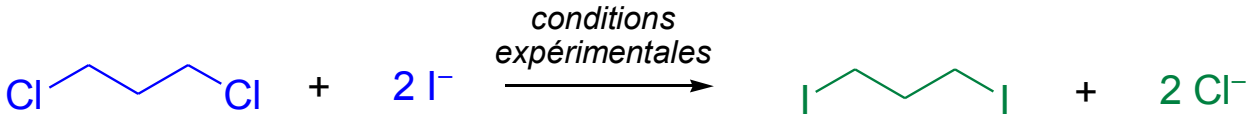
La Réaction en

Chimie Organique

I. Introduction

Réaction décrite par une ***équation chimique*** avec **réactifs** à gauche (A, B) et **produits** à droite (C, D) et les conditions expérimentales sur la flèche



Réactifs

Produits

substrat

celui qui subit la transformation

réactif

2 types de flèches : - flèche de réaction rectiligne vers la droite

A + B ⟶ C + D réaction complète irréversible

- flèche d'équilibre
2 flèches rectilignes opposées, à demi pointe

A + B ⇌ C + D réaction imcomplète réversible

Réaction = transformation de la matière ⇒ processus dynamique

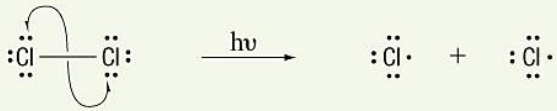
Or l'équation ne donne aucune indication sur le mode de rupture de liaison, les réactifs intermédiaires …

Appel aux **mécanismes réactionnels :** représentation des mvts d'e^- impliqués dans les transformations qui surviennent au cours des réactions chimiques

c.a.d. description de la réaction au niveau microscopique

Le mvt des e^- est représenté à l'aide de flèches courbes de mécanisme : 2 types

TABLEAU 4.2 TYPES DE FLÈCHES DE MÉCANISME

Nombre d'électrons impliqués	Type de flèche	Exemple*
2	Flèche courbe	
1	Flèche courbe à demi-pointe	

* **Attention !** Par convention, le sens des flèches indique toujours le déplacement du ou des électrons. Ces flèches courbes représentent des électrons libres ou des électrons d'une liaison. La pointe de la flèche indique la destination des électrons.

I. Mode de Rupture / Formation des liaisons

concerne le processus de ***rupture*** et de ***formation*** des liaisons et plus particulièrement le ***devenir des e⁻*** des liaisons rompues.

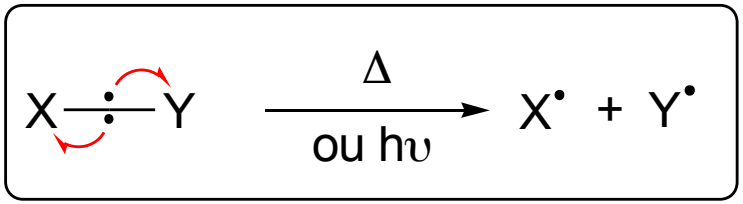
Trois schémas principaux sont possibles :

- réactions homolytiques (ou radicalaires)
- réactions hétérolytiques
- réactions pérycycliques

1. Réaction homolytique ou radicalaire

a. rupture

Def : Dans la rupture homolytique d'une liaison (homolyse de liaison) chaque atome participant à la liaison reprend l'e⁻ qu'il avait mis en commun en formant la liaison covalente.



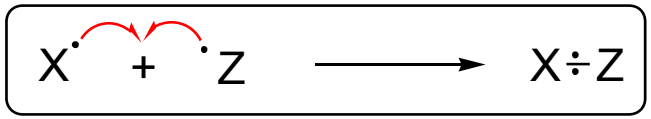
Processus qui concerne les <u>liaisons peu ou pas polarisées</u>

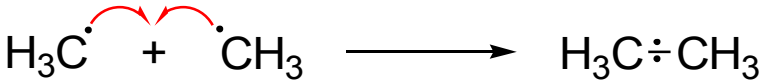
Formation de deux entités réactives <u>non chargées</u> appelées <u>radicaux libres</u>

b. formation

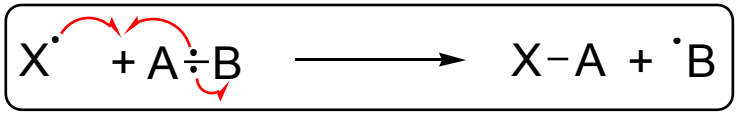
Les radicaux libres ainsi formés peuvent alors former de ***nouvelles liaisons de 3 façons différentes :***

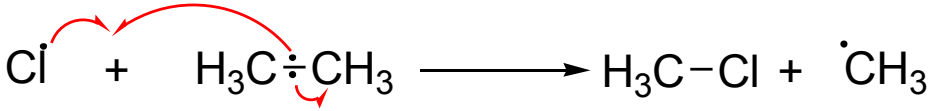
- s'associer à un autre radical



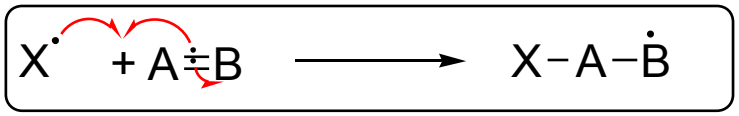


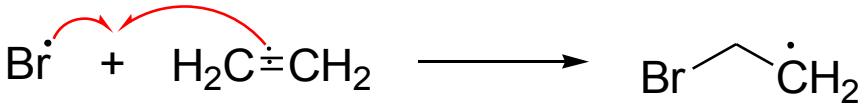
- attaquer une liaison σ d'une molécule neutre





- attaquer une liaison π d'une molécule neutre

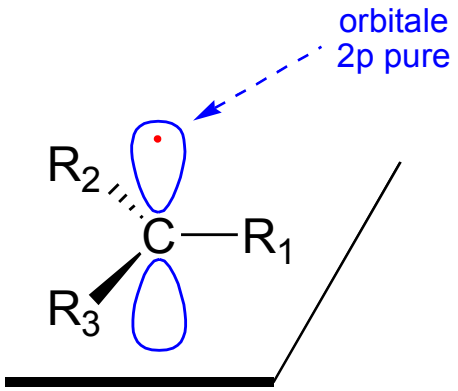




b. Structure et stabilité des radicaux carbonés

Structure

- Les radicaux sont ***plans***
- carbone central (ou fonctionnel) a une hybridation de type ***sp²***
- L'e⁻ célibataire occupe **une orbitale « *2p* » non hybridée** (orbitale pure) **perpendiculaire à ce plan.**

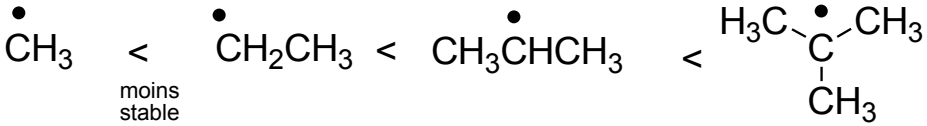


Stabilité

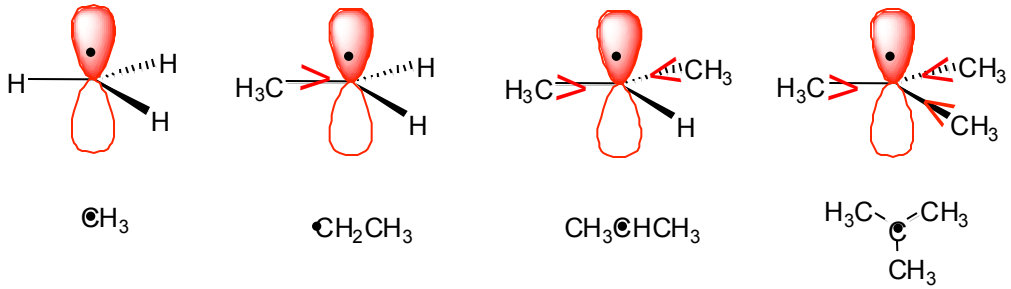
Un radical est d'autant plus stable qu'il est substitué

$\dot{C}H_3$ < $\dot{C}^{I}$ < $\dot{C}^{II}$ < $\dot{C}^{III}$

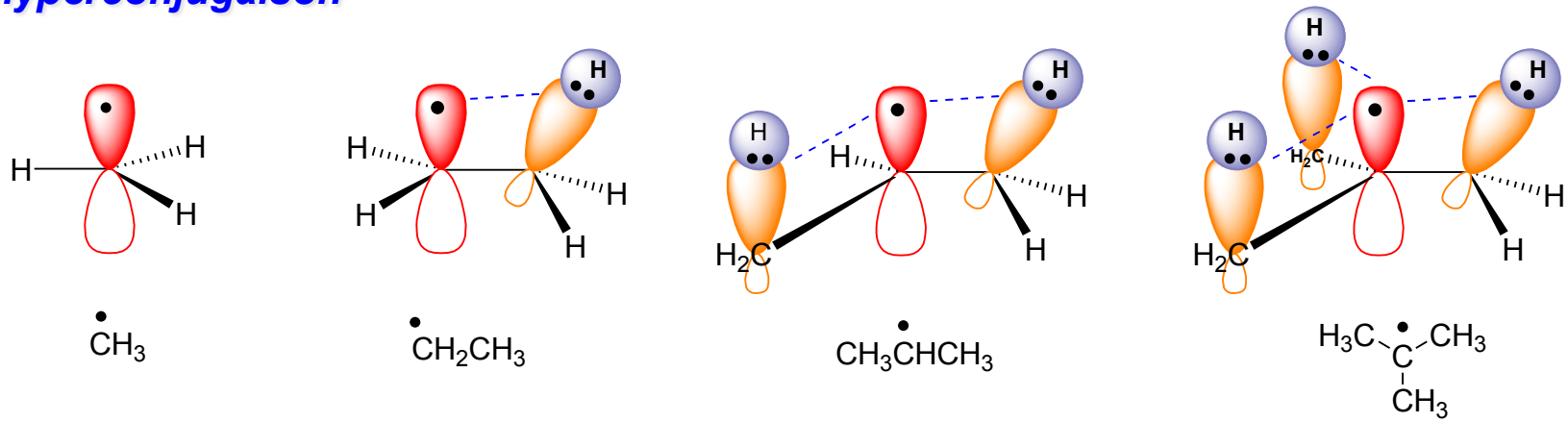
moins stable



Effet inductif



hyperconjugaison



Délocalisation de la paire d'e⁻ liants d'une liaison CH vers l'OA *p* partiellement vide : phénomène d'**hyperconjugaison**

