

Cours d'Enzymologie



Destiné aux étudiants **L3 Génétique**

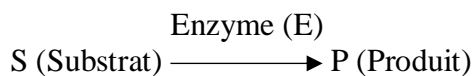
Année universitaire 2022-2023

Conçu par Dr. BECHKRI S.
Maitre de Conférences catégorie A
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Université Frères Mentouri Constantine 1

VIII. Nomenclature et classification

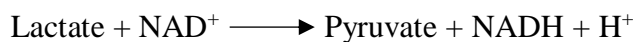
VIII.1. Utilité de la nomenclature des enzymes

Une réaction enzymatique s'écrit de la manière suivante :



Le nombre des enzymes est très important : plus de 500 000. Connaître le nom d'une enzyme permet de savoir le type de réaction catalysée et le substrat mis en jeu.

Exemple : la lactate déshydrogénase (L-Lactate NAD⁺ oxydoréductase E.C 1.1.1.27) a comme substrat le L-lactate. L'accepteur (Coenzyme) est NAD⁺. Le type de réaction est une oxydoréduction.



VIII.2. Nomenclature

Avant 1961, les enzymes ont été dénommées selon le nom du substrat sur lequel elles agissent en ajoutant le suffixe ase. En 1961, l'Union Internationale de Biochimie et de Biologie Moléculaire (UIBMB) a donnée une nouvelle classification des enzymes selon le type de réaction catalysée.

Il existe 3 types de nomenclatures :

VIII.2.1. La nomenclature commune

Un certain nombre d'enzymes sont fréquemment désignés à l'aide de noms communs.

Exemples :

- **Pepsine** (endoprotéase digestive du suc gastrique) (EC 3.4.23.1).
- **Trypsine** (endoprotéase digestive du suc pancréatique) (EC 3.4.21.4)
- **Chymotrypsine** (protéase digestive fabriquée par le pancréas) (EC 3.4.21.4)
- **Papaïne** (protéase trouvée dans le latex de la papaye et dans l'ananas) (EC 3.4.22.2).

Pour certaines enzymes, on ajoute le suffixe "ase" au nom du substrat attaqué.

Exemples :

- **Les peptidases**, dont les substrats sont des peptides.
- **Les estérases**, dont les substrats sont des esters.
- **Les amylases**, dont le substrat est l'amidon (du latin *amylum*).

VIII.2.2. La nomenclature fonctionnelle (systématique)

Elle prend en compte le nom du substrat de l'enzyme et le type de réaction catalysée.

Pour désigner une enzyme, on indique successivement :

- Le nom du substrat

- Le type de réaction catalysée
- Le suffixe "ase"

Exemples :

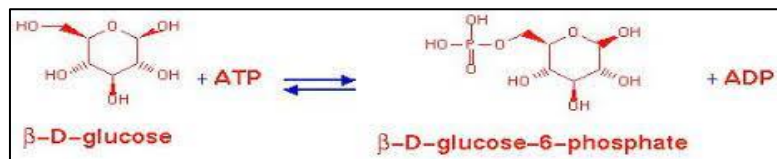
- Lactate déshydrogénase.
- Glucose-6-phosphate isomérase
- Isocitrate lyase
- Pyruvate carboxylase

Lorsque l'enzyme utilise 2 substrats, on les désigne tous les deux en indiquant :

- Le substrat donneur du radical
- Le substrat accepteur du radical libéré
- Le radical échangé
- Le type de réaction
- Le suffixe "ase".

Exemple :

ATP-glucose phosphotransférase



Remarque : Dans le cas d'une réaction équilibrée réversible, on peut former les noms à partir des substrats ou des produits. Une réaction réversible est classée sous un seul numéro quel que soit son sens

VIII.2.3. La nomenclature officielle (numéro de code)

Dans la nomenclature dite "officielle", la classification des enzymes est basée sur des critères de spécificité.

