanisme :

- ◇ Pas de modifications de  $V_{max}$
- ◇ Augmentation de  $K_M$

## Modèle et constantes cinétiques



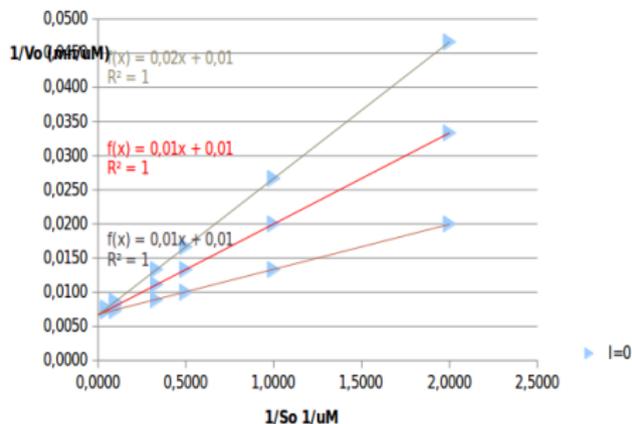
## Constante : $K_I$

Comment obtenir  $K_I$  ?



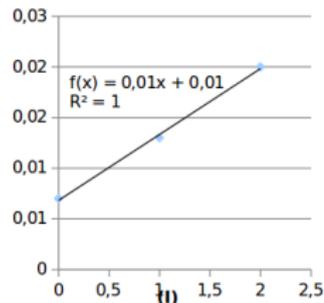
# Les inhibiteurs : inhibition compétitive

Reprenons l'exercice précédent. A partir du graphique obtenu, tracez pente =  $f(I)$

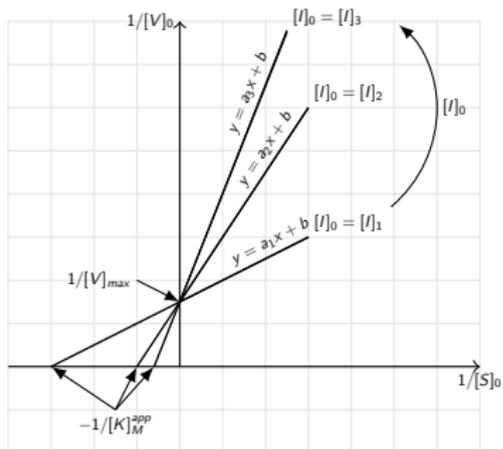


## graphique secondaire

pende des droites du premier graphique



# Les inhibiteurs : inhibition compétitive

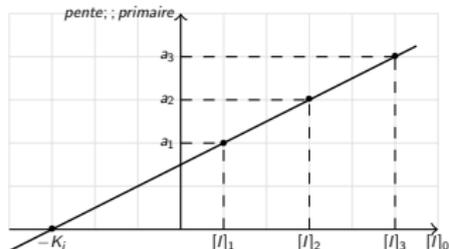


· GRAPHIQUE PRIMAIRE :  $\frac{1}{[V]_0} = f\left(\frac{1}{[S]_0}\right)$

## Caractéristiques du mécanisme :

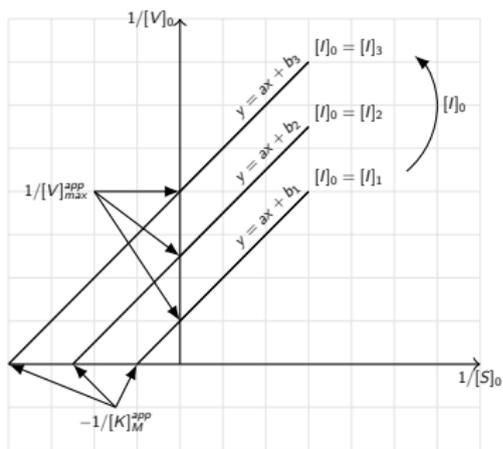
- ◇ Pas de modifications de  $V_{max}$
- ◇ Augmentation de  $K_M$