Effet stabilisateur $\dot{C}H_3$ < $\dot{C}H_2CH_3$ < $CH_3\dot{C}HCH_3$ < $H_3C-\dot{C}(CH_3)-CH_3$

moins stable

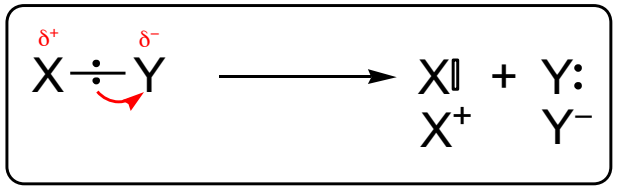
$\dot{C}H_3$ < $\dot{C}^{I}$ < $\dot{C}^{II}$ < $\dot{C}^{III}$

moins stable

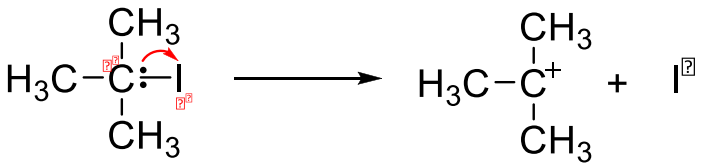
2. Réaction hétérolytique

a. rupture

Def : Dans la rupture hétérolytique d'une liaison (ou hétérolyse), l'atome le plus électronégatif emporte avec lui le doublet de la liaison. Il acquiert ainsi une charge négative, et l'autre, une charge positive.

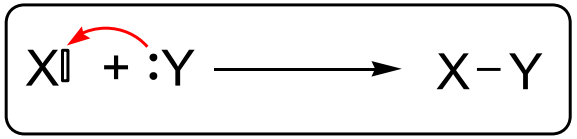


Processus qui concerne les *<u>liaisons peu ou pas polarisées</u>*

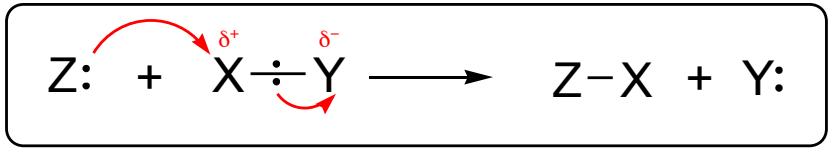


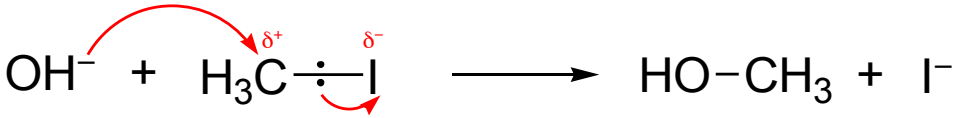
b. formation

Def: C' est le processus inverse : schéma classique de la coordinence



Il se peut que l'ensemble des 2 processus soit concerté, cad, que la rupture et la formation de la liaison aient lieu en même temps. On dit que ***la réaction est concertée***





Les réactions hétérolytiques sont marquées par l'interaction (la dualité) donneur-accepteur ou ***nucléophile-électrophile***

c. Les nucléophiles

Def : Un réactif est dit nucléophile s'il est capable d'apporter un doublet d'électrons pour créer une liaison covalente. (riche en e^-)

Ce doublet d'électron peut être soit sous la forme ***d'un doublet libre*** (bases de Lewis), soit sous forme d'un ***doublet facilement mobilisable*** dans un mécanisme concerté.

Les nucléophiles ***réagissent*** sur des sites ***à faible densité électronique (électrophile)***.

Ces réactifs nucléophiles peuvent être soient :

- des ions halogénures
- molécules possédant une charge négative (anion) soit portée par un hétéroatome, soit par un atome de carbone (carbanion R_3C^-)
- molécules neutres possédant des doublets non liants ou un doublet d'e^- π
- molécule possédant une liaison fortement polarisée tel que magnésien ou lithien.

TABLEAU 4.5 CATÉGORIES DE NUCLÉOPHILES

Catégorie 1	Molécules neutres	
Anions (charge négative)	Catégorie 2 Doublets libres d'électrons	Catégorie 3 Électrons π
$:\ddot{O}H^-$, $R\ddot{O}:^-$	$H-\ddot{O}-H$	$>C=C<$
$:NH_2^-$	$H_3C-\ddot{O}-H$	$>C=\ddot{O}:$
$:H^-$	$H-\ddot{N}-H$ (H) ; $H-\ddot{N}-R$ (H)	$-C\equiv C-$
$:R^-$		
$:\ddot{X}:^-$		
$:CN^-$		

d. Carbanions

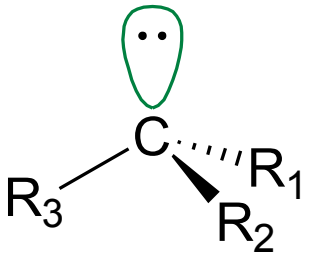
Def : intermédiaires réactionnel qui portent une charge négative sur un atome de carbone

Ce carbone possède alors un doublet d'e^- constitué d'un e^- du C et d'un e^- qui résulte de la coupure hétérolytique de la liaison C-Y où Y représente, le plus souvent, un H ou un atome moins électronégatif que lui comme un métal alcalin (Na, K, Li..).

espèce instable à courte durée de vie

➢ ***Structure***

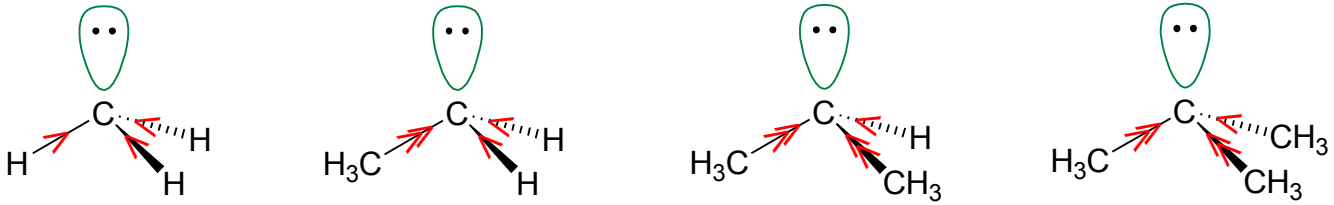
le carbone fonctionnel a : une hybridation de type ***sp***^{3}
une structure pyramidale où
le doublet d'e^- occupe le 4ème sommet



➢ *Stabilité*

un carbanion est d'autant moins stable qu'il est substitué.

L'effet inductif répulsif +*I* des grpt alkyles défavorise un carbanion tertiaire $C_I^- > C_{II}^- > C_{III}^-$ ainsi que l'effet d'hyperconjugaison



$^-CH_3$ > $^-CH_2CH_3$ > $CH_3\overset{-}{C}HCH_3$ > $(H_3C)_3\overset{-}{C}$

plus stable

e. Les électrophiles

Def : Ce sont des réactifs qui sont ***pauvres en électrons*** (ont un déficit électronique).
Ils acceptent un doublet d'e^- pour former une liaison covalente avec un atome à forte densité électronique (un centre nucléophile).
Ils disposent d'une « case vide », ou susceptible de se libérer au cours d'un mécanisme concerté.

Les électrophiles ***réagissent*** avec des sites ***à forte densité électronique (nucléophile)***.