Une enzyme possède un numéro de code, précédé des lettres E.C. (Enzyme commission) et comportant 4 chiffres séparés par des points. L'enzyme s'écrit de manière générale sous la forme : E.C. X1.X2.X3.X4

X1 : Varie de 1 à 6 et indique les 6 types de réactions catalysées par les enzymes (classe)

- 1. Oxydoréductase** (Réaction oxydation – réduction)
- 2. Transférase** (Transfert des groupements fonctionnels)
- 3. Hydrolase** (Réaction hydrolytique)
- 4. Lyase** (Réaction d'élimination pour former des liaisons doubles)
- 5. Isomérase** (Isomérisation)

6. Ligase (Union de molécules couplée à l'hydrolyse de l'ATP).

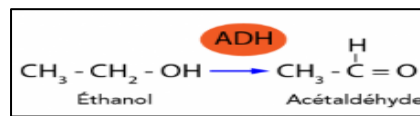
X2 : Désigne la nature du groupement donneur, du substrat, sur lequel agit l'enzyme (sous classe).

X3 : Désigne la nature du groupe accepteur des protons/électrons sur lequel agit l'enzyme (sous-sous-classe)

X4 : Désigne le numéro d'ordre ou numéro de série du substrat sur lequel agit l'enzyme (numéro d'ordre d'enregistrement de l'enzyme dans la sous-sous classe concernée).

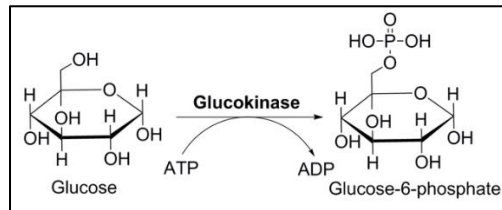
Exemple 1 :

L'alcool déshydrogénase : EC.1.1.1.1 (1 : oxydoréductase, 1.1 : agit sur CH-OH, 1.1.1. avec NAD ou NADP comme accepteur, 1.1.1.1 premier enzyme découvert et reconnu).



Exemple 2 :

Soit la réaction de transfert d'un groupement phosphate de l'ATP au D glucose :



L'enzyme qui catalyse cette réaction est :

- Numéro de code : E.C.2.7.1.2
- Nom systématique : ATP : D-Glucose-6-phosphotransférase
- Nom commun : Glucokinase.

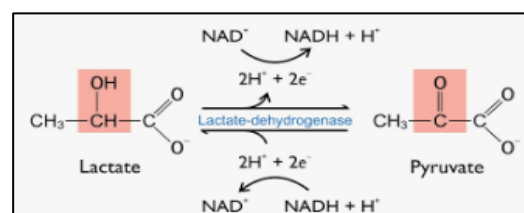
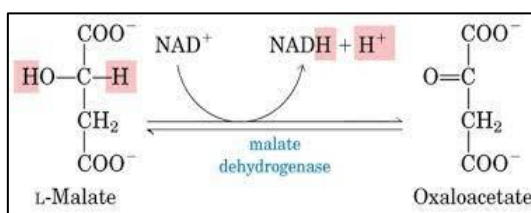
Exemple 3 :

Classe 1 : oxydoréductase

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

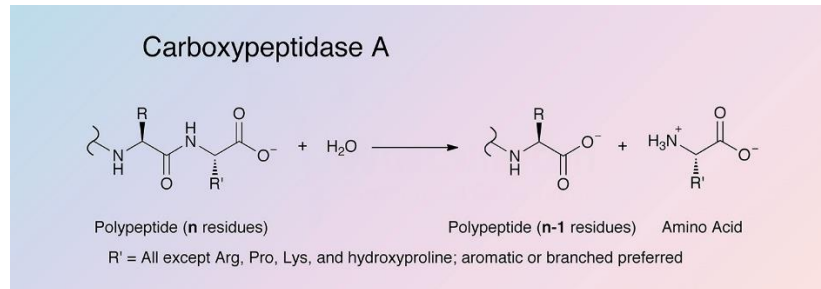
1.1.1 : avec NAD⁺ ou NADP⁺ comme accepteur d'hydrogène

- L-malate (MDH) : NAD-oxydoréductase (1.1.1.37)
- L-lactate (LDH) : NAD-oxydoréductase (1.1.1.27).



Exemple 4 :

La carboxypeptidase porte le numéro de classe 3 (hydrolase), la sous-classe 4 (lien peptidique), la sous-sous-classe 17 (métallo-carboxypeptidase) et 1 (numéro de l'enzyme dans cette série).