## Obtention de $K_I$



· GRAPHIQUE SECONDAIRE :  $\text{pente} = f([I]_0)$

# Les inhibiteurs : inhibition incompétitive

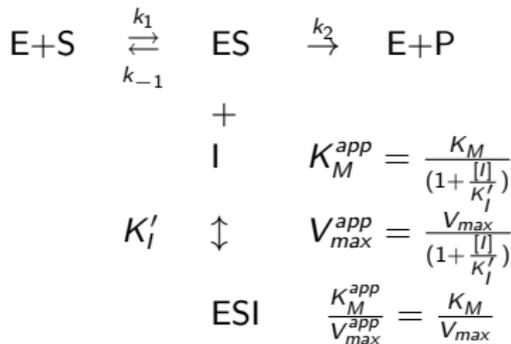


GRAPHIQUE PRIMAIRE :  $\frac{1}{[V]_0} = f\left(\frac{1}{[S]_0}\right)$

## Caractéristiques du mécanisme :

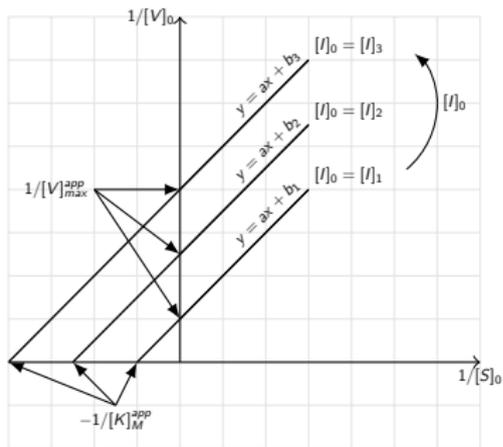
- ◇ Baisse de  $V_{max}$
- ◇ Baisse de  $K_M$
- ◇ Pente constante

## Modèle et constantes cinétiques



**Constante** :  $K'_I$   
 Comment obtenir  $K'_I$  ?

# Les inhibiteurs : inhibition incompétitive

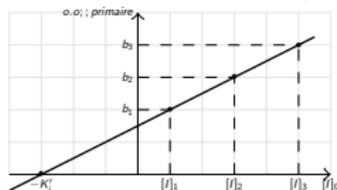


· GRAPHIQUE PRIMAIRE :  $\frac{1}{[V]_0} = f\left(\frac{1}{[S]_0}\right)$

## Caractéristiques du mécanisme :

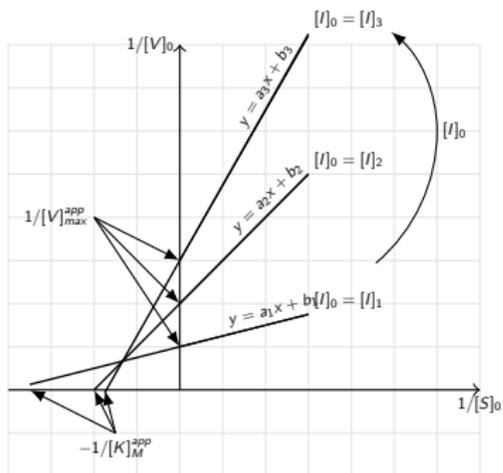
- ◇ Baisse de  $V_{max}$
- ◇ Baisse de  $K_M$
- ◇ Pente constante