Ces réactifs électrophiles peuvent être soient :

- molécules ayant un octet incomplet
  - acide de Lewis ($AlCl_3$, BF_3, $ZnCl_2$)
  - carbocation R_3C^+
  - molécule ou atome possédant une charge positive (cation) porté par un hétéroélément : Br^+, Cl^+, NO_2^+

TABLEAU 4.4 CATÉGORIES D'ÉLECTROPHILES

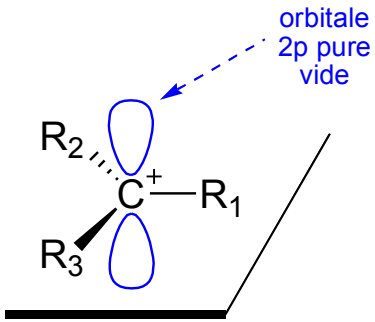
Catégorie 1	Catégorie 2	Catégorie 3
Espèces ayant un **octet incomplet**	Espèces ayant une **charge positive** et un **octet complet**	Espèces ayant une **charge partielle positive** et un **octet complet**
$AlCl_3$		
BF_3	H^+ (H_3O^+, NH_4^+, $CH_3NH_3^+$)	$H_3C\overset{\delta^+}{-}\overset{\delta^-}{Cl}$; $H\overset{\delta^+}{-}\overset{\delta^-}{Br}$
$FeBr_3$	NO_2^+	
$ZnCl_2$	HSO_3^+	$H\overset{\delta^+}{-}\overset{\delta^-}{Cl}$; $H\overset{\delta^+}{-}\overset{\delta^-}{I}$
R^+, Cl^+, $R-\overset{+}{C}=O$		

- Espèce ayant une charge partielle δ^+

f. Carbocation

Def : intermédiaires réactionnel qui portent une charge positive sur un atome de carbone résultant de la perte d'un e- lors d'une coupure hétérolytique d'une liaison avec un groupement partant

espèce instable à courte durée de vie



➢ **Structure**

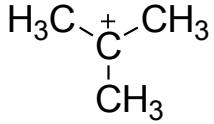
le C fonctionnel a : une hybridation de type ***sp²*** (angle de liaison de 120°)
une structure ***plane***
possède une **orbitale « *2p* » non hybridée vide** (orbitale pure)
perpendiculaire à ce plan

➢ **Stabilité**

Le carbocation est d'autant plus stable qu'il est substitué. L'effet inductif et le phénomène d'hyperconjugaison des gpts alkyles stabilise la charge +

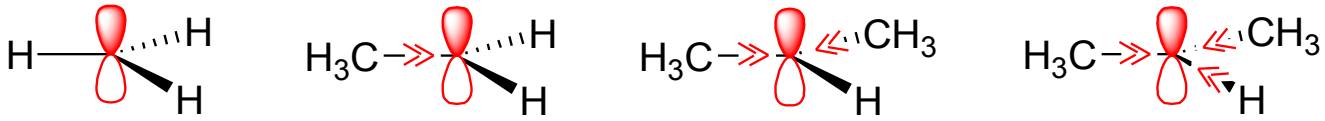
$^{+}CH_3 < {}^{+}C^{I} < {}^{+}C^{II} < {}^{+}C^{III}$

moins stable

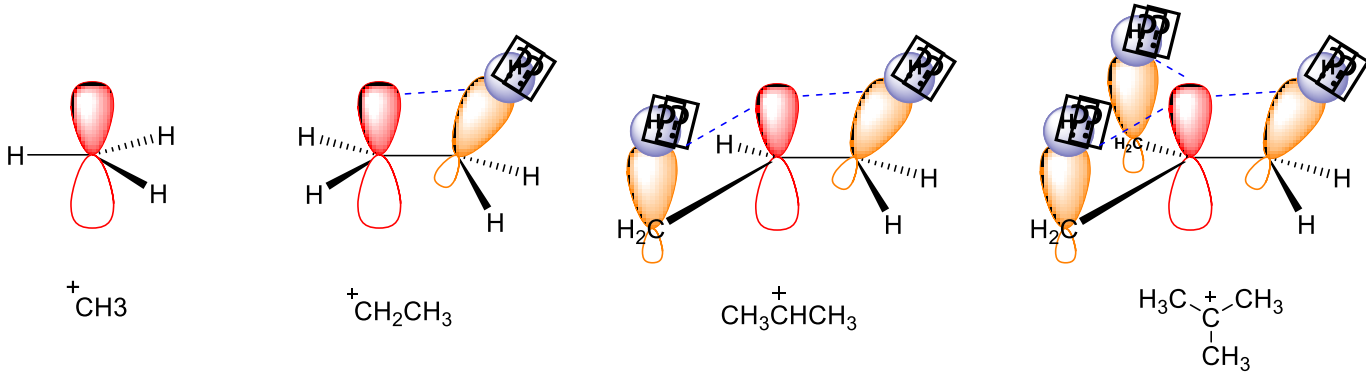
$^{+}CH_3 < {}^{+}CH_2CH_3 < CH_3\overset{+}{C}H_2CH_3 <$ 

moins stable

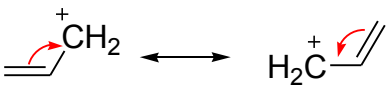
Effet inductif donneur +I



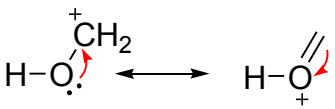
Hyperconjugaison : Délocalisation de la paire d'e⁻ liants d'une liaison CH vers l'AO *p* vide du C^+



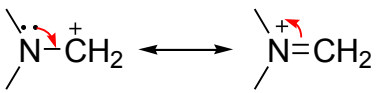
Effet mésomère +M



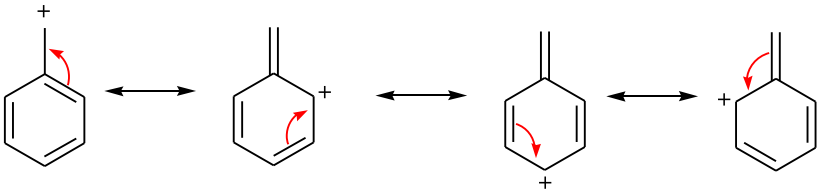
carbocation allylique



carbocation hydroxyméthyl



carbocation diméthylaminométhyl

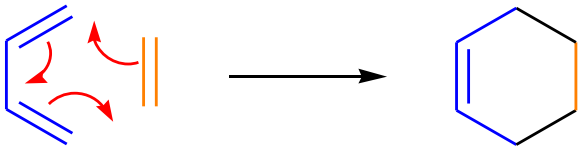


carbocation benzylique

3. Réaction péricycliques

Certaines réactions s'effectuent : - de manières totalement concertées
- où il est impossible de discerner des étapes de rupture et de formation de liaison
- et par une sorte de redistribution électronique, qui peut être schématisée sous la forme ***d'un transfert cyclique d'e⁻***.

Exemple : réaction de Diels-Alder



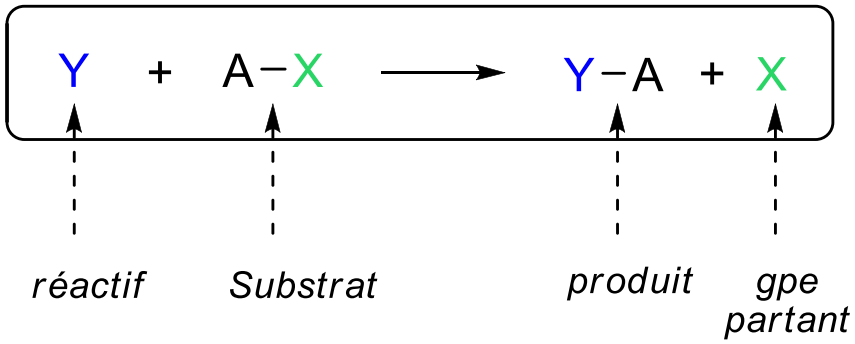
II. Catégories de réactions

Une démarche en vue d'apporter un ***deuxième élément d'organisation*** dans l'étude des réactions en chimie organique consiste à tenter de ***les classer sur la base du bilan global de la redistribution des atomes.***

4 catégories de réactions : - réactions de substitution
- réactions d'addition
- réactions d'élimination
- réactions de réarrangement

1. Réactions de substitution

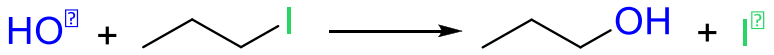
Def : Dans une réaction de substitution, un atome ou un groupement d'atomes (réactif) en remplace un autre dans une molécule (substrat).



Il existe ***trois familles de réaction de substitution*** qui varient en ***fonction de la nature des réactifs (et substrats)*** mis en jeu.

a. Les réactions de Substitution Nucléophile (S_N)

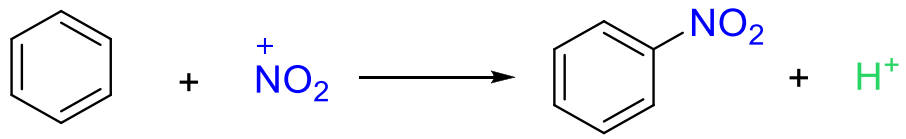
La réaction de substitution sera dite ***nucléophile*** (S_N) si l'espèce réagissant (***le réactif) est riche en électrons ou encore nucléophile.***



réactif *substrat*

b. Les réactions de Substitution Electrophile (S_E)

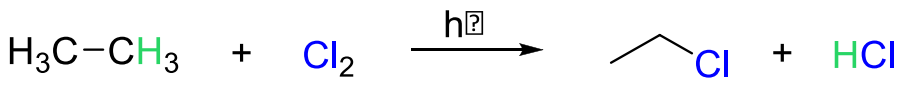
La réaction de substitution sera dite ***électrophile*** (S_E) si l'espèce réagissant (réactif) est pauvre en électrons ou encore ***Electrophile***.



substrat *réactif*

c. Les réactions de Substitution Radicalaire (S_R)

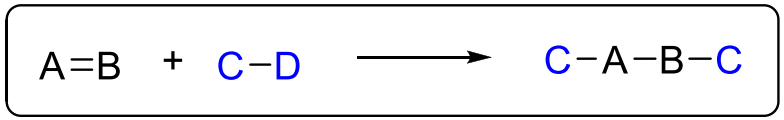
La réaction de substitution sera dite ***radicalaire*** (S_R) si le réactif est un radical libre, cad un atome ou groupe d'atomes possédant un électron célibataire.



