

Université Lumière Lyon 2 - Université de Tunis  
Thèse en cotutelle présentée pour l'obtention du diplôme de Doctorat  
en Sciences de l'Education et Didactique des disciplines Option : Sciences Physiques  
**par Souad AGREBI, Assistante à l'université de Monastir**

***De la représentation symbolique au langage lors de l'apprentissage des mécanismes en chimie organique dans l'enseignement supérieur***

Sous la co-direction de M. Jean-François LE MARECHAL et Mme Malika TRABELSI-AYADI  
équipe COAST, UMR-ICAR 5191 Laboratoire EDiPs - ISEFC  
Soutenue le 17 décembre 2004

Devant le jury composé de M. Daniel VERONIQUE, Rapporteur M. Manef ABDERRABBA, Rapporteur  
M. Jean-François LE MARÉCHAL, Directeur M<sup>me</sup> Malika TRABELSI-AYADI, Directeur



# Table des matières

..	1
<b>Remerciements . .</b>	<b>3</b>
<b>Introduction Générale .</b>	<b>5</b>
<b>Partie 1 : Pré-expérimentation . .</b>	<b>9</b>
1. Introduction .	9
2. Hypothèse résultante d'observations pédagogiques .	10
3. Questions de recherche .	10
4. Méthodologie . .	10
4.1. Analyse historique .	10
4.2. Etude d'entretiens . .	10
4.3. Ecriture d'un « Germe de modèle » .	18
5. Etude historique .	18
5.1. Introduction . .	18
5.2. Dans le Savoir Savant .	19
5.3. Dans le savoir enseigné .	23
5.4. Evolution de la représentation symbolique des mécanismes dans les manuels .	25
5.5. Conclusion partielle .	30
6. Étude d'entretiens . .	31
6.1. Analyse des réponses et résultats .	31
6.2. Conclusion partielle .	33
7. Proposition de remédiation : « germe de modèle » .	34
7.1. Flèches courbes .	34
7.2. Mécanismes réactionnels . .	36
8. Conclusion .	37
<b>Partie 2. Expérimentation .</b>	<b>39</b>

1. Introduction .	39
2. Cadre théorique .	40
2.1. Niveaux de savoirs .	40
2.2. Classification des structures verbales et existentielles . .	46
2.3. Code-switching . .	51
3. Hypothèses de recherche . .	54
4. Questions de recherche .	54
5. Méthodologie . .	54
5.1. Expérimentation 1 . .	55
5.2. Expérimentation 2 . .	63
6. Analyse et résultats . .	101
6.1. Expérimentation 1 . .	101
6.2. Expérimentation avec des étudiants tunisiens du 1 <sup>er</sup> cycle . .	128
6.3. Conclusion partielle .	155
<b>Conclusion générale .</b>	<b>157</b>
<b>Bibliographie . .</b>	<b>159</b>
<b>Annexes . .</b>	<b>163</b>
Annexe A : Questionnaire étudiants. . .	163
Annexe B : Questionnaire enseignants et chercheurs .	164
Annexe C : Codes de la transcription .	164
Annexe D : Transcription des entretiens étudiants .	165
Annexe E : Entretiens enseignants et chercheurs .	165
Annexe F : Entretiens étudiants ENS Lyon, septembre 2001 . .	166
Annexe G : Entretiens étudiants ENS Lyon, mai 2002 .	167
Annexe H : Découpage par étapes et catégorisation par niveaux de savoir .	169
Annexe I : Classification des verbes . .	169
Annexe J : Textes des exercices, étudiants tunisiens . .	170
Annexe K : Réponses des étudiants . .	170
Annexe L : Codes de la transcription .	170





---

*A ma mère qui a beaucoup sacrifié pour moi A mes sœurs A tous ceux qui m'ont aidé à la réalisation de ce travail*





## Remerciements

Ce travail a été développé dans le cadre d'une cotutelle entre l'université Lyon 2 et l'université de Tunis, et réalisé au laboratoire EDiPs (Education, Didactique et Psychologie) de l'Institut Supérieur de l'Education et de la Formation Continue (ISEEFC) et le laboratoire ICAR (Interactions Corpus Apprentissages Représentations) de l'université Lumière Lyon 2, sous la codirection de M. Jean-François LE MARECHAL (Habilité à diriger des recherches à Lyon 2) et de M<sup>me</sup> Malika Trabelsi-Ayedi (professeur à l'université de Tunis).

