

Modélisation microscopique des réactions chimiques

« La chimie est l'art de construire la matière. » Jean-Marie Lehn (prix Nobel de chimie, 1987)

1 Isomérisation de constitution

Des isomères de constitution sont des molécules qui possèdent la même formule brute, mais des enchaînements d'atomes différents. Elles ont donc des formules semi-développées ou topologiques différentes.

On distingue trois grands types d'isomérisation de constitution : **l'isomérisation de squelette, de fonction et de position.**

Isomérisation de squelette 🌿

Même formule brute, mais **chaîne carbonée différente** (chaîne linéaire ou ramifiée).

Isomérisation de fonction 🏠

Même formule brute, mais **groupe fonctionnel différent** (alcool, aldéhyde, cétone, acide...).

Isomérisation de position 📍

Même formule brute et **même groupe fonctionnel**, mais **position différente de ce groupe** sur la chaîne carbonée.

🎯 Application 1 : reconnaître les types d'isomérisation

Écrire les formules topologiques des molécules suivantes, puis préciser le type d'isomérisation de constitution correspondant.

1. Propan-1-ol et propan-2-ol
2. Butane et méthylpropane
3. Propanone et propanal

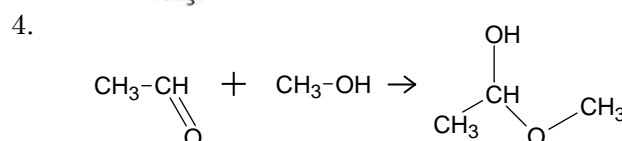
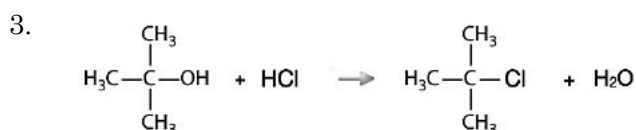
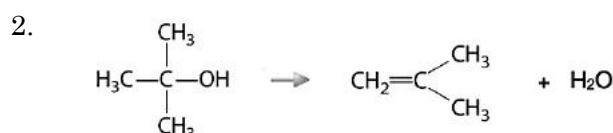
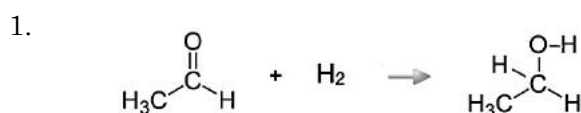
2 Familles de réaction chimique

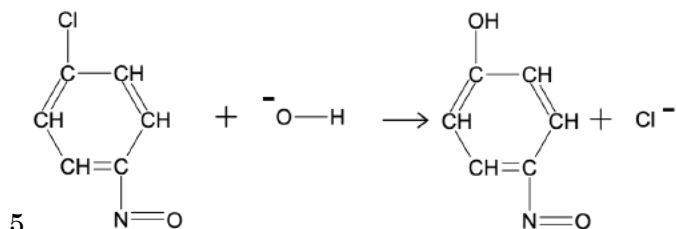
En chimie, on peut classer une réaction selon différents critères.

1. Selon ce qui est transféré
 - réaction acide-base : transfert d'un proton H^+
 - réaction d'oxydoréduction : transfert d'électrons
2. Selon la transformation de la structure de la molécule (classification très utilisée en chimie organique)
 - substitution : un groupe est remplacé par un autre. Soit, $AB + C \rightarrow AC + B$
 - addition : deux espèces se combinent pour former une seule molécule. Soit, $A + B \rightarrow C$
 - élimination : une molécule se scinde en plusieurs produits. $A \rightarrow B + C$

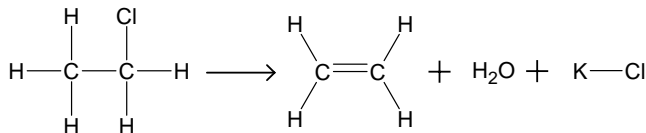
📁 Application 2 : reconnaître les transformations des structures des molécules

Préciser pour les réactions suivantes si c'est une substitution, une addition ou une élimination





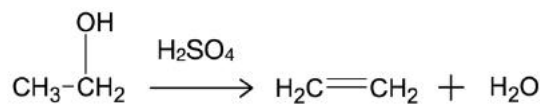
7.



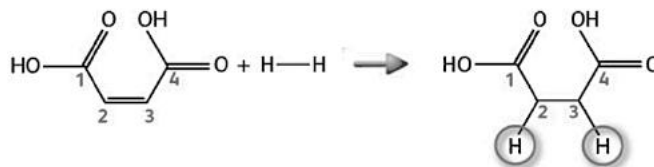
9.



6.



8.



10.



3 Une interprétation microscopique des réactions chimiques

3.1 Polarisation d'une liaison

L'électronégativité d'un atome traduit sa capacité à attirer vers lui un doublet d'électrons d'une liaison dans laquelle il est engagé.

L'électronégativité est une grandeur sans dimension, notée par la lettre grecque χ (« khi »). Le tableau ci-contre présente quelques valeurs d'électronégativité pour différents atomes.

Dans une liaison A–B, si l'atome B est plus électronégatif que l'atome A et si la différence de l'électronégativité entre les deux atomes $\Delta\chi$ vérifie approximativement $0,5 < \Delta\chi < 1,8$, alors le doublet d'électrons est davantage attiré par l'atome B. Celui-ci porte alors une charge partielle négative δ^- , tandis que l'atome A porte une charge partielle positive δ^+ . La liaison est dite **polarisée**, elle est notée $A^{\delta+} - B^{\delta-}$.

Remarque : la charge partielle portée par un atome dépend de l'atome auquel il est lié.

Exemple : un atome de carbone n'a pas toujours la même charge partielle.