Coupure homolytique de Cl_2 pour former 2 x Cl° (espèce réactive)

2. Réactions d'addition

Def : Dans une réaction d'addition le réactif se scinde en deux fragments qui vont se fixer sur 2 atomes du substrat, le plus souvent les atomes d'une double ou triple liaison.



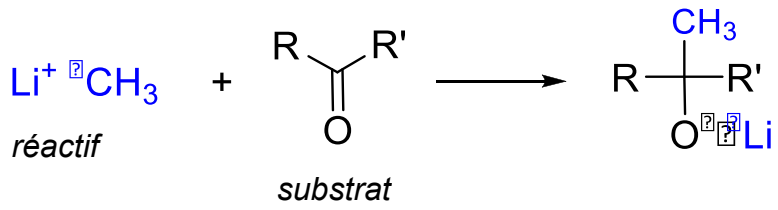
substrat *réactif*

perte de la liaison π du substrat
création d'une liaison σ

Trois types d'addition en fonction de la nature du réactif: - addition nucléophile
- addition électrophile
- addition radicalaire

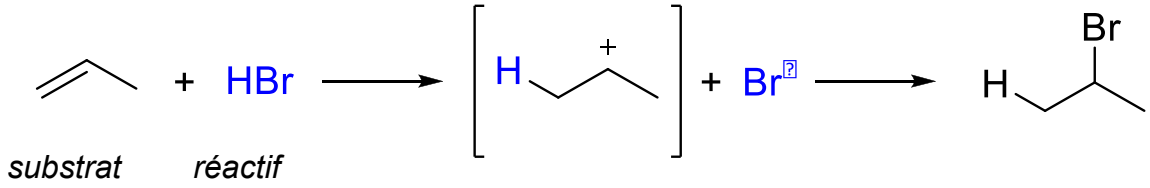
a. Addition Nucléophile (A_N)

La réaction d'addition sera dite ***nucléophile*** (A_N) lorsque le fragment du réactif attaquant initialement sera nucléophile (riche en électrons)



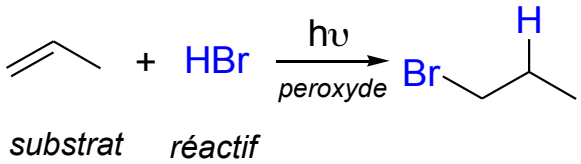
b. Les réactions d' Addition Electrophile (A_E)

La réaction d'addition sera dite ***électrophile*** (A_E) lorsque le réactif (le premier impliqué) sera électrophile (pauvre en électrons).



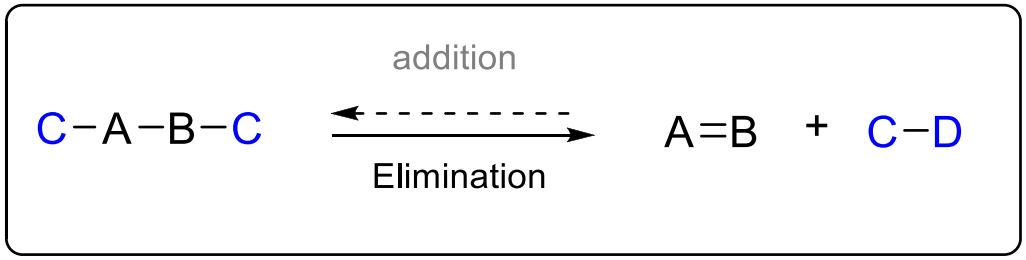
c. Les réactions d'Addition Radicalaire (S_R)

La réaction d'addition sera dite ***radicalaire*** (A_R) lorsque le réactif sera un radical libre

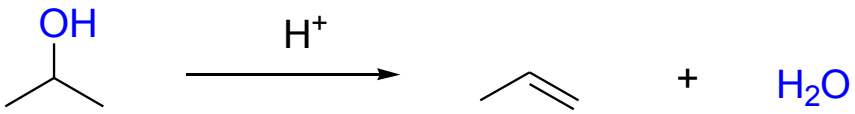


3. Réactions d'élimination

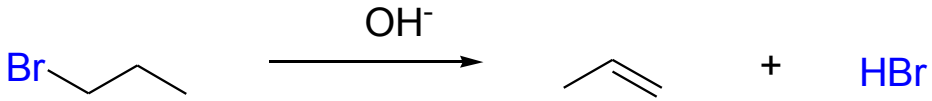
Def : Les réactions d'élimination sont l'inverse des réactions d'addition. Au cours d'une telle réaction une molécule perd certains de ces atomes sous forme d'entités stables, et il en résulte la création d'une liaison supplémentaire (liaison multiple ou cyclisation).



Ces réactions interviennent souvent en milieu acide (H^+) ou basique (OH^-) et en présence de chaleur Δ



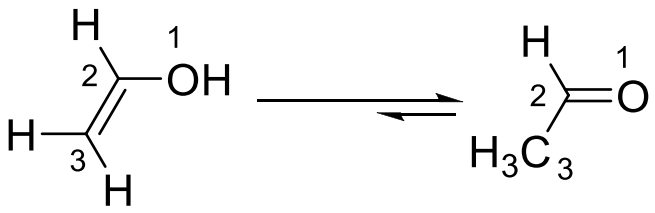
Déshydratation des alcools



Déhydrohalogénation des halogénures d'alkyle

4. Réactions de réarrangement

Def : on dit qu'il y a transposition (ou réarrangement) lorsqu'au cours d'une réaction certains atomes ou groupement d'atomes changent de place dans la molécule. Il n'y a ni gain ni perte d'atomes.



transformation énol /aldéhyde (tautomérie) : migration 1,3 d'un hydrogène

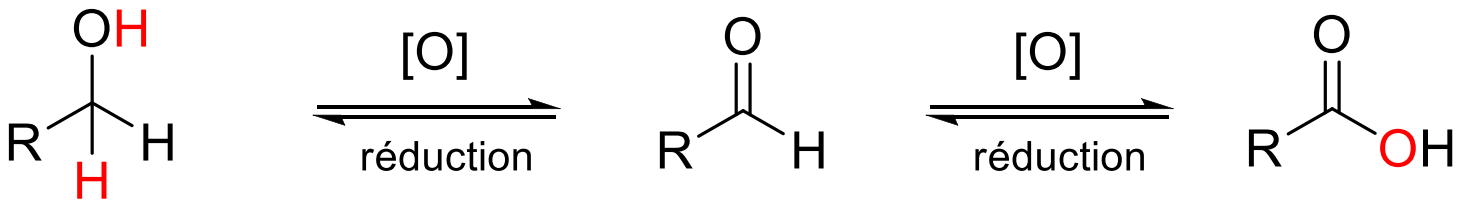
5. Réactions d'oxydation / Réduction

Oxydation : Réaction au cours de laquelle une espèce chimique perd des électrons
Réduction : Réaction au cours de laquelle une espèce chimique gagne des électrons

$$\text{Red} \underset{\text{réduction}}{\overset{\text{oxydation}}{\rightleftharpoons}} \text{Ox} + e^{?}$$

En chimie organique

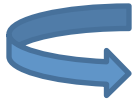
- ❑ Oxydation se traduit par le gain d'oxygène ou la perte d'hydrogène
- ❑ Réduction se traduit par la perte d'oxygène ou le gain d'hydrogène



III. Aspect Thermodynamique et cinétique d'une réaction

$$A + B \rightleftharpoons C + D$$

$\rightleftharpoons$ = réaction réversible et substrats



les produits peuvent devenir les réactifs
il peut se former un équilibre dans lequel A, B, C et D coexistent

Grande différence avec les réactions de chimie minérales (ou inorganique) qui sont elles presque toutes rapides, totales et irréversibles.

Dans ce paragraphe nous allons parler de deux notions énoncées :

- La thermodynamique (qui prévoit les quantités relatives de A, B, C, et D)
- La cinétique (vitesse à laquelle l'équilibre est atteint qui peut varier en fonction de T°, P, [ ], catalyseur)

1. Aspect Thermodynamique. Energie de Réaction

Au cours d'une réaction chimique, il y a échange d'énergie avec l'extérieur (atmosphère, bain..).

La forme d'énergie la plus couramment échangée au cours de réactions chimiques est la chaleur.