Ce travail n'aurait pas pu être réalisé sans la collaboration très efficace entre l'I.S.E.E.F.C. et le Laboratoire ICAR. Que Mme Andrée TIBERGHIEU et tous les membres de l'équipe COAST (Communication et Apprentissage du Savoir Scientifique et Technique), trouvent ici l'expression de notre reconnaissance.

Nous ne saurions oublier nos professeurs de 1<sup>ère</sup> année de D.E.A. à savoir M. Ahmed CHABCHOUB, M. Noureddine SASSI pour leur précieux enseignement, leurs compétences dans le domaine des sciences de l'éducation, ils ont su nous initier dans ce domaine nouveau qu'est la Didactique.

M. Jean-François LE MARECHAL Maître de Conférence à l'ENS de Lyon, en dirigeant ce travail a, par sa disponibilité jamais mise en défaut, canalisé, sans la restreindre, l'ardeur d'un chercheur néophyte. L'intérêt qu'il a porté à cette étude et la confiance qu'il m'a toujours témoignée ont été pour moi les plus précieux des encouragements.

J'adresse mes plus vifs remerciements à M<sup>me</sup> Malika Trabelsi-AYADI qui a orienté mes recherches par ses conseils et ses encouragements. Avec mes remerciements, qu'elle soit assurée de ma profonde reconnaissance. Je la remercie aussi pour la qualité des rapports humains qu'elle a su instaurer et qui rendent le travail si agréable.

L'attention que M. Daniel VERONIQUE, Professeur des Universités à la Sorbonne Nouvelle Paris III, a portée à ce travail, est aujourd'hui concrétisée par sa participation au jury. Qu'il sache combien je suis sensible à l'honneur qu'il me fait en président ce jury. Qu'il veuille accepter mes remerciements.

M. Manef ABDERRABBA, Professeur des Universités à l'Université El Manar de Tunis a bien voulu mobiliser son temps et sa compétence pour juger ce travail. Je tiens à lui assurer de mes sincères remerciements.

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à Mme Véronique TRAVERSO (Habilité à diriger des recherches à l'université Lyon 2) pour son aide, ses conseils et le temps qu'elle m'ait accordée.

Je n'oublierais pas d'exprimer ma sincère sympathie à tous les personnels techniques et administratifs de la Faculté des Sciences de Monastir pour l'ambiance amicale qu'ils ont constamment créée.

Et enfin j'adresse mes remerciements et ma gratitude à tous ceux qui m'ont encouragé à la réalisation de ce travail et en particulier ma famille et mes amis.



# Introduction Générale

Toute une partie de l'enseignement de la chimie consiste à former les étudiants à une manipulation symbolique qu'il faut pouvoir décrire en langue naturelle, soit pour en expliciter le contenu, soit pour faire comprendre l'usage des règles inhérentes à son fonctionnement. La comparaison à différents moments de l'apprentissage de la lexicalisation (Agrebi et *all*, **2003**) de symboles qui transcrivent un événement moléculaire devrait informer sur l'adéquation entre les difficultés des étudiants et les moyens langagiers dont ils disposent. Nous nous intéressons au cas d'étudiants s'exprimant naturellement en français et à ceux pratiquant abondamment un changement de code (Laroussi, **1993**). Les origines possibles de la nécessité de ce code switching peuvent renseigner sur les connaissances mises en œuvre par les étudiants qui ont besoin de décrire ces événements moléculaires que nous appelons mécanisme réactionnel en chimie organique. Un mécanisme fournit, étape par étape, le processus par lequel une réaction chimique a lieu, les ruptures et les formations de liaisons, la position des atomes mis en jeu et le niveau énergétique du système à chaque instant (March, **1977**). Ce concept s'écrit au moyen d'un formalisme basé sur une représentation symbolique. Son apprentissage nécessite des connaissances théoriques et expérimentales de la chimie et des connaissances sur les conventions de la symbolique de représentation des mécanismes. La lecture d'un mécanisme sollicite des connaissances langagières permettant de le décrire. Nous déduisons que l'apprentissage de ce concept admet des difficultés d'ordre théorique, symbolique et verbal (Agrebi et *all* **2002**).