- Lorsqu'il est lié à un atome de magnésium, le carbone est plus électronégatif que le magnésium : il porte alors une charge partielle négative (δ^-).
- Lorsqu'il est lié à un atome d'oxygène, qui est plus électronégatif que lui, le carbone porte au contraire une charge partielle positive (δ^+).

Ainsi, la polarisation d'une liaison dépend de la différence d'électronégativité entre les deux atomes engagés dans la liaison.

3.2 Sites donneurs, sites accepteurs

Après avoir étudié la polarité des liaisons et la répartition des charges dans les espèces chimiques, on peut mieux comprendre comment se déroulent les réactions chimiques.

Lors d'une réaction chimique, certaines liaisons covalentes se rompent tandis que de nouvelles liaisons se forment. Or une liaison covalente correspond à un **doublet d'électrons liant**. Ainsi, de nombreuses réactions chimiques peuvent s'interpréter comme des **déplacements de doublets d'électrons**, qu'il s'agisse de doublets liants ou de doublets non liants.

H 2,20						
Li 0,98	Be 1,57	B 2,04	C 2,55	N 3,04	O 3,44	F 3,98
Na 0,93	Mg 1,31	Al 1,61	Si 1,90	P 2,19	S 2,58	Cl 3,16
K 0,82	Ca 1,00	Ga 1,81	Ge 2,01	As 2,18	Se 2,55	Br 2,96
Rb 0,82	Sr 0,95	In 1,78	Sn 1,96	Sb 2,05	Te 2,10	I 2,66

Ces déplacements d'électrons ne se produisent pas au hasard : ils ont lieu entre des zones bien précises des espèces chimiques, appelées **sites donneurs** et **sites accepteurs de doublets d'électrons**.

Dans une entité chimique (molécule ou ion), on distingue en effet des zones où les électrons sont plus ou moins présents.

A) Un **site donneur de doublet d'électrons (nucléophile)** est une zone riche en électrons : il peut fournir un doublet d'électrons lors d'une réaction chimique.

1. Un **doublet non liant** porté par un atome (ex : $\overline{\text{O}}$ dans H_2O ou $\overline{\text{N}}$ dans NH_3 , Cl^-).
2. Une **liaison polarisée** dont les électrons sont attirés vers un atome portant une charge partielle négative (δ^-) ou une charge négative entière (\ominus) \rightarrow le doublet est alors plus disponible pour réagir.
3. Une **liaison multiple (liaison π)** comme dans une double liaison $\text{C}=\text{C}$ ou $\text{C}=\text{O}$, où les électrons π sont plus mobiles et peuvent être donnés.

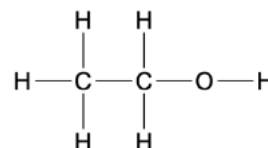
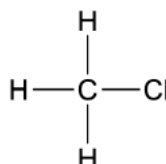
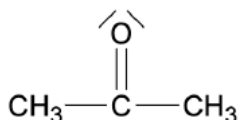
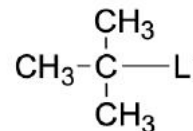
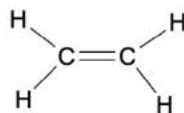
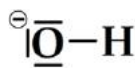
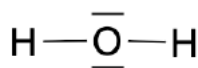
B) Un **site accepteur de doublet d'électrons ((électrophile)** est une zone pauvre en électrons : il peut accueillir un doublet d'électrons.

1. un **atome** présentant une **lacune électronique** (orbital vide) (exemple $\square \text{H}^+$)
2. un **atome** portant une **charge positive, entière** (\oplus) ou **partielle** (δ^+)

Les réactions chimiques peuvent ainsi être décrites comme le **déplacement d'un doublet d'électrons d'un site donneur vers un site accepteur**, ce qui conduit à la **rupture et à la formation de liaisons covalentes**.

+ - Application 3 : reconnaître les sites donneurs et accepteurs

Entourez les sites donneurs et les sites accepteurs de doublets d'électrons dans les espèces chimiques ci-dessous.



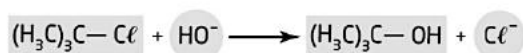
Pour représenter ces déplacements d'électrons, les chimistes utilisent des **flèches courbes** qui indiquent le mouvement des doublets d'électrons au cours de la réaction.

3.3 Représentation du mouvement des doublets électroniques

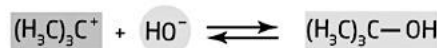
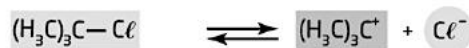
Lors d'une transformation chimique, l'ensemble des réactions qui se produisent au niveau microscopique constitue le **mécanisme réactionnel**. Chacune de ces réactions est une **étape** du mécanisme réactionnel et résulte de l'interaction entre un site donneur et un site accepteur de doublet d'électrons

Exemple

L'expérience a montré que la transformation chimique modélisée par la réaction d'équation :



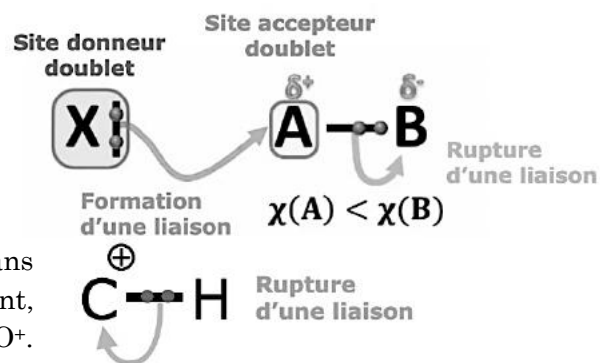
est décrite à l'échelle microscopique par le mécanisme réactionnel à deux étapes :



L'ion $(CH_3)_3C^+$ est un intermédiaire réactionnel.