La variation d'énergie a prendre en compte à température et pression constante est :

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

variation d'enthalpie libre ou énergie libre

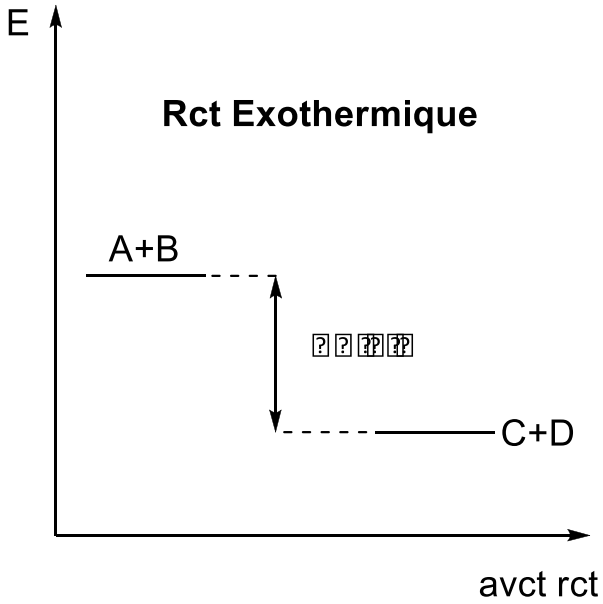
variation d'enthalpie (ou chaleur de réaction) liée aux énergies de coupure et formation de liaison

variation d'entropie (mesure le désordre moléculaire dans le système chimique) négligeable

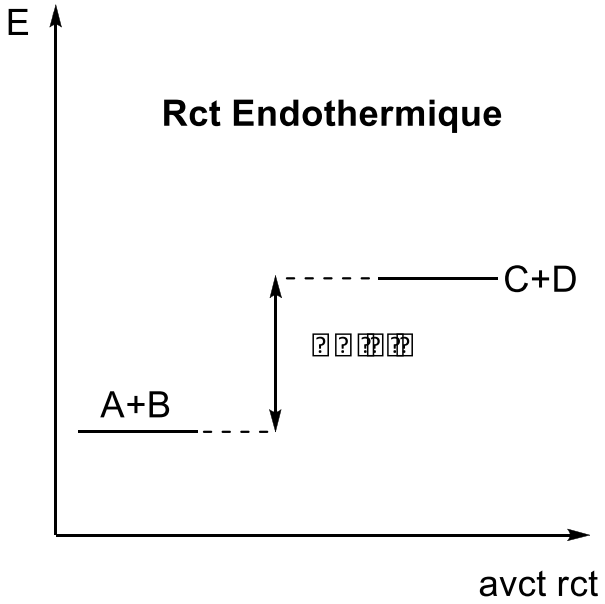
En conséquence :

➢ Si de l'énergie a été ***cédée*** par le système = réaction ***exothermique*** (signe – à cette quantité d'énergie).

➢ Si de l'énergie a été ***absorbée*** par le système = réaction ***endothermique*** (signe + à cette quantité d'énergie).



Produit plus stable que réactif:
le système ***est plus stable dans l'état final que dans son état initial*** *(L'énergie d'arrivée est plus faible que l'énergie de départ). Dans ce cas la réaction sera dite* ***sous contrôle thermodynamique***.



Produit moins stable que réactif :
une réaction endothermique nécessite un apport *d'énergie et sera plus difficile mais faisable. Combustion du méthane*

2. Aspect Cinétique. Energie d'activation

Une réaction a lieu de façon spontanément si :

- $\Delta G < 0$ (diminution d'énergie du système)
- sa vitesse n'est pas nulle ou ne dépasse pas des temps raisonnables.

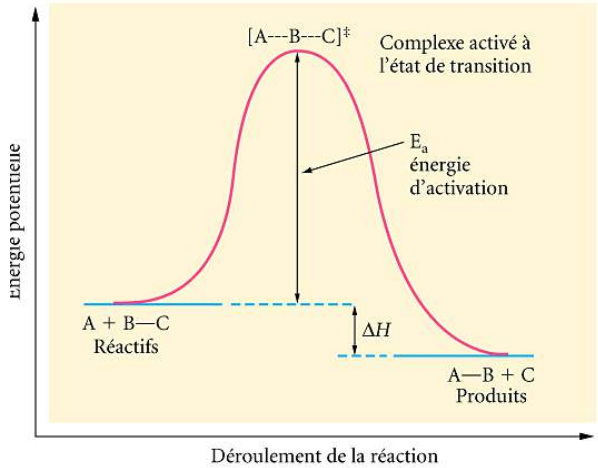
Dans les gaz et les liquides, les molécules sont en perpétuelle agitation.
Les réactions n'ont lieu qu'à l'occasion de **collisions** efficaces (=1 pour 10^9 à 10^{12}, les autres ne provoquent que des déviations de trajectoire).

Pour qu'une collision soit efficace, deux conditions doivent être remplies :

1. au moment de la collision, l'orientation des 2 molécules l'une / à l'autre soit bonne (création d'une liaison entre deux atomes par ex.)
2. que l'énergie cinétique (vitesse des molécules) soit suffisante pour contrebalancer la répulsion des nuages électroniques de 2 molécules qui s'approchent.

collision efficace si l'orientation et l'énergie cinétique permettent d'atteindre ou de passer par un **état de transition** ET (ou complexe activé, dans lequel l'énergie potentielle Ep est supérieure à celle des réactifs et des produits).

Cette **barrière énergétique** qu'il faut franchir est appelée **énergie d'activation Ea** de la réaction. Cette énergie est obtenue par transformation de l'énergie cinétique des molécules en énergie potentielle (cf perchiste)



Un état de transition n'est pas un état stable.
N'a pas de durée de vie finie.
On ne peut pas l'observer expérimentalement.
On le postule et on peut essayer de le calculer : on fait des modèles.

-vitesse d'une réaction directement ***proportionnelle aux [des réactifs]***

-est de la forme $\boldsymbol{v = k[A]^m[B]^n}$ avec k (constante de vitesse) $= A e^{-Ea/RT}$

$$CH_3O^- + CH_3Br \longrightarrow CH_3OCH_3 + Br^-$$

$v = k[CH_3O^-][CH_3Br]$

réaction d'ordre 2

3. Profils réactionnels : Réactions élémentaires et complexes

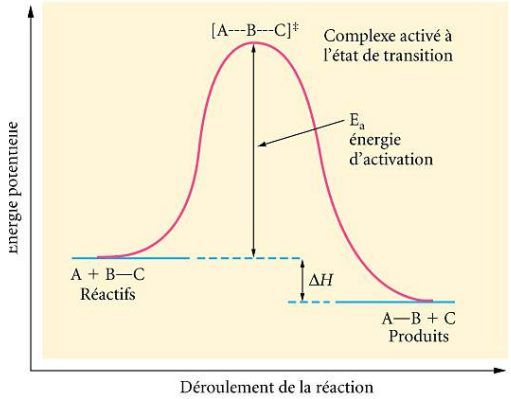
On peut avoir ***deux types de réactions :***

- Celles qui font intervenir ***un seul ET (réactions élémentaires)***
- Celles qui font intervenir ***au moins deux ET (réactions complexes).***

a. Réaction élémentaire (ou concertée)

Def : Ce sont des réactions qui s'accomplissent en un seul acte, une seule étape à la suite d'une collision qui déclenche de manière concertée la rupture et la formation d'une liaison

$$CH_3O^- + CH_3Br \longrightarrow CH_3OCH_3 + Br^- \qquad v=k[CH_3O^-][CH_3Br]$$

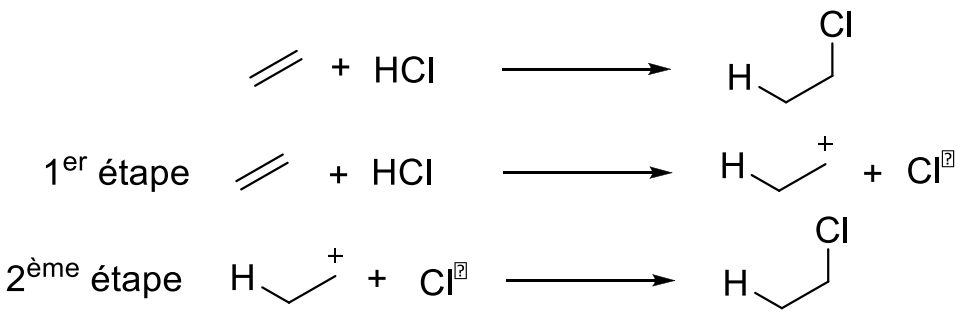


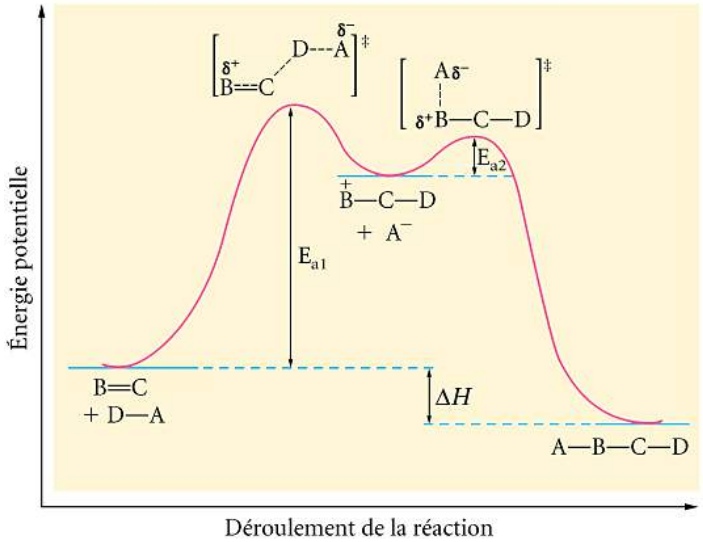
Il est à noter que dans une réaction élémentaire l'ordre global de la réaction est égal à la molécularité de la réaction c'est à dire à la somme des coefficients stoechiométrique du premier membre de l'équation.

b. Réactions complexes (ou par étapes)

Def : Ce sont des réactions qui s'effectuent en deux ou plusieurs étapes, par une succession de réactions élémentaires.

Ex : addition de HCl sur l'éthylène





Le creux = intermédiaire réactionnel (IR, C+ dans ce cas).
Contrairement aux ET, les IR correspondent à des minima d'énergie, ont une durée de vie et peuvent dans certains cas être isoler (rares) ou observer.