## Obtention de $K'_I$

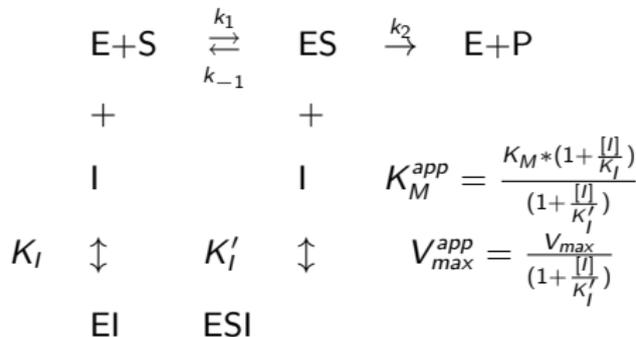


· GRAPHIQUE SECONDAIRE :  $o.o = f([I]_0)$

# Les inhibiteurs : inhibition mixte



GRAPHIQUE PRIMAIRE :  $\frac{1}{[V]_0} = f\left(\frac{1}{[S]_0}\right)$

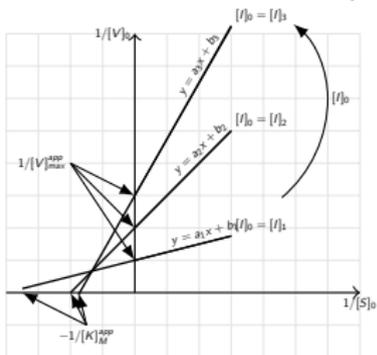


## Caractéristiques du mécanisme :

- ◇ Baisse de  $V_{max}$
- ◇ Pente variable

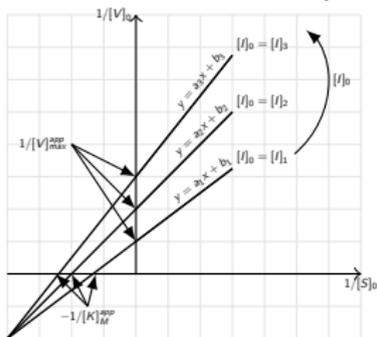
# Les inhibiteurs : inhibition mixte

## Graphiques : $K_i < K'_i$



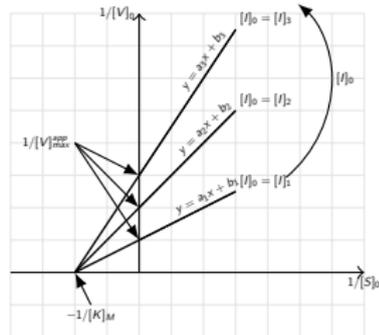
· GRAPHIQUE PRIMAIRE :  $\frac{1}{[V]_0} = f\left(\frac{1}{[S]_0}\right)$

## Graphiques : $K_i > K'_i$

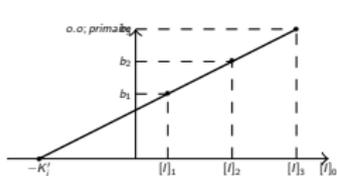


· GRAPHIQUE PRIMAIRE :  $\frac{1}{[V]_0} = f\left(\frac{1}{[S]_0}\right)$

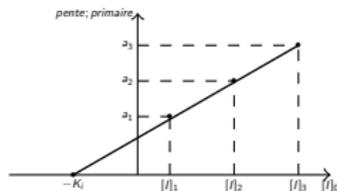
## Graphiques : $K'_i = K_i$



· GRAPHIQUE PRIMAIRE :  $\frac{1}{[V]_0} = f\left(\frac{1}{[S]_0}\right)$



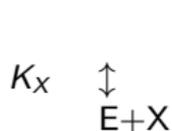
· GRAPHIQUE SECONDAIRE :  $o.o = f([I]_0)$



· GRAPHIQUE SECONDAIRE :  $pente = f([I]_0)$

# Les activateurs

## Activation spécifique



$$K_M^{app} = K'_M \left(1 + \frac{[K_X]}{[X]}\right)$$

$$v_0 = \frac{V'_{max}[S]_0}{K_M^{app} + [S]_0}$$

## Activation mixte :



$$v_0 = \frac{V'_{max}*[S]_0}{K'_M \left(1 + \frac{K_X}{[X]}\right) + [S]_0 \left(1 + \frac{K'_X}{[X]}\right)}$$