Les difficultés liées aux connaissances théoriques et expérimentales de la chimie organique sont dues à plusieurs facteurs. Certains ont pour origine l'enseignement de la

chimie organique qui met en jeu un grand nombre de réactions chimiques et de concepts que les étudiants ne peuvent pas se représenter de façon suffisamment fonctionnelle (Wentland, **1994**). D'autres résultent des objets manipulés pour lesquels le chimiste articule des connaissances relevant de descriptions microscopiques et macroscopiques qui requièrent de raisonner tantôt à l'échelle de l'espèce isolée, tantôt à celle de la sociologie moléculaire, ainsi qu'une dualité stabilité / réactivité des espèces chimiques (Barlet, **1996**). Ces difficultés sont aussi dues à la présence de conceptions des étudiants sur les mécanismes réactionnels (Zoller, **1990**). Les étudiants sont peu entraînés à se représenter les mouvements tridimensionnels moléculaires lors des réactions chimiques. L'utilisation par l'enseignant de dessins à deux dimensions, même assisté du mouvement de ses mains et l'utilisation de modèles moléculaires statiques (Raff L, **1974**), constitue également un niveau de codage qui doit être interprété avant d'être de permettre la construction de connaissances. En dehors du domaine de la chimie, l'enseignant qui utilise des symboles doit s'assurer que l'apprenant sait qu'une relation entre le symbole et son référent existe, qu'il connaît la nature de cette relation et qu'il sait la manipuler (Deloache et coll., **1998**). Or dans le cas de la chimie organique, les symboles utilisés n'admettent pas de référents empiriques (Pekdag et Le Maréchal, **2002**), ce qui accroît le caractère abstrait de la relation entre le symbole et son référent.

Communiquer oralement des concepts scientifiques est un enjeu essentiel de l'enseignement qui met en œuvre la lexicalisation d'une situation, d'une expérience (Tochon, **2000**), ou dans notre cas d'un système de symboles. Or il n'est pas de systèmes symboliques transparents. La façon dont s'acquiert la faculté de lexicaliser cette représentation symbolique lors de la formation des enseignants est actuellement l'un des enjeux de notre recherche. Un professeur doit lexicaliser une telle représentation pour la communiquer en classe et donc doit acquérir cette faculté lors de sa formation. Nous connaissons mal l'apprentissage correspondant que nous ne savons même pas, a priori, décrire. Nous allons chercher à savoir dans quelle mesure une formation comme la préparation aux concours d'enseignement fait évoluer cette faculté. De plus nous nous proposons de décrire le fonctionnement d'étudiants lors de résolutions de mécanismes.

Pour répondre à cette problématique, nous avons subdivisé cette thèse en deux parties. Puisque le concept de mécanisme n'a pas été étudié en didactique nous commencerons par une pré-expérimentation avant d'aborder, dans une deuxième partie, le corps de notre travail.

1- Pré-expérimentation : dans un premier temps, nous allons voir quand et comment ces mécanismes ont été introduits dans la communauté des chimistes et dans l'enseignement. Cette partie est divisée en une étude historique, une étude d'enquêtes et une proposition d'une séquence d'enseignement.

2- Expérimentation : dans un deuxième temps, nous nous proposons d'étudier le fonctionnement d'étudiants lors de la résolution de problème de chimie organique (Bodner et al, **2002**). Nous nous intéressons à la verbalisation des mécanismes en étudiant une tâche de lecture d'un mécanisme (un mécanisme écrit est fourni à l'étudiant), puis une tâche de production de mécanismes.

Expérimentation 1 : Nous avons interviewé 12 étudiants préparant l'agrégation de

---

chimie à l'École Normale Supérieure de Lyon au début (en septembre) et à la fin (en mai) de leur année de préparation. Il s'agit d'entretiens semi-directifs dont l'enregistrement a été transcrit et analysé. Les transcriptions ont été analysées par niveaux de savoir (Le Maréchal, **1999a**, **1999b** ; Pekdag et Le Maréchal, **2002** ; Tiberghien **1994**) et par classification de verbes (Charaudeau, **1992** ; Riegel et *all*, **1994** ; Lerat, **1983**).

· Expérimentation 2 : Nous avons suivi l'activité d'étudiants du 1<sup>er</sup> cycle universitaire de la Faculté des Sciences de Monastir (Tunisie) résolvant une série de problèmes de chimie organique. Nous les avons fait travailler par binôme dans des situations hors classe. Il s'agissait de tâches collaboratrices papier-crayon avec des exercices de chimie organique d'un niveau adapté aux travaux dirigés qu'ils suivaient dans le cadre de leur enseignement universitaire. Les dialogues issus de ces situations ont été enregistrés, transcrits et analysés avec les mêmes grilles d'analyse que pour la première expérimentation.