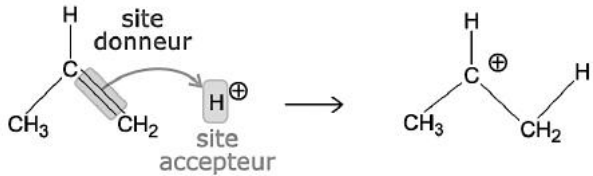
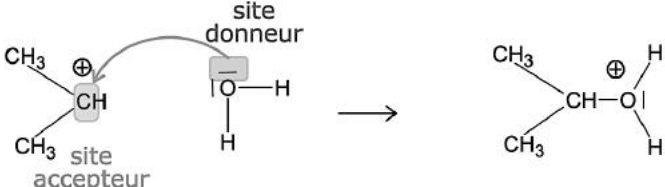
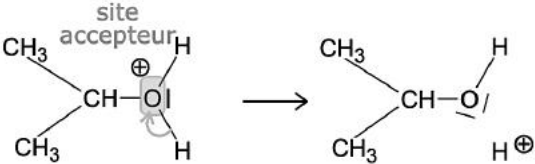
Au cours de ces étapes, différentes transformations peuvent se produire : modification d'un groupe caractéristique, transformation de la chaîne carbonée (craquage : raccourcissement de la chaîne carbonée ; reformage : allongement de la chaîne carbonée) ou encore polymérisation.

- Lors de la **formation d'une liaison covalente**, les électrons vont du site donneur vers le site accepteur de doublet d'électrons. Ce mouvement se représente à l'aide d'une **flèche courbe** allant du site donneur vers le site accepteur.
- Lorsqu'une liaison covalente se rompt, le doublet d'électrons de la liaison se déplace vers la zone qui attire le plus les électrons : soit vers l'atome le plus électronégatif dans une liaison polarisée, soit vers un atome chargé positivement, comme un carbocation C^+ ou un oxygène chargé positivement O^+ .



Remarque : Une flèche courbe part **toujours** d'un doublet d'électrons (liant ou non liant)

Exemple : synthèse de propan-2-ol dans un milieu aqueux

<p>Étape ①</p>	<p>Le doublet d'électrons de la liaison double C=C (site donneur) de la molécule de propène permet à l'atome de carbone de se lier à l'ion hydrogène H^+ (site accepteur).</p> 
<p>Étape ②</p>	<p>Le doublet d'électrons non liant que porte l'atome d'oxygène (site donneur) lui permet de se lier à l'atome de carbone central (site accepteur) de l'entité intermédiaire.</p> 
<p>Étape ③</p>	<p>La liaison O-H est rompue, son doublet d'électrons liant est capté par l'atome d'oxygène (site accepteur) et il devient un doublet non liant.</p> 

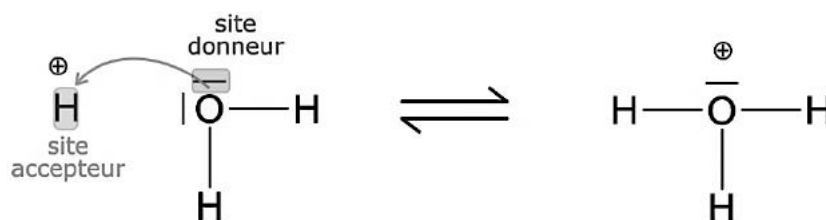
3.4 Apparition des charges \oplus et \ominus sur un atome

Apparition des charges \oplus

Lorsque la formule de Lewis d'un atome montre qu'il est entouré de moins d'électrons sur sa couche externe que prévu, alors il est porteur d'une charge positive.

Exemple : cation oxonium

L'atome O possède 6 électrons sur sa couche externe (6^e colonne de tableau périodique : $1s^2 2s^2 2p^4$). Or la formule de Lewis du cation oxonium, montre qu'il possède un doublet non liant (= 2 électrons) et trois doublets liants (= 3 électrons). Il lui manque donc un 1 électron ce qui est indiqué par le signe \oplus

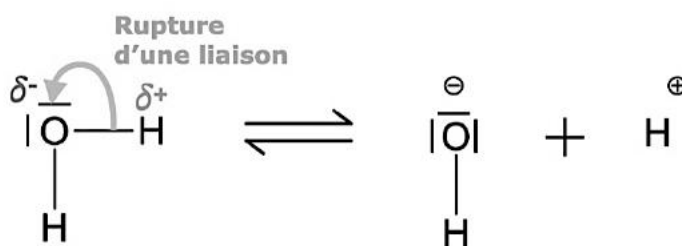


Apparition de charges \ominus

Lorsque la formule de Lewis d'un atome montre qu'il est entouré de plus d'électrons sur sa couche externe que prévu, alors il est porteur d'une charge négative.

Exemple : anion hydroxyde

L'atome O possède 6 électrons sur sa couche externe (6^e colonne de tableau périodique : $1s^2 2s^2 2p^4$). Or la formule de Lewis de l'anion hydroxyde montre qu'il possède 3 doublets non liants (= 6 électrons) et un doublet liant (= 1 électron). Il a un électron supplémentaire indiqué par le signe \ominus .



4 Étapes à suivre pour décrire un mécanisme réactionnel

1. Écrire les réactifs en représentation de Lewis

Faire apparaître les doublets non liants (notamment sur O, N, les halogènes...).

2. Repérer les liaisons polarisées et indiquer les charges partielles

Identifier les liaisons polarisées et noter les charges partielles δ^+ et δ^- .

Exemples : liaisons O–H, N–H, C–O, C–X (X = halogène).

3. Identifier les sites donneur et accepteur de doublet

Entourer éventuellement le site donneur (riche en électrons) et le site accepteur (déficientaire en électrons) avec un code couleur (donneur en vert, accepteur en rouge).

4. Comparer les réactifs et les produits

Repérer les parties de la molécule qui restent inchangées et celles qui sont modifiées.

5. Représenter le transfert de doublet électronique

Tracer une flèche courbe partant du site donneur vers le site accepteur.