Exemple 5 :

L'anhydrase carbonique catalyse la réaction 4.2.1.1, ce qui signifie qu'elle agit sur une réaction d'addition au niveau d'une liaison double (premier nombre 4), que la réaction crée une liaison entre des atomes de carbone et d'oxygène (deuxième nombre 2), que le corps ajouté est une molécule d'eau (troisième nombre 1) et qu'elle est la première de cette espèce (quatrième nombre 1).

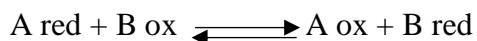
Remarque : L'exemple de la glutamate déshydrogénase (E.C.1.4.1.2, E.C.1.4.1.3 et E.C.1.4.1.4) met en évidence la notion d'isoenzymes ou d'isoformes de la "même" enzyme.

Cette nomenclature est régulièrement mise à jour au fur et à mesure des découvertes. Elle possédait à ses débuts, en 1962, 712 classes à 4 chiffres, en 1992, elle en possédait déjà 3196 et en 2014 le nombre de classes connues est de 5509.

La liste de toutes les enzymes, leur nomenclature et leur identifiant EC est disponible dans la base de données : Enzyme Nomenclature and Classification of Enzyme-Catalysed Reactions. Site web : <http://www.chem.qmul.ac.uk/iubmb/enzyme/>

VIII.3. Classification

VIII.3.1. Oxydoréductases (EC1) : cette première classe comporte les enzymes catalysant des réactions d'oxydation ou de réduction, dont l'écriture la plus générale est la suivante :

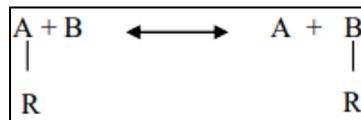


Il s'agit donc de transfert d'électrons, d'atomes d'hydrogène ou fixation d'oxygène. Toute oxydation correspond à l'enlèvement d'un ou de plusieurs e^- à un substrat. Ces électrons sont cédés à une autre molécule, l'accepteur, qui de ce fait est réduite. Ces enzymes possèdent obligatoirement deux substrats et elles nécessitent la présence d'un coenzyme (NAD, NADP, FAD ou FMN).

Il existe plusieurs types d'oxydoréductases :

- **Déshydrogénases des fonctions alcool, carbonyles ou carboxyliques** : Transfert d'électrons entre 2 couples oxydo-réducteurs, l'un des deux étant souvent un coenzyme à NAD
- **Déshydrogénases faisant apparaître des doubles liaisons** : Le cofacteur accepteur des hydrogènes est le FAD
- **Déshydrogénases agissant sur les fonctions azotées** : Le cofacteur accepteur des hydrogènes est le NAD⁺ ou NADP⁺
- **Enzymes participant au transfert d'électrons dans la mitochondrie** : Ce sont des complexes multi-enzymatiques regroupant plusieurs séquences de réactions de la chaîne respiratoire
- **Oxygénases** : Elles n'utilisent pas l'oxygène pour dégrader une molécule mais fixent l'oxygène sur le substrat pour créer une fonction alcool par exemple.

VIII.3.2. Transférases (ou kinases) (E.C. 2) : ces enzymes transfèrent des radicaux ou des groupes d'atomes d'une molécule (substrat donneur) à une molécule (substrat accepteur). Leur nom complet comporte le donneur, l'accepteur, le radical transféré suivi de transférase. La réaction générale est la suivante :

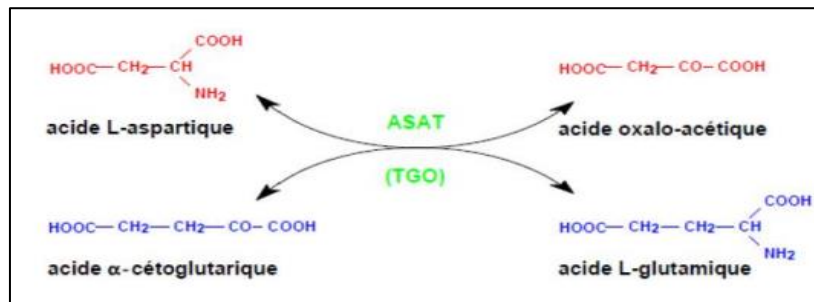


Il en existe plusieurs types :