# Partie 1 : Pré-expérimentation

## 1. Introduction

L'enseignement de la chimie organique, se situe essentiellement au niveau universitaire ; il se base sur une description des structures organiques dès le lycée. C'est seulement à l'université que nous cherchons à relier ces structures à la réactivité, c'est à dire que nous donnons le moyen théorique de comprendre, d'interpréter, de prévoir les réactions en chimie organique ; c'est le mécanisme. Une recherche bibliographique dans les travaux faits en didactique de la chimie, nous a montré que ce concept n'a pas été étudié. De ce fait nous avons introduit une pré-expérimentation.

Dans cette partie nous nous proposons d'effectuer d'abord une recherche bibliographique dans les anciens manuels scolaires et dans les anciennes revues de chimie organique, ensuite une enquête auprès d'apprenants, de chercheurs et d'enseignants de chimie organique et enfin une proposition d'une séquence de remédiation.

Dans ce qui suit nous allons présenter les hypothèses, les questions de recherches et la méthodologie.

## 2. Hypothèse résultante d'observations pédagogiques

A partir des observations pédagogiques, nous postulons que le formalisme d'écriture des mécanismes, en chimie organique, est implicite.

## 3. Questions de recherche

- Question 1 (Q1) : Quand et comment la représentation symbolique des mécanismes à l'aide du formalisme actuel (flèches courbes) est-elle introduite dans la recherche et dans l'enseignement ?
- Question 2 (Q2) : Comment cette représentation symbolique s'enseigne et s'apprend-elle ?
- Question 3 (Q3) : Est-il possible de rationaliser l'enseignement de ce formalisme à partir de travaux de recherche en Didactique ?

## 4. Méthodologie

Pour répondre aux questions de recherche nous avons développé trois parties : la première consiste en une analyse historique, la deuxième comprend une analyse d'entretiens d'apprenants et d'enseignants de chimie organique et une troisième partie au cours de laquelle nous présentons une séquence de remédiation.

### 4.1. Analyse historique

---

Le objectif de cette analyse est de répondre à la première question de recherche (Q1) à savoir « Quand et comment la représentation symbolique des mécanismes à l'aide du formalisme actuel est-elle introduite dans la recherche et dans l'enseignement ? ».

Nous avons effectué une recherche bibliographique dans le domaine de chimie organique et dans les livres d'enseignement à partir de 1916.

### 4.2. Etude d'entretiens

---

#### 4.2.1. Objectif de la recherche



L'objectif de ces entretiens est de répondre à la deuxième question de recherche (Q2) : « Comment le formalisme des flèches courbes s'enseigne et s'apprend-il ? ».

#### **4.2.2. Echantillon**

Nous avons interviewé des étudiants, des enseignants, des chercheurs et des enseignants-chercheurs de différents établissements d'enseignement supérieur en Tunisie et en France. Notre échantillon est constitué de :

- Trois enseignants de chimie organique de la Faculté des Sciences de Monastir (Tunisie), deux assistants chercheurs et un maître de conférence qui ne fait plus de recherche.
- Un maître assistant à la Faculté des Sciences de Bizerte (Tunisie) qui ne fait plus de recherche.
- Deux chercheurs du CNRS, une chercheuse qui a enseigné la chimie organique et actuellement fait de la recherche en chimie organique et un chercheur qui enseigne la chimie organique.
- Huit étudiants scientifiques de différents niveaux en Tunisie et en France : cinq étudiants préparant l'agrégation de physique à l'Ecole Normale Supérieure de Lyon et trois étudiants de deuxième cycle universitaire de la Faculté des Sciences de Monastir.

#### **4.2.3. Analyse a priori des questionnaires**

Nous avons dispensé deux questionnaires un pour les étudiants (annexe A, p. 4) et un pour les enseignants et les chercheurs (annexe B, p. 5), dans le but d'établir le processus d'enseignement-apprentissage des flèches courbes. Certaines questions sont les mêmes pour les enseignants et les apprenants et d'autres sont différentes.

Afin de déterminer le profil des enseignants, nous leur avons demandé de remplir la fiche de renseignement suivante :

Nom et prénom : .....

	1 <sup>er</sup> cycle	2 <sup>ème</sup> cycle
Enseignant qui a enseigné la chimie organique	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Enseignant qui enseigne la chimie organique	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nombre d'année : .....		
	Oui	Non
Enseignant faisant de la recherche en chimie organique	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Enseignant qui a fait la recherche en chimie organique mais qui n'en fait plus	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>

Extrait 1 : profil de l'enseignant

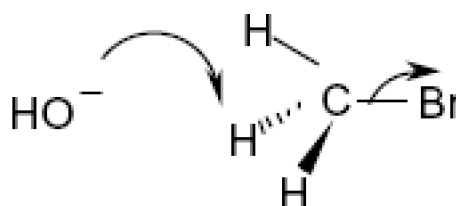
### Analyse des questions posées aux enseignants

Ces questions ont pour objectif de répondre à la question : Comment les flèches courbes sont-elles introduites dans l'enseignement ?