6. Représenter la rupture de la liaison

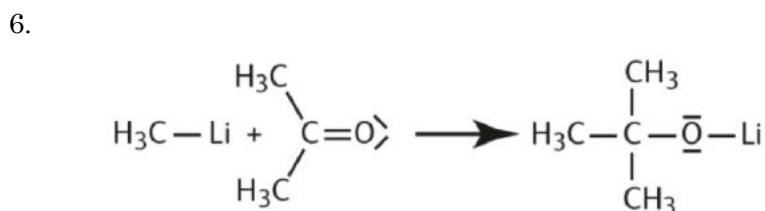
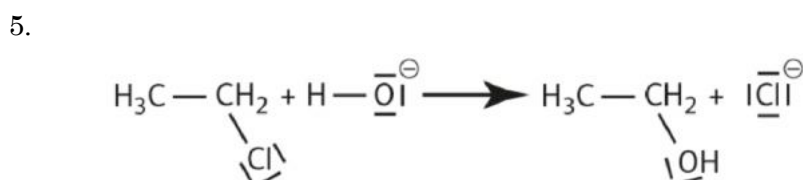
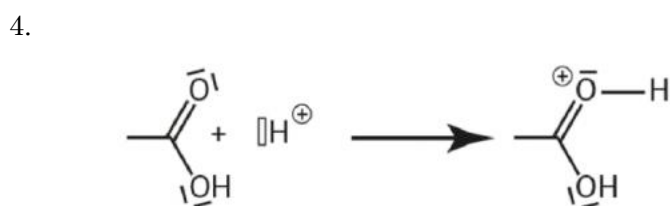
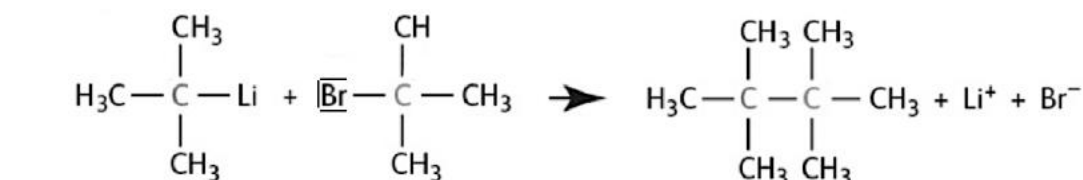
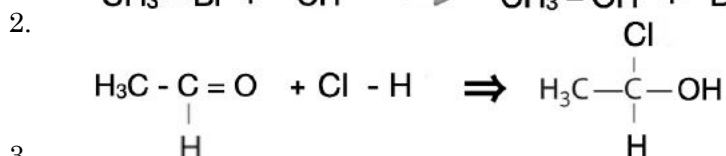
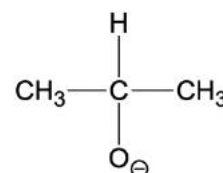
Tracer une flèche courbe partant de la liaison rompue vers l'atome qui récupère le doublet d'électrons.

7. Vérifier et faire apparaître les charges finales

Après déplacement des doublets, ajouter les charges éventuelles (\oplus , \ominus) en vérifiant le bilan électronique autour de chaque atome.

Application 4 : décrire un mécanisme réactionnel

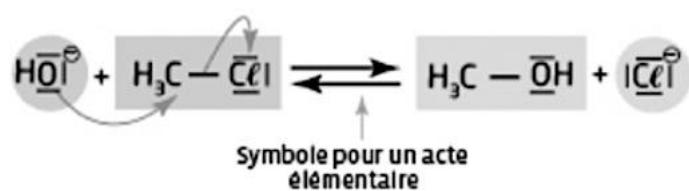
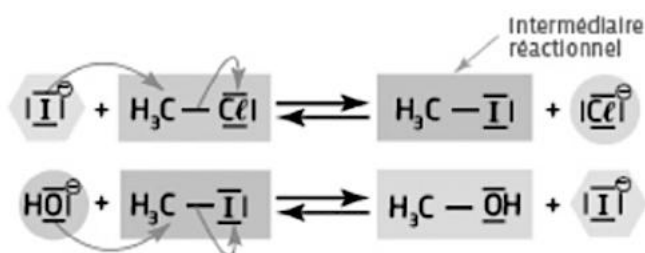
Expliquez le mécanisme réactionnel des réactions suivantes : identifiez les sites donneurs et accepteurs de doublets d'électrons puis représentez, à l'aide de flèches courbes, les déplacements des doublets d'électrons à l'origine des ruptures et des formations de liaisons.


 7. La réaction entre la propanone et l'ion hydruide H^- produit l'ion propan-2-olate :


Identifiez les sites donneurs et accepteurs de doublets d'électrons puis représentez, à l'aide de flèches courbes, les déplacements des doublets d'électrons à l'origine de la formation de l'ion propan-2-olate.

5 Effet de Catalyseur

En présence d'un catalyseur, l'équation-bilan de la réaction reste la même, mais le mécanisme réactionnel est modifié : la réaction se déroule alors par une succession d'étapes différentes.

Mécanisme réactionnel sans catalyseur

Mécanisme réactionnel avec catalyseur


Le catalyseur modifie le mécanisme réactionnel

6 Protection et déprotection

6.1 Présentation

Lors d'une réaction chimique mettant en jeu des composés polyfonctionnels, tous les groupes caractéristiques sont susceptibles de réagir.

Il peut être nécessaire dans certains cas de protéger un groupe pour l'empêcher de réagir.

6.2 Principe de la protection

La protection d'un groupe consiste à le transformer pour qu'il ne réagisse pas.