# Régulation par modification covalente

## Modifications possibles

- ◇ Phosphorylation

## Glycogène phosphorylase

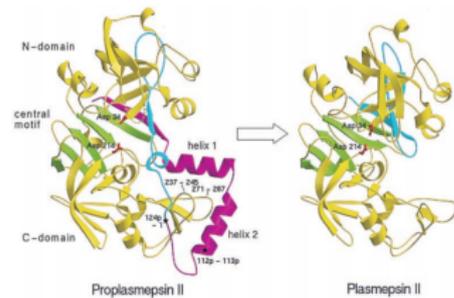


../../../../Licence3/Metabolisme/

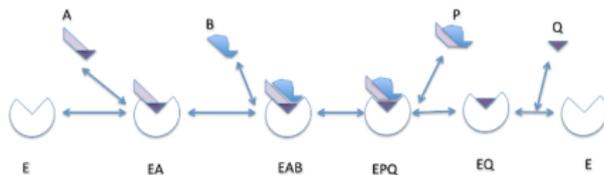
# Régulation par modification covalente

## Modifications possibles

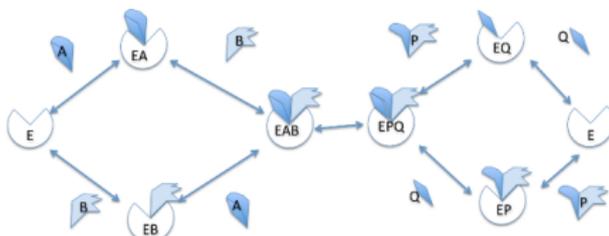
- ◇ Phosphorylation
- ◇ Protéolyse



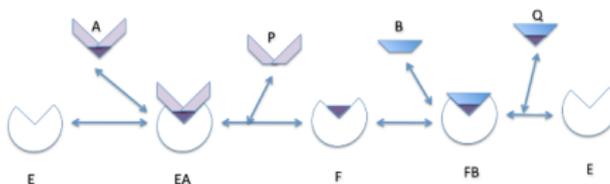
# Trois grands mécanismes



Mécanisme séquentiel ordonné



Mécanisme séquentiel aléatoire



Mécanisme à enzyme modifié/ ping-pong

# Représentations de King-Altman ou de Clealand

# Représentations de King-Altman ou de Clealand

# Équations de vitesse

## Deux méthodes de traitement des modèles

- ◇ Quasi-équilibre : tout ce qui n'est pas équilibre est négligé
- ◇ Etat stationnaire : équation descriptif de l'état stationnaire pour tous les complexes enzyme-substrats

# Obtention des données

## Deux substrats :

- ◇ Mesure  $v_0 = f([A]_0)$ ,  $[B]_0$  constante.
- ◇ Mesure  $v_0 = f([B]_0)$ ,  $[A]_0$  constante.

Obtention de deux graphiques primaires :  $v_0 = f([A]_0)$  et  
 $v_0 = f([B]_0)$

# Obtention des données : un exemple

**Exercice :** La glycogène phosphorylase est l'enzyme qui permet de libérer à partir du glycogène et d'un Pi du glc-1-P libre. La vitesse de la réaction est mesurée en présence de différentes concentration en substrats. 20mn

- ◇ Ecrivez la réaction catalysée.
- ◇ Tracer  $\frac{1}{v_o} = f\left(\frac{1}{\text{glycogène}}\right)$  et  $\frac{1}{v_o} = f\left(\frac{1}{P_i}\right)$

Vo (umol de glc-1-P formé/mn/mg )	Glycogène mg/mL		
	(Pi) mM	3,2	8
6	12	18	21
15	24	35,5	43
30	35,5	53	64

# Obtention des données : un exemple

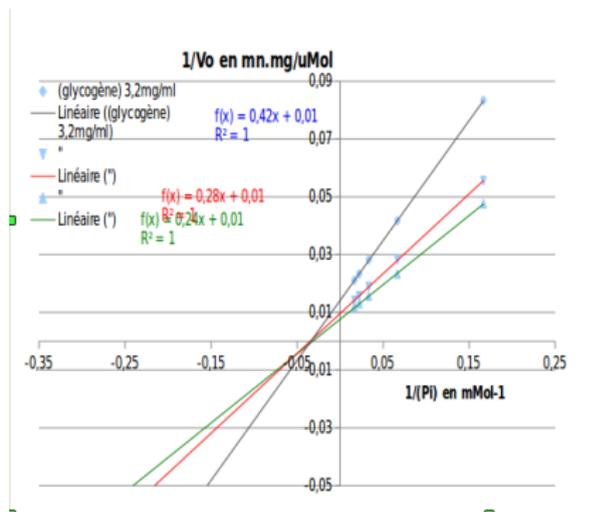
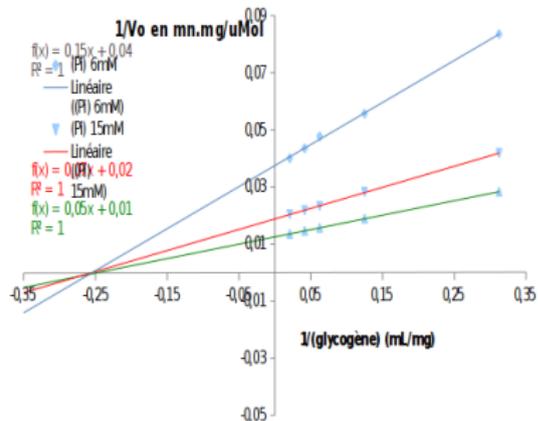
**Exercice :** La glycogène phosphorylase est l'enzyme qui permet de libérer à partir du glycogène et d'un Pi du glc-1-P libre. La vitesse de la réaction est mesurée en présence de différentes concentration en substrats. 20mn