Question 1

1.

· Enoncé



### Que représente ce type de flèches pour les chimistes ?

· Objectif de la question

Cette question, d'ordre général, est posée pour comprendre la signification des flèches courbes chez les chimistes, selon les enseignants.

- Réponses probables attendues :
  - Les flèches représentent les lieux d'attaque d'un réactif sur un site de la molécule
  - C'est un déplacement d'électrons
  - C'est une réaction de substitution nucléophile
  - C'est le chemin d'approche de l'entité nucléophile sur un centre électrophile
- Questions de relance :
  - Quelle est la signification de ces flèches ?
  - Quelles sont les différentes utilisations de ces flèches ?
  - Est-ce que cet avis est partagé par tous les chimistes ?
  - Est-ce qu'on trouve ce type de flèches dans la littérature ?
  - Est-ce que vous pensez que ces flèches se trouvent plus dans les livres destinés à l'enseignement, ou bien dans les articles de publication primaire destinés aux chercheurs, ou bien c'est surtout utilisé par les enseignants dans le cours ?
  - Quand vous enseignez, est-ce que vous utilisez ce type de flèches ?
  - Est-ce que vous pensez que c'est nécessaire de mettre ces flèches lors de l'écriture des mécanismes ?

Question 2

1.

- Enoncé

***Avez-vous remarqué des erreurs systématiques chez les étudiants lors de l'écriture des mécanismes ?***

- Objectif de la question

À partir de cette question, nous nous proposons de déterminer quelques erreurs systématiques chez les étudiants.
- Réponses probables attendues :
  - Sens de la flèche : faire partir la flèche de la charge positive vers la charge négative.
  - L'approche d'une charge négative sur un centre porteur d'une charge négative
  - Les points de départ et de l'arrivée ne sont pas bien cernés.
  - La valence : les étudiants ne respectent la valence des atomes
- Questions de relance :

- Pouvez-vous citer des exemples ?
- Y'a-t-il d'autres erreurs que peuvent faire les étudiants lors de l'écriture des mécanismes
- Le niveau des étudiants influence-t-il le type d'erreurs systématiques (connaissez vous des erreurs spécifiques pour chaque niveau des étudiants, ou bien quel que soit le niveau, l'étudiant fait toujours les mêmes erreurs ?)

Question 3

1.

- Enoncé

**Comment peut-on introduire ces flèches aux étudiants qui commencent la chimie organique ?**

- Objectif de la question

Nous envisageons de vérifier que l'enseignement des flèches courbes est implicite.

- Réponses probables attendues :

- Je ne sais pas.
- Je ne pense pas qu'il faut faire un enseignement spécifique pour introduire ces flèches.
- Il faut préciser les points de départ et d'arrivée de la flèche.
- C'est une représentation.

- Questions de relance :

- Pensez-vous qu'il est nécessaire de faire un cours spécifique pour introduire ces flèches ? ou bien il suffit de les introduire au fur et à mesure de l'enseignement des mécanismes ?
- Est-ce que vous faites un enseignement spécifique pour introduire ces flèches ?

Question 4

1.

- Enoncé

**Est-ce important que l'étudiant ait sous les yeux le mécanisme de la réaction qu'il réalise lors d'un TP ?**

- Objectif de la question

Par cette question nous cherchons à savoir si les enseignants font le lien entre l'expérience (événement du monde perceptible) et l'écriture du mécanisme

(représentation symbolique appartenant au monde reconstruit par le chimiste).

- Réponses probables attendues :
  - Oui c'est nécessaire parce que le mécanisme lui montre les différentes étapes de l'expérience qu'il réalise.
  - Non ce n'est pas important, l'étudiant n'a besoin que du bilan.
  - Ce n'est pas nécessaire, pour réaliser une expérience, il suffit de savoir manipuler.
- Questions de relance :
  - Qu'est-ce qui vous permet de dire ce ci ?