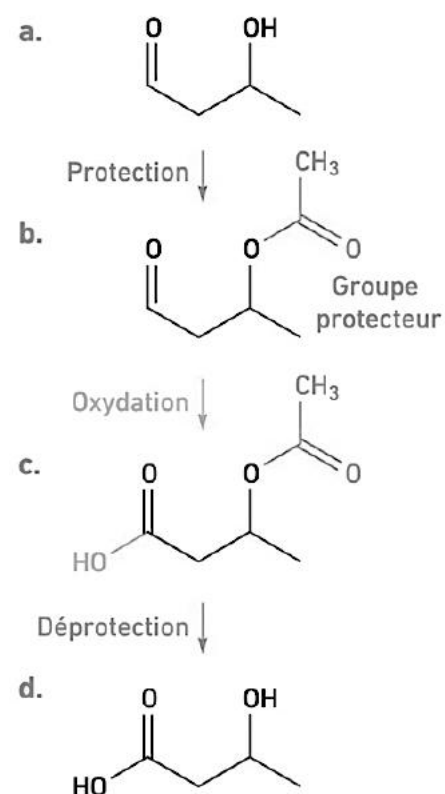
En fin de synthèse, il est nécessaire d'enlever les groupes protecteurs (ou de déprotéger).

Exemple ci-contre :

étape **b.** protection du groupe hydroxyle pour qu'il ne s'oxyde pas.

étape **c.** oxydation uniquement du groupe carbonyle

étape **d.** déprotection du groupe hydroxyle



7 Synthèse écoresponsable



La réalisation de synthèses écoresponsables de composés organiques consiste à concevoir des réactions chimiques limitant leur impact sur l'environnement.

Cela implique de choisir des réactifs, des solvants, des catalyseurs et des protocoles expérimentaux qui réduisent la consommation d'énergie, limitent la production de déchets et améliorent l'efficacité des réactions.

L'objectif est notamment d'augmenter la vitesse de réaction, la sélectivité et le rendement tout en diminuant les substances dangereuses et les sous-produits.

Cette démarche s'inscrit dans les principes de la « chimie verte ».

8 Optimisation du rendement par déplacement de l'équilibre

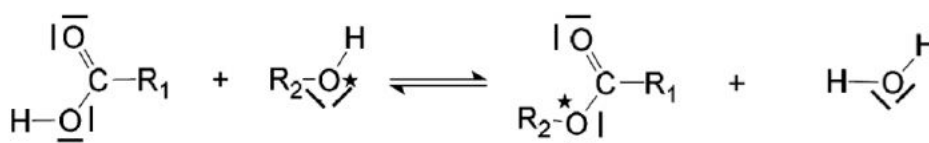
Le rendement d'une synthèse peut être augmenté en modifiant l'équilibre de la réaction.

- Introduire un réactif en excès favorise la formation des produits : l'équilibre se déplace alors dans le sens direct de la réaction.
- Éliminer un produit au fur et à mesure de sa formation a le même effet : l'équilibre se déplace également vers la formation des produits.

Plan de travail

QCM hatier : <http://www.hatier-clic.fr/pct129> question 9 à 12<http://www.hatier-clic.fr/pct271> question 8 à 11

Exigences et capacités exigibles du Chapitre 11 : Modélisation microscopique des réactions chimiques	Applications et Exercices	Exercices Hatier
À partir d'un mécanisme réactionnel fourni, identifier un intermédiaire réactionnel, un catalyseur et établir l'équation de la réaction qu'il modélise au niveau microscopique. Représenter les flèches courbes d'un acte élémentaire, en justifiant leur sens.	Applications 1 à 4 Exercices 1 à 4	55, 56 et 57 p.139

Exercice 1 Synthèse de l'éthanoate de butyle

L'oxygène marqué O* de l'alcool est celui qu'on retrouve généralement dans l'ester.

Cet exercice aborde l'étude du mécanisme de la synthèse de l'éthanoate de butyle.

Aspect macroscopique

- Nommer et donner la formule semi-développée des deux réactifs de la réaction ci-dessus, conduisant à la formation de l'éthanoate de butyle.
- Indiquer si la réaction d'estérification est une réaction de substitution, d'addition ou d'élimination. Justifier.

Aspect microscopique

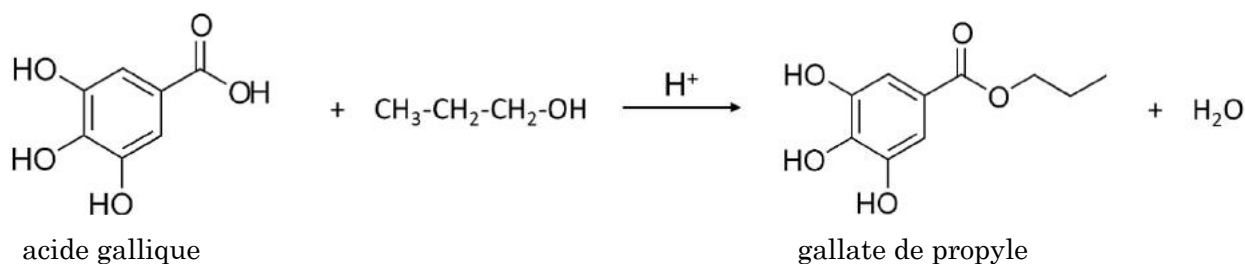
Données : L'atome d'oxygène O est beaucoup plus électronégatif que l'atome de carbone C. Les électronégativités du carbone et de l'hydrogène H sont en revanche voisines.

- Identifier pour chacun des réactifs un site donneur ou un site accepteur de doublet d'électrons puis proposer une première étape pour le mécanisme de formation de l'ester.

Exercice 2 le gallate de propyle

Le gallate de propyle (E310) est un antioxydant. Il permet de prolonger la durée de conservation des denrées alimentaires en les protégeant des altérations causées par l'oxydation, telles que le rancissement des matières grasses et les modifications de couleur. On en trouve notamment dans les chewing-gums ou les céréales du petit-déjeuner.