- Enzymes transférant un groupe méthyle (-CH₃) : Ce sont les méthyltransférases ou méthylases. Le donneur est souvent la S-adénosylméthionine
- Enzymes transférant un groupe hydroxyméthyl (-CH₂OH)
- Enzymes transférant des radicaux à plusieurs carbones
- Enzymes transférant un groupement carboné comportant des fonctions aldéhydes ou cétones (-CHO) ou (-CO-R)
- Enzymes transférant des carboxyl (-COOH)
- Enzymes transférant des molécules glucidiques
- Aminotransférases (-NH₂)
- Phosphotransférases

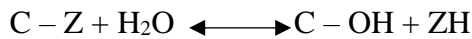
On leur donne le nom de kinases ou phosphorylases. La fixation d'un groupe phosphate à une molécule sert à son activation et à sa reconnaissance comme substrat dans les réactions du métabolisme.

Exemple :



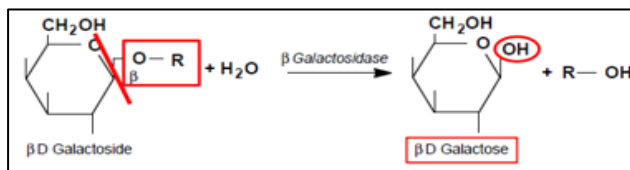
VIII.3.3. Hydrolases (E.C. 3) : ce sont des enzymes de dégradation qui provoquent la coupure d'une molécule et fixent les radicaux H et OH de l'eau sur les valences libérées. Ce sont des enzymes sans coenzymes. Elles interviennent sur les fonctions éthers, acétals, esters, phosphoriques, liaisons O – O des peroxydes, liaisons C – N des amides, etc...

La réaction générale est la suivante :



Ce groupe d'enzyme est très vaste et comprend :

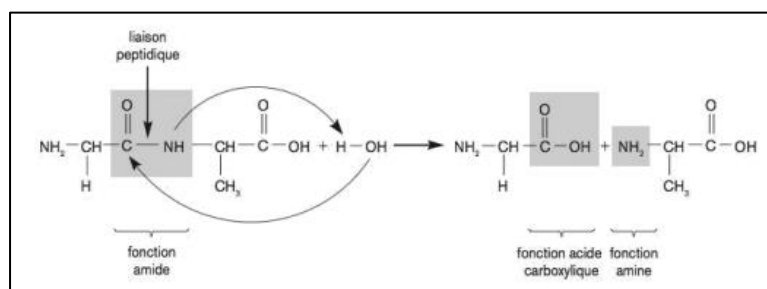
- Hydrolases des glucides (= Osidases)



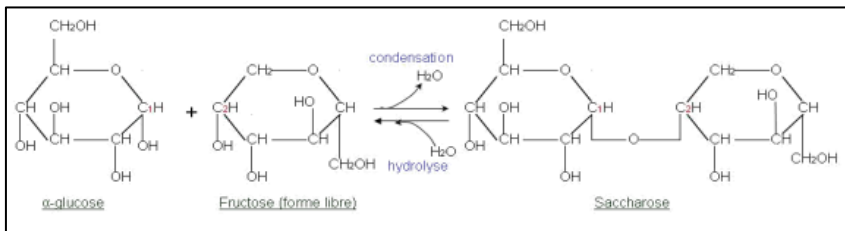
- Hydrolases des esters phosphoriques d'oses
- Hydrolases des lipides (= Lipases)
- Hydrolases des peptides et des protéines
- Hydrolases des nucléosides, nucléotides et acides nucléiques
- Hydrolases des esters ou anhydrides phosphoriques.

Exemples :

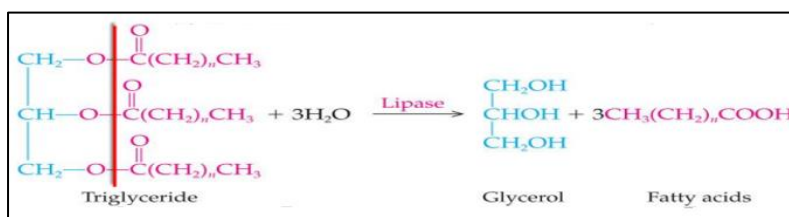
- Les protéases et les peptidases hydrolysent les liaisons peptidiques agissant entre le groupement cétone d'un acide aminé (C=O) et le groupement amine (NH₂) d'un acide aminé voisin.