Dans une telle réaction, l'une de ses étapes est en général moins rapide (Ea plus grande) et imposera donc sa vitesse à la réaction. Elle sera donc l'étape **cinétiquement déterminante** et les ordres partiels et globaux observés correspondent aux coefficients stœchiométriques et à la molécularité de cette étape.

4. Catalyse

On peut agir sur la ***vitesse des réactions*** en faisant intervenir ***l'action d'un catalyseur***

Catalyseur = **substance** qui a pour effet direct **d'accélérer une réaction sans être modifié** par celle-ci. Cela se traduit par un abaissement de l'énergie d'activation donc de l'état de transition.

ne participe pas au bilan de la réaction
peut être récupéré inchangé en fin de réaction → utilisé en q**uantité catalytique** (1 à 10 mol % par rapport au substrat).

Contrairement à l'élévation de température qui apporte de l'énergie et qui aide à franchir l'Ea, le catalyseur n'apporte pas d'énergie.

Il contribue à diminuer l'Ea de la réaction et augmente donc la vitesse de réaction.

Ceci peut se faire de deux manières différentes :

- abaisser l'énergie de l'ET sans affecter le profil général de la réaction

- modifier le chemin réactionnel pour en proposer un qui généralement impliquera plusieurs étapes mais plus rapide

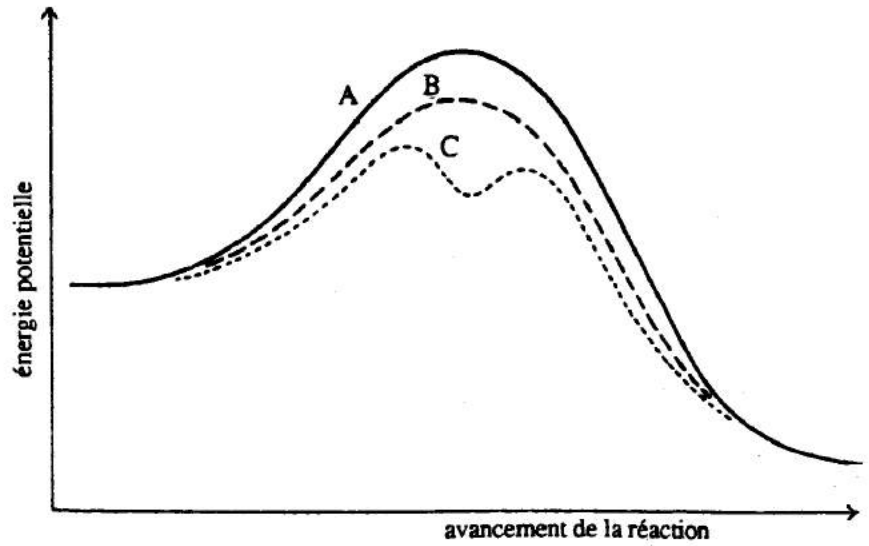


Figure 1.16 Diagramme énergétique d'une réaction non catalysée (A) et de la même réaction catalysée (B ou C).

IV. Mécanismes en chimie organique : introduction

1. Les règles d'écriture des mécanismes

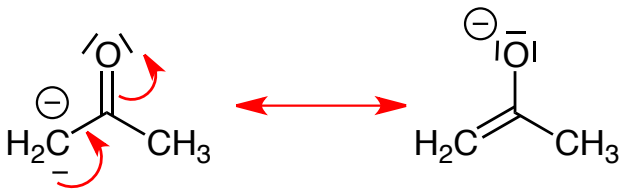
L'étude des mécanismes réactionnels en chimie organique est fondamentale. Nous verrons par la suite la signification des symboles utilisés pour la représentation des mécanismes.

a. Les différentes flèches

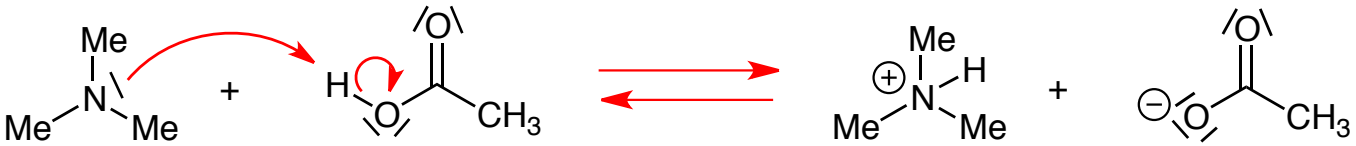
L'écriture des mécanismes réactionnels fait intervenir différentes flèches qui ont des significations bien précises. Ces flèches se dirigent toujours du (–) vers le (+). Elles partent d'un doublet ou d'une liaison, mais, en principe, pas des charges figurées sur les atomes.

Symbole	Dénomination	Signification/usage	Utilisation
	Flèche courbe pointe normale	Déplacement de deux électrons	Mésomérie Mécanisme de réaction
	Flèche simple	Relie deux molécules ou intermédiaires réactionnels	Réaction
ou	Double flèche	Relie deux molécules ou intermédiaires réactionnels	Réaction réversible
	Flèche courbe pointe hameçon	Déplacement d'un électron	Mésomérie Mécanisme de réaction
	Flèche à double pointe	Relie deux formes mésomères limites	Mésomérie

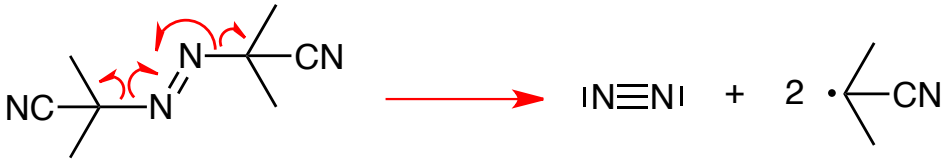
b. exemples



- Deux formes mésomères limites
- Aucune rupture de liaison
- Seulement un déplacement d'électrons



- Réaction équilibrée, réversible, symbolisée par une double flèche
- Réaction acido-basique
- Formellement, l'atome d'azote "prête" un électron à un proton dépourvu d'électron
- En établissant la liaison N–H, la liaison O–H se rompt (rupture hétérolytique), les deux électrons de la liaison sont récupérés par l'atome d'oxygène

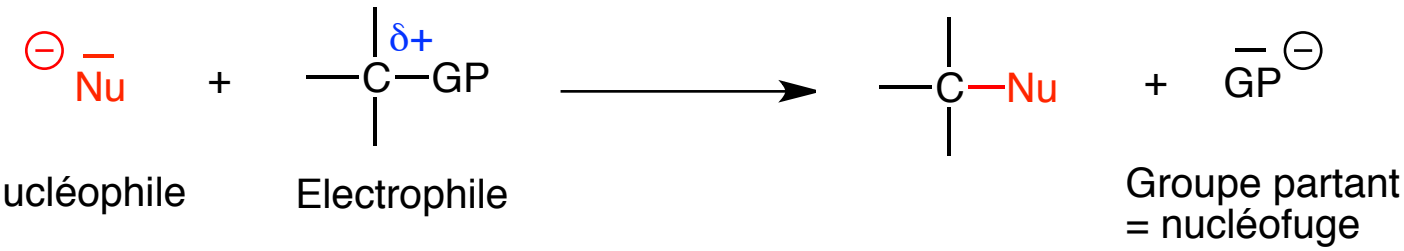


AIBN

- AIBN (initiateur radicalaire) : double rupture homolytique
- Réaction irréversible symbolisée par une simple flèche
- Les deux électrons récupérés par chacun des deux atomes d'azote permettent d'établir une liaison π entre les deux atomes, formant du diazote particulièrement stable

2. La substitution nucléophile unimoléculaire S_N1

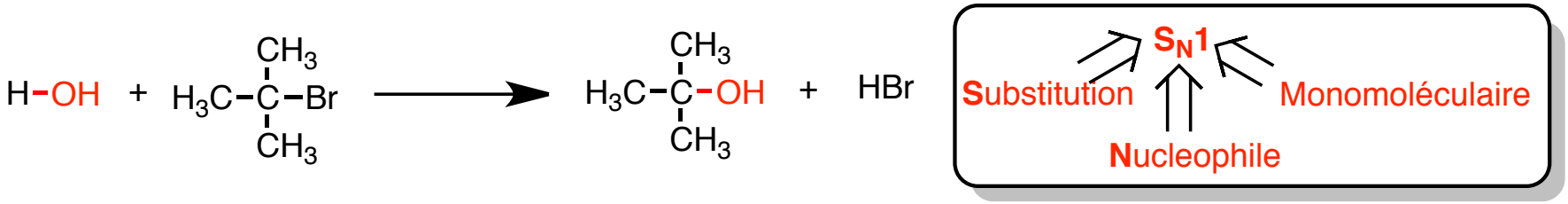
Rappel: Substitution nucléophile = Un nucléophile riche en électrons (Nu) réagit avec une molécule électrophile, possédant un atome de carbone tétragonal appauvri en électrons, du fait de la présence d'un groupe partant (GP). Nu constitue le "groupe entrant" qui se lie au carbone électrophile en formant une nouvelle liaison C–Nu, entrainent ainsi le départ du GP (également appelé nucléofuge).



a. Faits expérimentaux

➢ ***Aspect cinétique***

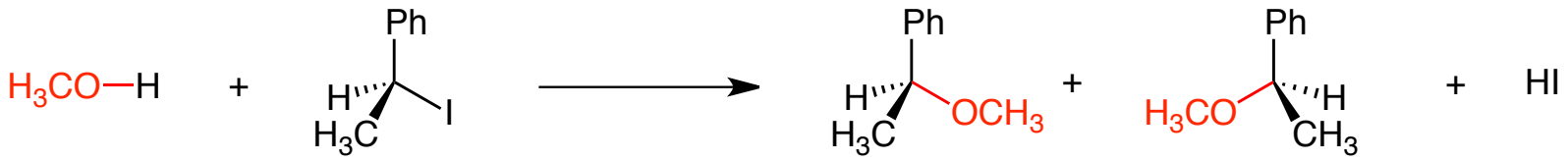
Le 2-bromo-2-méthylpropane réagit avec l'eau pour conduire au 2-méthylpropan-2-ol :



C'est une réaction de S_N où l'eau est le nucléophile et l'ion bromure, le groupe partant. La vitesse observée ne dépend que de la concentration initiale en bromoalcane. Cette réaction est appelée ***substitution nucléophile monomoléculaire***

➢ *Aspect stéréochimique*

La réaction du (*S*)-1-iodo-1-phényléthane, énantiomériquement pur, avec le méthanol (CH_3OH) conduit à la formation d'un mélange racémique.