- ◇ Ecrivez la réaction catalysée.
- ◇ Tracer  $\frac{1}{v_o} = f\left(\frac{1}{\text{glycogène}}\right)$  et  $\frac{1}{v_o} = f\left(\frac{1}{P_i}\right)$

<b>1/Vo ((<math>\mu\text{mol}</math> de glc-1-P formé/mn/mg )</b>	<b>1/Glycogène mg/mL</b>		
<b>1/(Pi) mM</b>	<b>0,3125</b>	<b>0,125</b>	<b>0,0625</b>
<b>0,16</b>	0,083	0,055	0,047
<b>0,066</b>	0,0416	0,028	0,023
<b>0,033</b>	0,028	0,018	0,015625

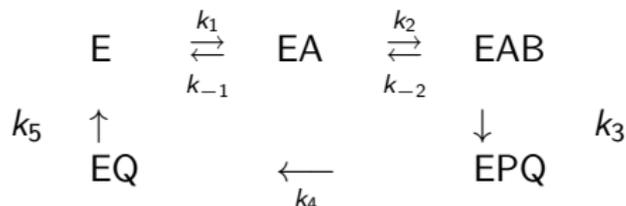
# Obtention des données : un exemple

## Graphiques primaires



# Obtention des données : bi-bi ordonné état stationnaire

## Modèle



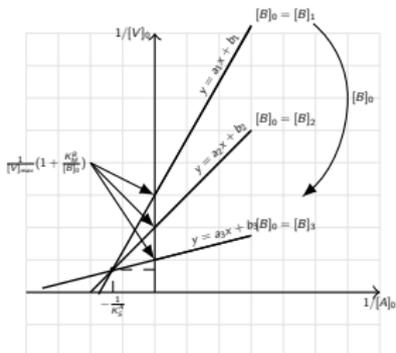
$$K_S^A = \frac{k_{-1}}{K_2}; K_M^A = \frac{k_3}{K_1}; K_M^B = \frac{k_{-2} + K_3}{K_2}; V_{max} = k_3 * [E]_0$$

**Equation** :  $k_{-3}$ ,  $k_{-4}$  et  $k_{-5}$  négligeables car la réaction est irréversible

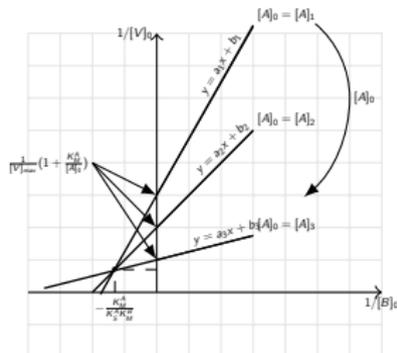
$$\frac{1}{v_0} = \frac{1}{V_{max}} + \frac{K_M^A}{V_{max}[A]} + \frac{K_M^B}{V_{max}[B]} + \frac{K_S^A K_M^B}{V_{max}[A][B]} \quad (1)$$

# Obtention des données : bi-bi ordonné état stationnaire

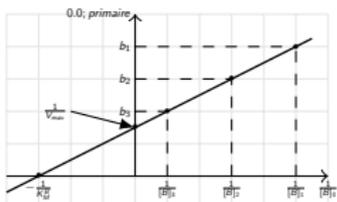
## Graphiques



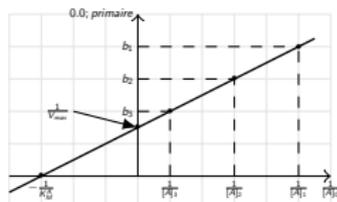
• GRAPHIQUE PRIMAIRE :  $\frac{1}{[V]_0} = f\left(\frac{1}{[A]_0}\right)$