- La saccharase (invertase) hydrolyse le α -D-glucopyranosyl (1 \rightarrow 2) β -D fructofurannoside (saccharose) en fructose et glucose

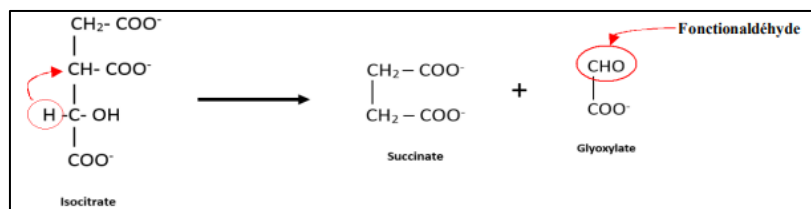


- Les estérases hydrolysent les esters en acides gras et alcool.
 $\text{RCOO-CH}_2\text{-R}' + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{RCOOH} + \text{R}'\text{CH}_2\text{OH}$
- Les lipases hydrolysent les glycérides en glycérol et acides gras.



VIII.3.4. Lyases ou Synthases (E.C. 4) : ce sont des enzymes qui catalysent la rupture de différentes liaisons chimiques (C–C, C–O ou C–N) par des moyens autres que l'hydrolyse ou l'oxydation, formant ainsi souvent une nouvelle liaison double ou un nouveau cycle.

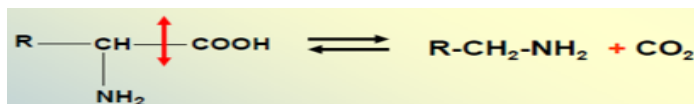
Exemple : Isocitrate glyoxylate lyase (EC 4.1.3.1) catalyse la réaction suivante :



Dans cette réaction, le réarrangement conduit à l'oxydation de l'alcool secondaire en aldéhyde. Cette classe d'enzymes comprend :

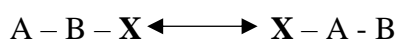
- Décarboxylases

Exemple : décarboxylase d'acide aminé



- Aldéhydes-lyases
- Acyl-lyases ou Acyl synthases
- Hydratases et déshydratases

VIII.3.5. Isoméras ou mutases (E.C. 5) : catalysent des changements de structure dans une même molécule sans changer sa formule globale :

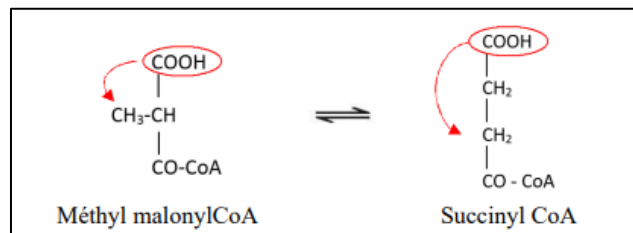


La partie déplacée peut être plus ou moins importante (groupe phosphoryle, double liaison, etc...) et constitue le critère de classification.

Les isomérases catalysent :

- Épimérisation (exemple interconversion des oses : Galactose \longleftrightarrow Glucose)
- Isomérisation Cis-trans
- Oxydoréduction intramoléculaire
- Transport de radicaux

Exemple : L-méthylmalonyl - CoA isomérase (EC 5.4.99.2) catalyse la réaction suivante :



Dans cette réaction, le carboxyle (COOH) est déplacé du C α au C β et inversement un hydrogène de ce dernier est transféré au C α .

VIII.3.6. Ligases ou Synthétases (E.C. 6) : catalysent la condensation de deux molécules. Elles forment des liaisons grâce à l'utilisation de l'énergie formé par l'hydrolyse concomitante d'un groupement phosphate ou pyrophosphate de l'ATP.

On peut distinguer :

- Ligases formant les liaisons C-O
- Ligases formant les liaisons C-C
- Ligases formant les liaisons C-S
- Ligases formant les liaisons C-N.

Exemple : Pyruvate carboxylase (EC 6.4.1.1) catalyse la réaction suivante (forme des liaisons C-C) :