(*S*)-1-iodo-1-phényléthane

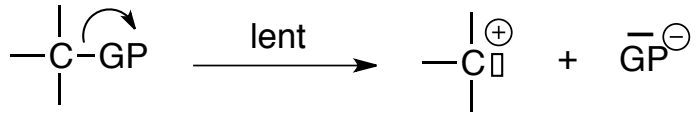
50% (*S*) 50% (*R*)

racémique

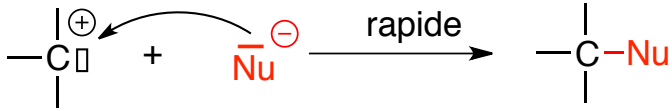
b. Mécanisme

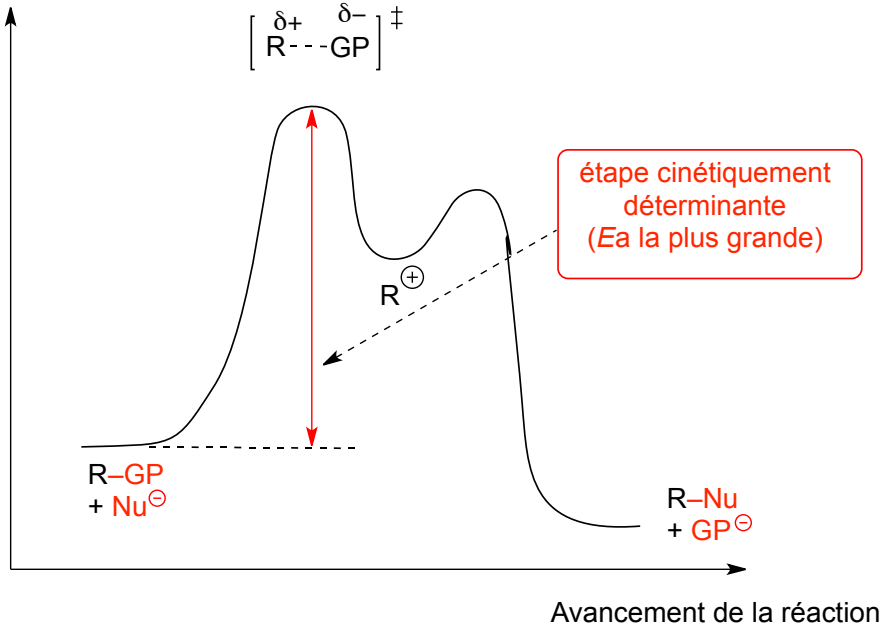
Un mécanisme en deux étapes, mettant en jeu la formation d'un ***carbocation intermédiaire***, permet d'expliquer les faits expérimentaux décrits précédemment :

1ère étape : formation d'un carbocation, étape déterminant la vitesse globale (étape cinétiquement déterminante)

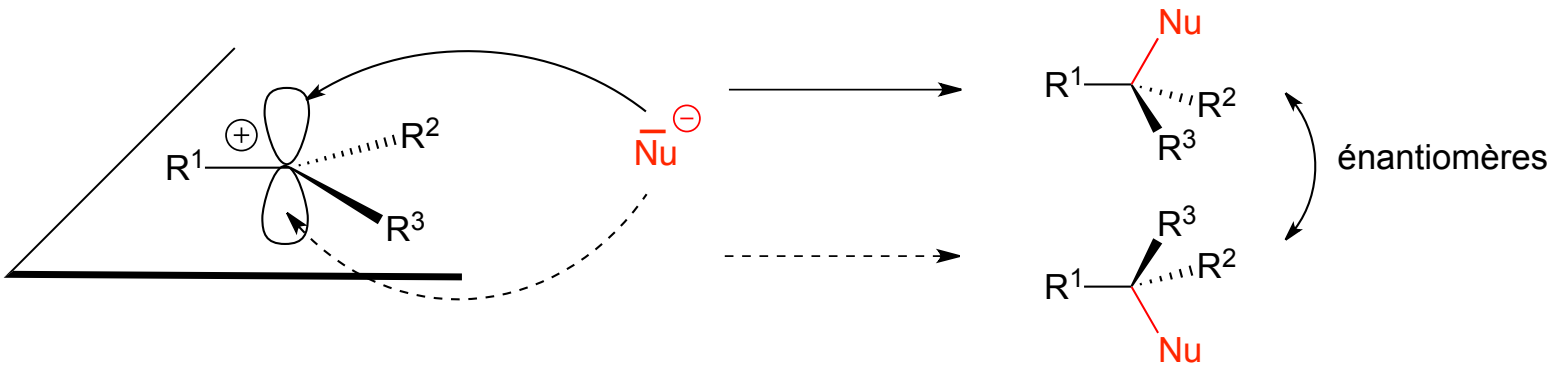


2ème étape : réaction du nucléophile





- Le carbocation intermédiaire est plan
- Le nucléophile peut ainsi arriver indifféremment sur l'une ou l'autre face
- Ainsi, la S_N1 s'accompagne d'une racémisation de l'atome de carbone stéréogène du substrat

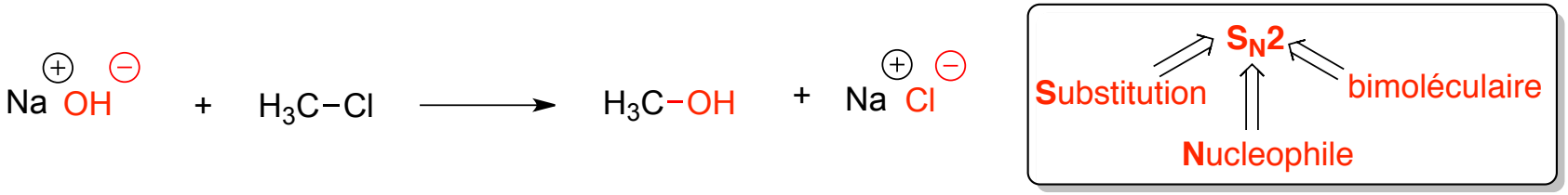


3. La substitution nucléophile bimoléculaire S_N2

a. Faits expérimentaux

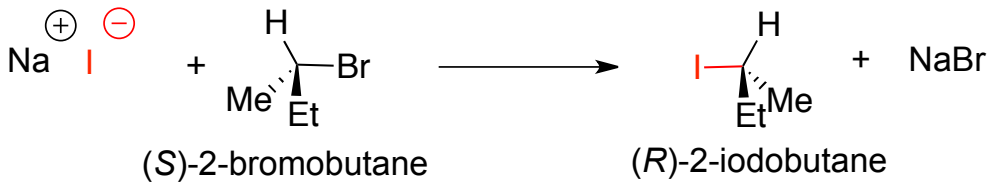
➢ ***Aspect cinétique***

Le chlorométhane réagit avec l'hydroxyde de sodium pour conduire au méthanol :



La vitesse observée dépend des concentrations de CH_3Cl et HO^-
L'étape cinétiquement déterminante met donc en jeu les deux composés et sera appelée **S_N2 ou substitution nucléophile bimoléculaire.**