• GRAPHIQUE PRIMAIRE :  $\frac{1}{[V]_0} = f\left(\frac{1}{[B]_0}\right)$

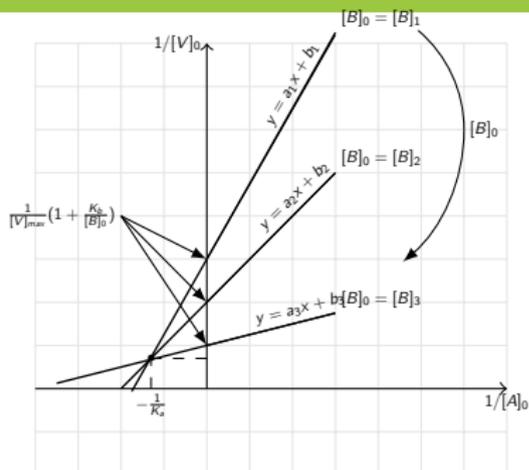


• GRAPHIQUE SECONDAIRE :  $v = f\left(\frac{1}{[B]_0}\right)$

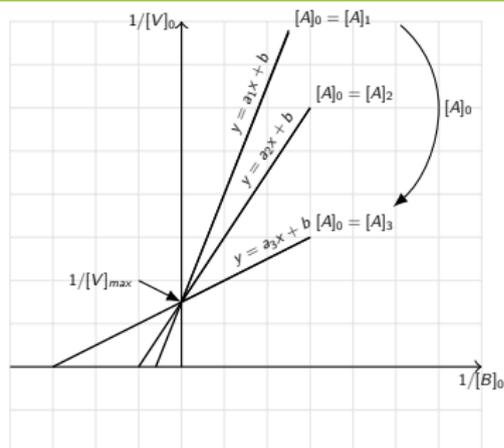


• GRAPHIQUE SECONDAIRE :  $v = f\left(\frac{1}{[A]_0}\right)$

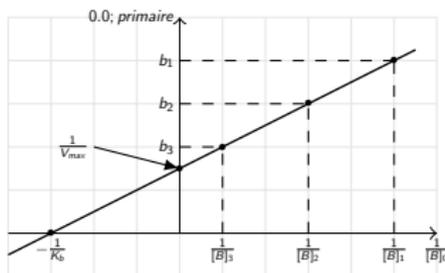
# Obtention des données : bi-bi ordonné quasi équilibre



· GRAPHIQUE PRIMAIRE :  $\frac{1}{[V]_0} = f\left(\frac{1}{[A]_0}\right)$

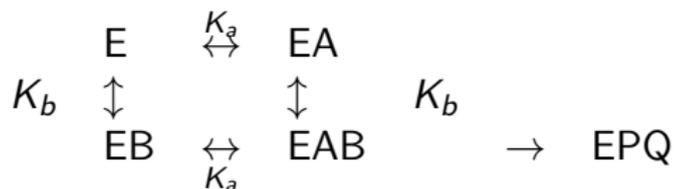


· GRAPHIQUE PRIMAIRE :  $\frac{1}{[V]_0} = f\left(\frac{1}{[B]_0}\right)$



# Obtention des données : bi-bi aléatoire indépendant quasi équilibre

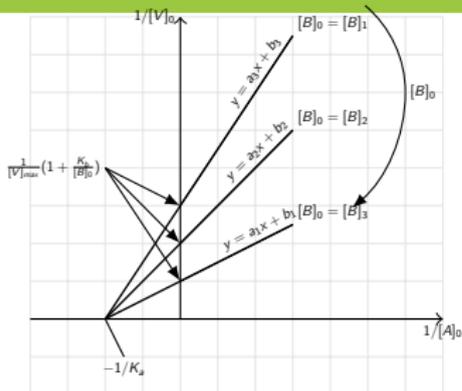
## Modèle



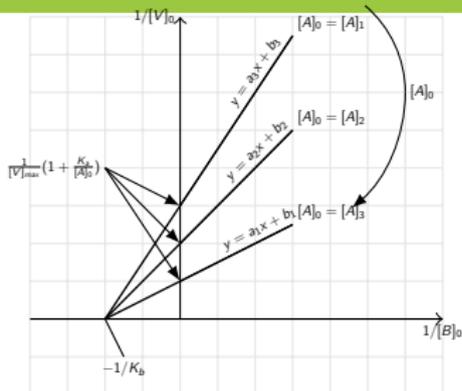
## Equation :

$$\frac{1}{v_0} = \frac{1}{V_{max}} + \frac{K_a}{V_{max}[A]} + \frac{K_b}{V_{max}[B]} + \frac{K_a K_b}{V_{max}[A][B]} \quad (2)$$