Le gallate de propyle (E310) peut être synthétisé à partir d'acide gallique et de propan-1-ol, en présence d'ions H⁺, selon une transformation chimique modélisée par la réaction dont l'équation est donnée ci-dessous :



D'après la réglementation NGAA (Norme Générale pour les Additifs Alimentaires), la teneur maximale autorisée de ce conservateur est de 200 mg par kilogramme d'aliment.

1. Recopier sur la copie les formules de l'acide gallique et du gallate de propyle. Entourer les groupes caractéristiques modifiés lors de la transformation de l'acide gallique en gallate de propyle et nommer les familles fonctionnelles correspondantes.

Le mécanisme réactionnel de la synthèse comporte cinq étapes, dont les étapes 3 et 4 sont représentées sur le document fourni en **Annexe à rendre avec la copie**.

2. Représenter sur l'**Annexe à rendre avec la copie** les flèches courbes de l'acte élémentaire correspondant à l'étape 3 du mécanisme, en justifiant leur sens.

3. Représenter le schéma de Lewis de l'espèce chimique A obtenue lors de l'étape 4. Justifier le qualificatif d'intermédiaire réactionnel donné à cette entité.

4. Indiquer le rôle joué par les ions hydrogène H^+ lors de cette transformation.

Données :

- masse molaire de l'acide gallique : $M_1 = 170,1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$;
- masse molaire du gallate de propyle : $M_2 = 212,2 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$;
- masse volumique de l'huile d'olive : $\rho_{\text{huile}} = 0,910 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$.

On utilise le gallate de propyle comme conservateur dans de l'huile d'olive alimentaire. On le synthétise en faisant réagir l'acide gallique avec un excès de propan-1-ol dans des conditions expérimentales où le rendement de la synthèse est de 60 %.

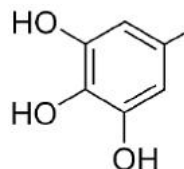
5. Indiquer l'intérêt d'introduire en excès le propan-1-ol.

6. Déterminer la masse d'acide gallique nécessaire pour obtenir 500 litres d'huile possédant la teneur maximale en conservateur autorisée par la réglementation. Commenter le résultat.

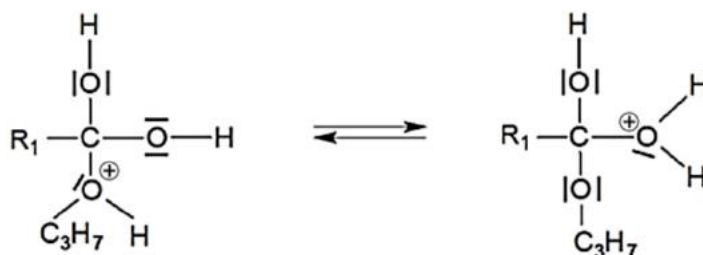
Annexe

Étapes 3 et 4 du mécanisme de la synthèse du gallate de propyle

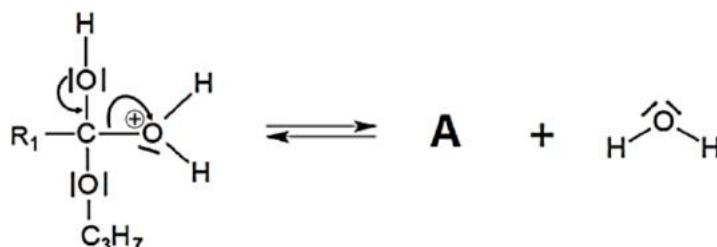
Pour simplifier l'écriture, on note R_1 le groupe suivant :



Étape 3



Étape 4



Exercice 3 Synthèse sélective de dipeptidiques

Document : polypeptide, protéine et liaison peptidique

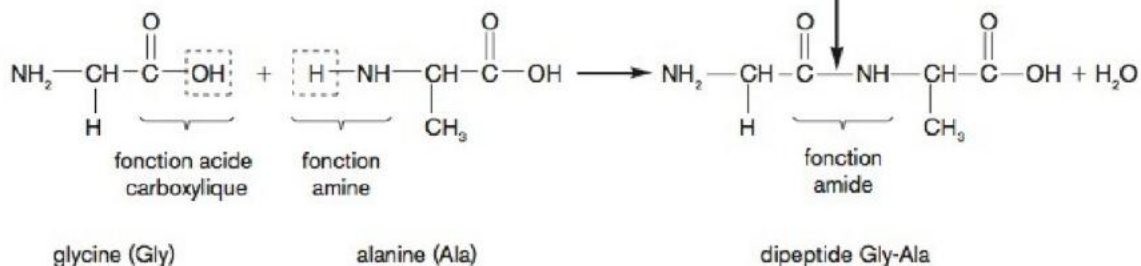
Les **polypeptides** et les **protéines** sont des **macromolécules** résultant de l'association d'un grand nombre d'acides aminés par formation de liaisons peptidiques.

La **liaison peptidique** entre deux acides aminés se forme par élimination d'eau au cours de la réaction entre le groupe $-\text{COOH}$ d'un acide aminé et le groupe $-\text{NH}_2$ d'un autre acide aminé.

On a donc

l'équation de la réaction :

La glycine, symbolisée « Gly », et l'alanine, symbolisée « Ala », sont deux acides aminés impliqués dans la fabrication des protéines.

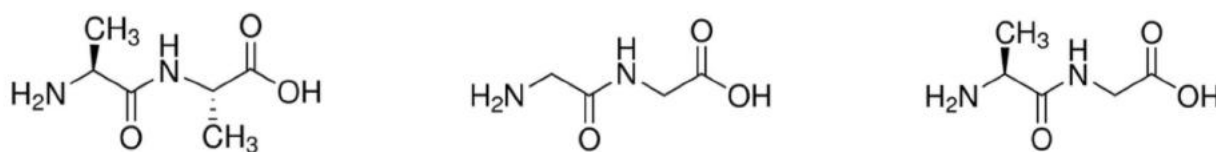


Un dipeptide est nommé par les abréviations à trois lettres des acides aminés à partir desquels ils sont construits. Pour construire le nom du dipeptide, on commence par l'acide aminé qui a gardé son groupement $-\text{NH}_2$ libre.