➢ *Aspect stéréochimique*

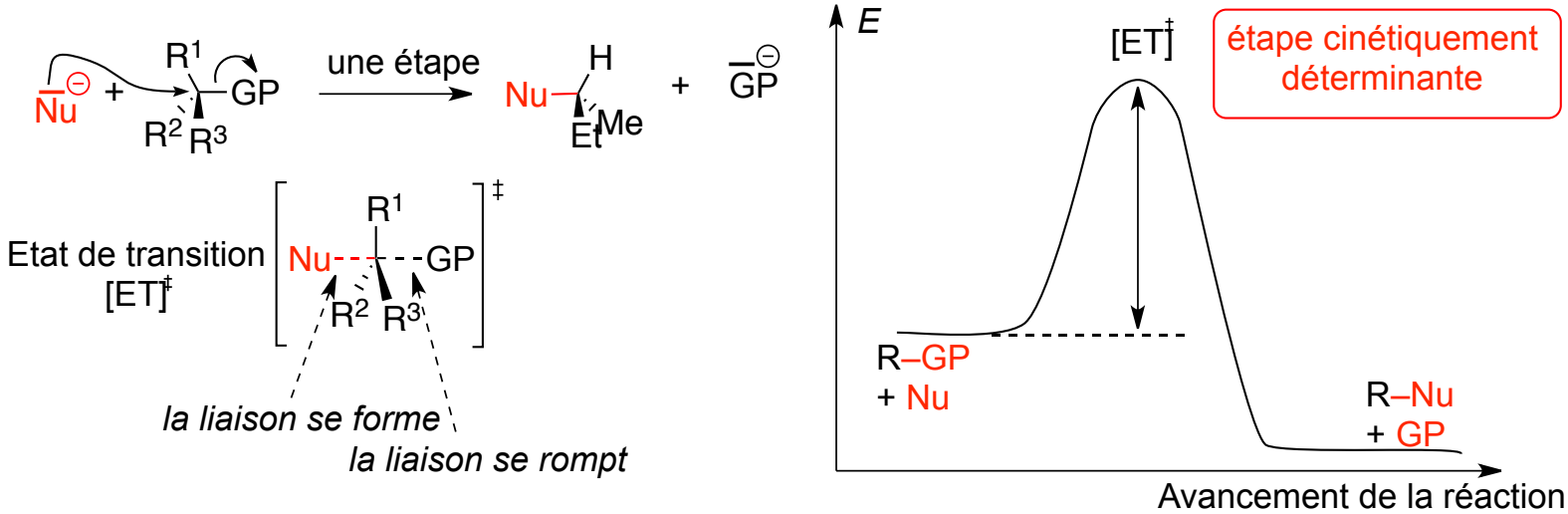


inversion de configuration

- La nouvelle liaison est créée de façon opposée à celle qui est rompue
- Il y a **inversion de configuration** de l'atome de carbone asymétrique du substrat
- La S_N2 est qualifiée de **stéréospécifique**

b. Mécanisme

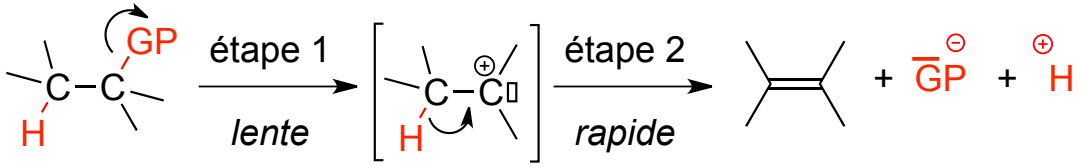
- Une seule étape
- L'approche du nucléophile se fait à l'opposé du groupement partant (raisons stériques et orbitalaires)
- Conduit à l'inversion de configuration observée expérimentalement dans le cas ci dessous

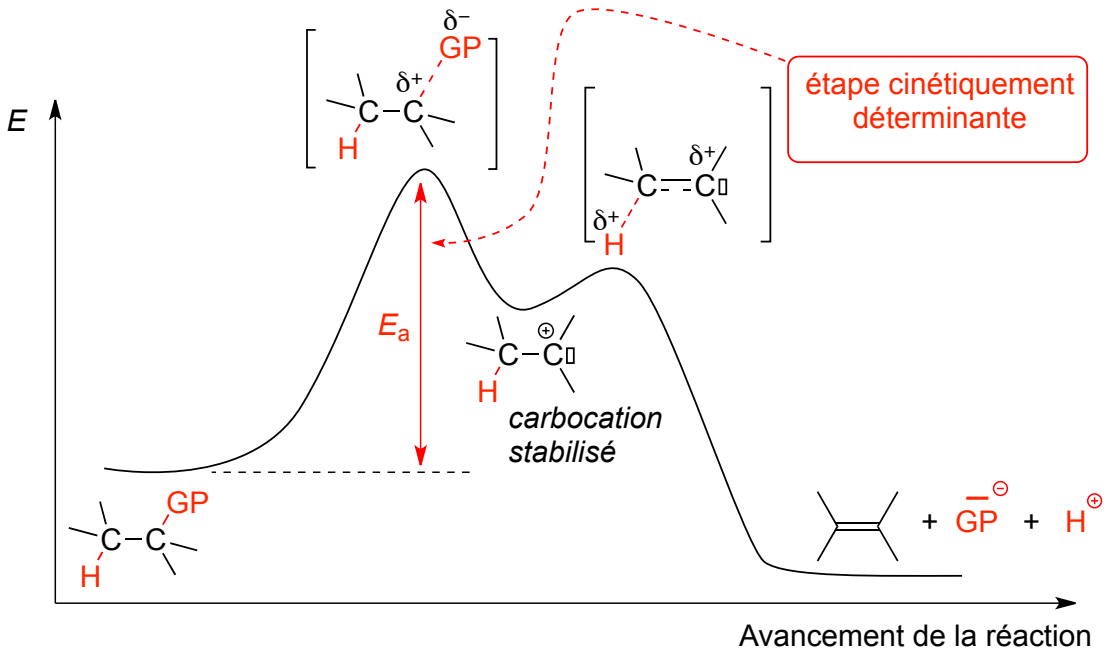


4. L'élimination E1

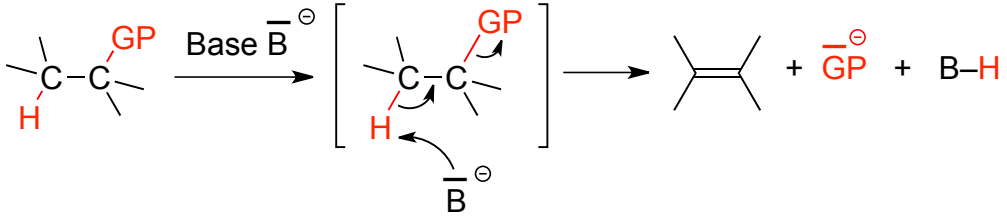
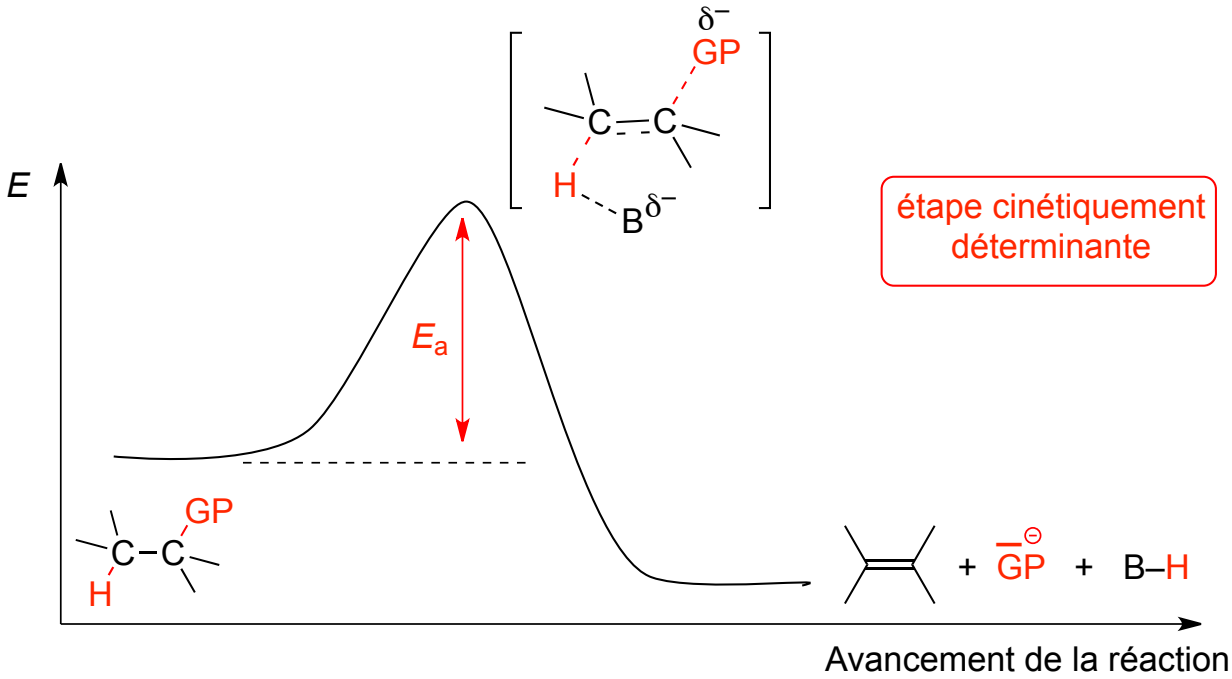
Rappel: Elimination = une molécule perd certains de ces atomes sous forme d'entités stables, et il en résulte la création d'une liaison supplémentaire. L'élimination E1 présente une réelle analogie avec la réaction S_N1 :

- Réaction **unimoléculaire**, composée de **deux étapes élémentaires**
- La première étape est lente (cinétiquement déterminante). Elle conduit à l'expulsion d'un groupe partant (GP) pour former un **carbocation stabilisé**
- La deuxième étape est rapide : perte de proton sur le carbone adjacent au carbocation pour former une **double liaison**





4. L'élimination E2

Par bien des aspects l'élimination E2 est comparable à la substitution S_N2, seuls les produits sont différents. Ces deux réactions sont souvent concurrentes.

- Réaction **bimoléculaire**, composée de d'**une seule étape élémentaire**
- L'expulsion du GP est simultanée avec la déprotonation par la base selon un processus concerté
- La base arrive à proximité **d'un proton porté par le carbone adjacent** disposé de manière **antiparallèle à la liaison du GP**