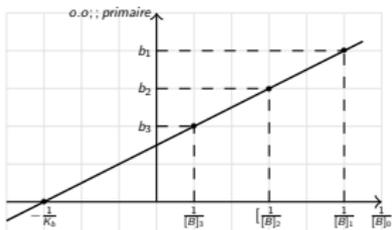
# Obtention des données : bi-bi aléatoire indépendant quasi équilibre



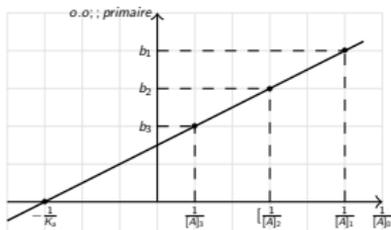
GRAPHIQUE PRIMAIRE :  $\frac{1}{[V]_0} = f\left(\frac{1}{[A]_0}\right)$



GRAPHIQUE PRIMAIRE :  $\frac{1}{[V]_0} = f\left(\frac{1}{[B]_0}\right)$



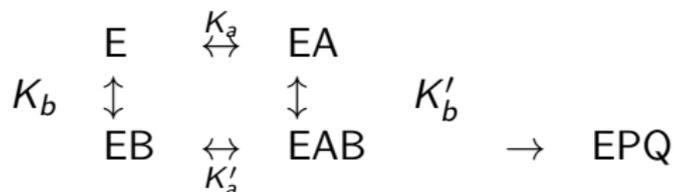
GRAPHIQUE SECONDAIRE :  $o.o. = f\left(\frac{1}{[B]_0}\right)$



GRAPHIQUE SECONDAIRE :  $o.o. = f\left(\frac{1}{[A]_0}\right)$

# Obtention des données : bi-bi aléatoire dépendant quasi équilibre

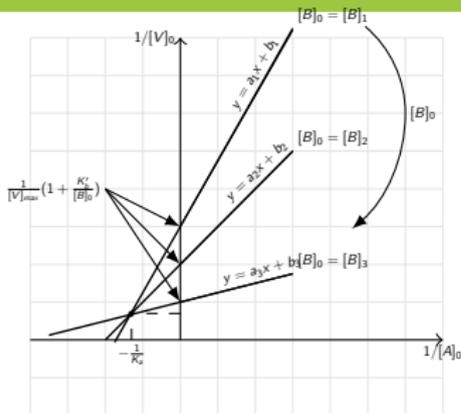
## Modèle



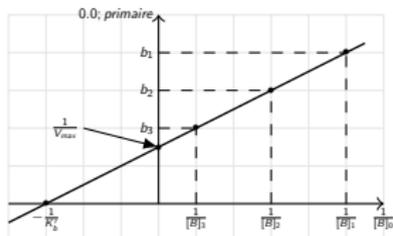
**Equation** : Soit  $K_a$  et  $K_b$  les constantes d'équilibres des réactions de formation de EA et de EB et Soit  $K'_a$  et  $K'_b$  les constantes d'équilibres des réactions de formation de EAB à partir de EB et de EAB à partir de EA. On a  $K_a K'_b = K'_a K_b$ .

$$\frac{1}{v_0} = \frac{1}{V_{max}} + \frac{K'_a}{V_{max}[A]} + \frac{K'_b}{V_{max}[B]} + \frac{K_a K'_b}{V_{max}[A][B]} \quad (3)$$

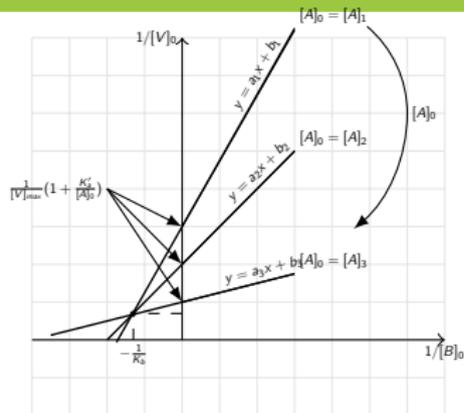
# Obtention des données : bi-bi aléatoire dépendant quasi équilibre