1. Représenter la formule topologique de la glycine puis celle de l'alanine et entourer puis identifier, en les nommant, les groupements fonctionnels présents sur les deux acides aminés.
2. Relier par une flèche les sites donneurs et accepteurs pouvant expliquer la formation de la liaison dipeptide Gly-Ala

On mélange de la glycine et de l'alanine dans le but de fabriquer le dipeptide Gly-Ala. En fin de réaction, on analyse le milieu réactionnel en couplant plusieurs techniques d'analyses comme l'IR, l'électrophorèse et la chromatographie sur couche mince. Ces analyses révèlent notamment que trois autres dipeptides de nature différente sont formés en plus de Gly-Ala initialement souhaité. Essayons de comprendre pourquoi.

3. Nommer les autres dipeptides formés :



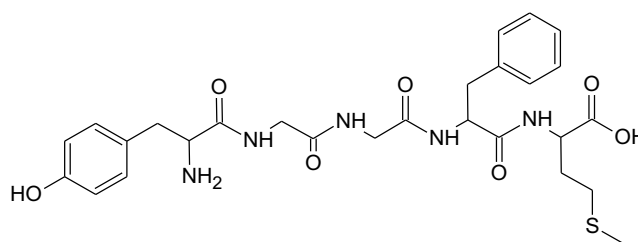
Il est possible de « bloquer » certains groupes fonctionnels d'une molécule et ainsi les empêcher d'intervenir dans la réaction : le chimiste organicien appelle cette étape la protection. Il faut également activer les groupes laissés libres. Les molécules protégées réagissent alors ensemble et en fin de réaction, il faut déprotéger les groupes fonctionnels pour obtenir le dipeptide désiré.

A partir d'un mélange de glycine et d'alanine, on souhaite obtenir **sélectivement** le dipeptide Gly-Ala.

4. Quels sont les groupes fonctionnels qu'il faut bloquer sur les deux acides aminés de départ ?
5. Proposer un schéma bilan exposant la stratégie à mettre œuvre pour obtenir sélectivement le dipeptide Gly-Ala. Utiliser les formules topologiques, faire apparaître les termes suivants : protection de $-\text{NH}_2$, protection de $-\text{COOH}$, réaction et déprotection des groupes fonctionnels.

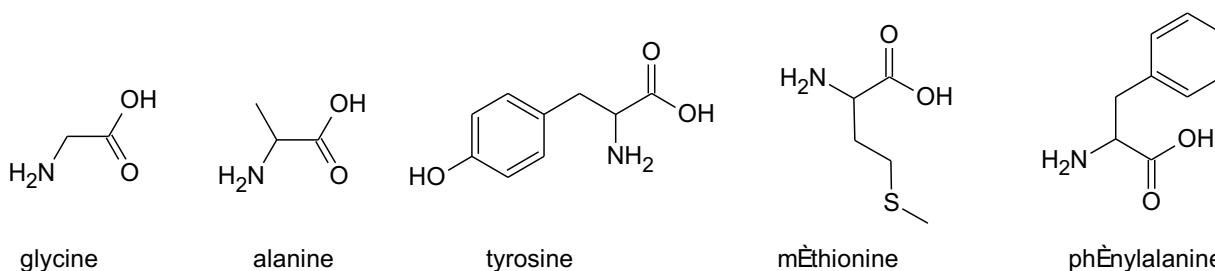
On peut, par exemple, représenter ou entourer les groupes bloqués par des couleurs.

La Met-enképhaline (aussi appelée Tyr-Gly-Gly-Phe-Met) est un petit polypeptide, c'est-à-dire une molécule construite à partir de cinq acides α -aminés. Elle appartient à la famille des enképhalines, molécules ayant une action au niveau des neurones nociceptifs. Ces neurones interviennent dans le mécanisme de déclenchement de la douleur ; la capacité des enképhalines à inhiber ces neurones, c'est-à-dire à diminuer leur activité, leur confère une activité analgésique.



Formule topologique de la Met-enképhaline

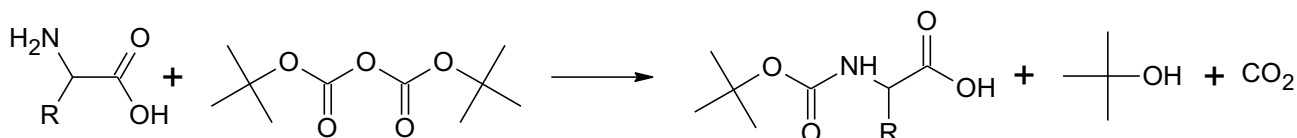
Le but de cet exercice est de montrer la complexité de la synthèse d'un polypeptide, même court, et de mettre en place une stratégie pour la dernière étape de la synthèse de la Met-enképhaline.



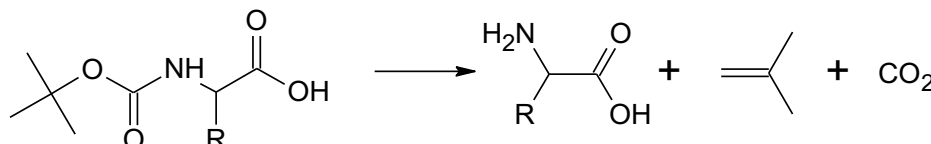
Document 1 – Exemples d'acides α -aminés présents dans l'organisme.

Document 2 – Exemple de séquence de protection/déprotection d'une fonction amine

Protection d'une fonction amine par le tert-butylcarbamate :

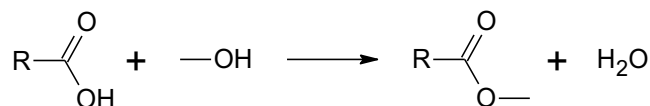


La déprotection qui permet de retrouver la fonction amine est assurée par la décomposition du produit obtenu en milieu acide à 25°C.