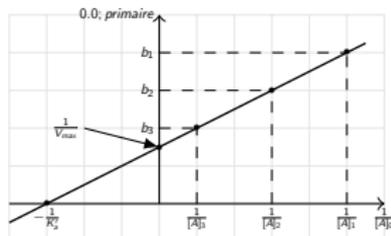
· GRAPHIQUE PRIMAIRE :  $\frac{1}{[V]_0} = f\left(\frac{1}{[A]_0}\right)$



· GRAPHIQUE SECONDAIRE :  $0.0 = f\left(\frac{1}{[A]_0}\right)$



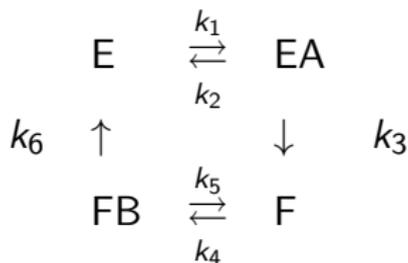
· GRAPHIQUE PRIMAIRE :  $\frac{1}{[V]_0} = f\left(\frac{1}{[B]_0}\right)$



· GRAPHIQUE SECONDAIRE :  $0.0 = f\left(\frac{1}{[B]_0}\right)$

# Obtention des données : bi-bi ping pong état stationnaire

## Modèle

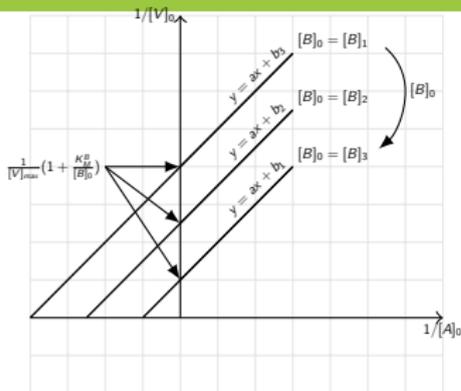


**Equation** :  $K_M^A = \frac{k_6(k_2+k_3)}{k_2(k_3+k_6)}$  ;  $K_M^B = \frac{k_3(k_5+k_6)}{k_4(k_3+k_6)}$  ;

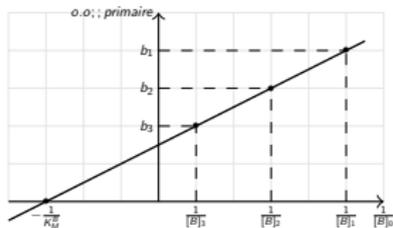
$$V_{max} = \frac{k_6 k_2}{(k_3+k_6)} * [E]_0$$

$$\frac{1}{v_0} = \frac{1}{V_{max}} + \frac{K_M^A}{V_{max}[A]} + \frac{K_M^B}{V_{max}[B]} \quad (4)$$

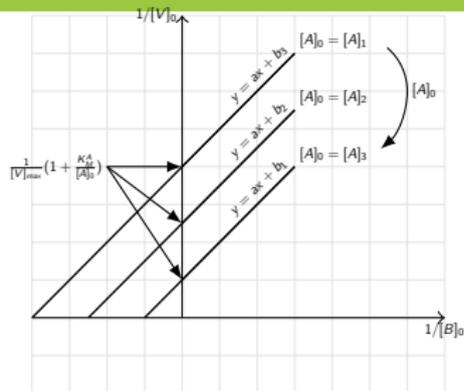
## Obtention des données : bi-bi ping pong état stationnaire



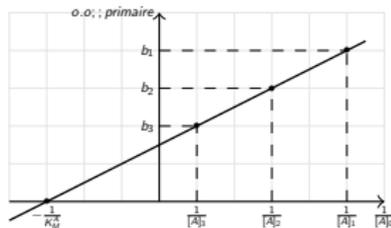
· GRAPHIQUE PRIMAIRE :  $\frac{1}{[V]_0} = f\left(\frac{1}{[A]_0}\right)$



· GRAPHIQUE SECONDAIRE :  $o.o. = f\left(\frac{1}{[B]_0}\right)$



· GRAPHIQUE PRIMAIRE :  $\frac{1}{[V]_0} = f\left(\frac{1}{[B]_0}\right)$



· GRAPHIQUE SECONDAIRE :  $o.o. = f\left(\frac{1}{[A]_0}\right)$