Document 3 – Exemple de séquence de protection/déprotection d'une fonction acide carboxylique

Protection d'une fonction acide carboxylique par estérification :



Cette réaction est équilibrée. Afin d'obtenir un bon rendement, et pour que la réaction puisse être considérée comme totale, il est nécessaire d'éliminer l'eau au fur et à mesure de sa formation.

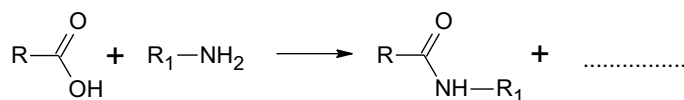
La déprotection de la fonction est assurée par la réaction inverse, appelée hydrolyse, à l'aide d'un catalyseur acide. Celle-ci est également équilibrée, et on utilise un grand excès d'eau afin de la réaliser avec un bon rendement.

1. Mise en évidence de la difficulté de la synthèse peptidique

1.1. À quoi reconnaît-on que les molécules du document 1 sont bien des acides aminés ?

1.2. Identifier les 4 acides α -aminés différents nécessaires à la synthèse de la Met-enképhaline.

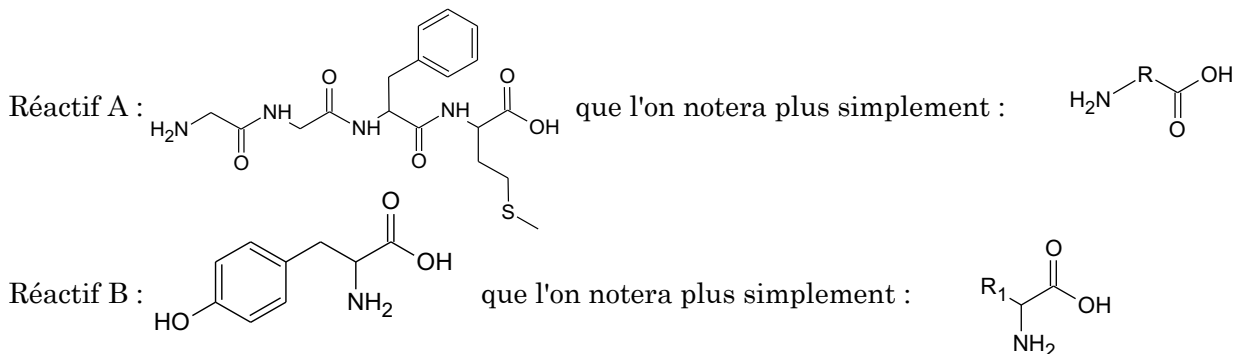
1.3. Sur la copie, recopier et compléter l'équation de réaction ci-dessous entre un acide carboxylique et une amine. Entourer et nommer le nouveau groupe fonctionnel.



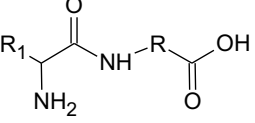
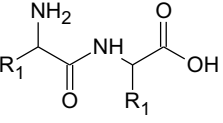
1.4. En déduire s'il est possible d'obtenir un seul dipeptide en faisant réagir deux acides α-aminés différents ensemble sans précaution particulière. Justifier simplement.

2. Dernière étape de synthèse de la Met-enképhaline

On envisage la dernière étape de la synthèse de la Met-enképhaline à partir des deux réactifs suivants :



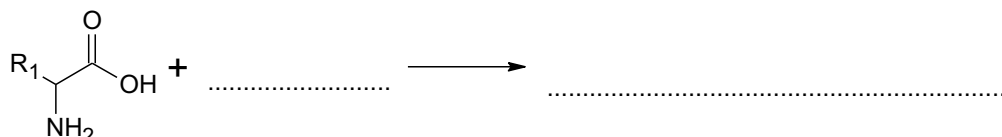
2.1. Il est possible d'obtenir 4 polypeptides à partir de ces deux réactifs. Les formules topologiques de deux d'entre eux sont données ci-dessous. Donner celles des deux autres.

Polypeptide 1 (Met-enképhaline)	Polypeptide 2
	

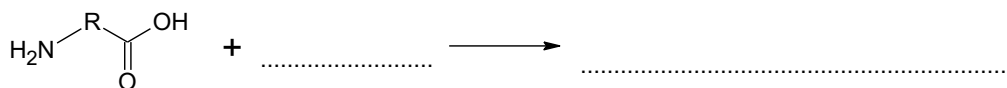
2.2. Déduire de la question précédente quelle fonction de chacun des réactifs A et B doit être protégée afin d'obtenir uniquement la Met-enképhaline.

2.3. Compléter la dernière étape de la synthèse de la Met-enképhaline.

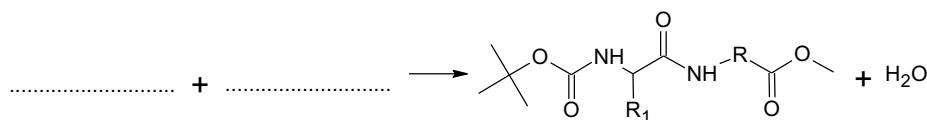
1- Protection du réactif B :



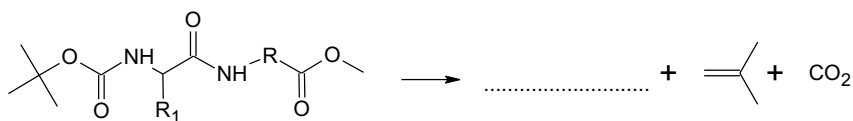
2- Protection du réactif A :



3- Réaction entre le réactif A protégé et le réactif B protégé :



4- Déprotection de la fonction amine :



5- Déprotection de la fonction acide carboxylique :