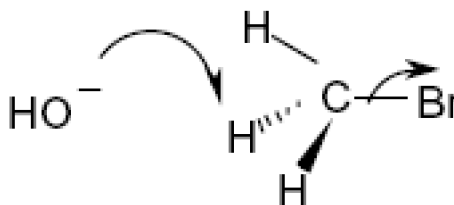
### Analyse des questions posées aux étudiants

Ces questions ont pour objectif de répondre à la question : Comment les flèches courbes sont-elles conçues par les étudiants ?

Question 1

1.

- Enoncé



Que représente ce type de flèches pour les chimistes ?

- Objectif de la question
 

Cette question d'ordre général, est posée pour déterminer la signification des flèches courbes chez les chimistes, selon les étudiants.
- Réponses probables attendues :
  - Un ion  $\text{Br}^-$  va être remplacé par un ion  $\text{HO}^-$
  - Ça indique le mécanisme d'une réaction.
  - C'est le mouvement (ou bien le déplacement) des électrons.

- Ça représente l'attaque d'un doublet électronique et le déplacement d'un autre.
- C'est l'attaque de  $\text{HO}^-$  sur le C, et le déplacement du doublet de la liaison C-Br.

· Questions de relance :

- Quelle est la signification de ces flèches ?
- Quelles sont les différentes utilisations de ces flèches ?
- Est-ce que cet avis est partagé par tous les chimistes ?
- Est-ce qu'on trouve ce type de flèches dans la littérature ?
- Est-ce que vous pensez que ces flèches se trouvent plus dans les manuels destinés à l'enseignement, ou bien dans les articles de publication primaire destinés aux chercheurs, ou bien c'est surtout utilisé par les enseignants dans le cours ?
- Est-ce que vous pensez que c'est nécessaire de mettre ces flèches lors de l'écriture des mécanismes ?
- Est-ce que vous trouvez des difficultés pour apprendre l'utilisation de ces flèches ?
- Est-ce que ça vous paraît évident de les représenter ?

Question 2

1.

· Enoncé

***Dans quelles circonstances avez-vous compris les écritures des mécanismes en chimie organique ?***

· Objectif de la question

À partir de cette question très ouverte, nous cherchons à déterminer si l'étudiant avait préconçu que les flèches courbes constituaient une connaissance à un moment donné de son cursus

· Réponses probables attendues :

- Dans le cours de chimie organique.
- Dans les TD
- À l'université.

· Questions de relance :

- Est-ce que c'est dans les cours, dans le TD, dans le TP, dans un livre,... ?
- Si c'est au cours de l'enseignement avec quel professeur, si dans un livre lequel ?
- Est-ce qu'il y a un mécanisme particulier qui t'a permis de comprendre l'utilisation

---

en vertu de la loi du droit d'auteur.

de ces flèches ?

- Dès la 1ère fois qu'on vous a introduit ces flèches, vous avez compris l'écriture des mécanismes ?
- Est-ce qu'on vous a fait un cours spécifique pour introduire ces flèches ?

Question 3

1.

- Enoncé

***Est-ce important d'avoir sous les yeux le mécanisme de la réaction que l'on réalise en TP ?***

- Objectif de la question

La réponse à cette question va nous permettre de savoir si l'étudiant fait le lien entre l'écriture du mécanisme et l'expérience réalisée.

- Réponses probables attendues :

- Non ce n'est pas important, ce qui est important c'est de connaître les réactifs, les produits, les conditions de l'expérience,...
- C'est important parce qu'il permet de d'interpréter le rendement, les produits secondaires,...

- Questions de relance :

- Qu'est ce qui te fait dire ça ?

#### **4.2.4. Méthode d'analyse**

Les entretiens des enseignants et des étudiants ont été enregistrés. Leurs réponses ont été transcrites puis analysées. Les réponses des enseignants et des étudiants ont été regroupées en deux catégories.

- Une catégorie porte sur l'enseignement de la représentation symbolique des mécanismes, permettant de vérifier notre hypothèse de recherche à savoir l'enseignement implicite. Ces réponses sont issues de :
  - la question 3 du questionnaire-enseignants : « comment peut-on introduire ces flèches aux étudiants qui commencent l'apprentissage de la chimie organique ? »
  - la question 2 du questionnaire-étudiants : « dans quelles circonstances avez-vous compris les écritures des mécanismes en chimie organique ? ».
- La deuxième catégorie va permettre de vérifier si le formalisme d'écriture des

mécanismes est présent dans la littérature ou bien dans les manuels scolaires. Les réponses analysées sont ceux de :

- la question 1 des deux questionnaires : « Que représente ce type de flèches pour les chimistes ? »
- les questions de relance de la question 1 : « Est-ce qu'on trouve ce type de flèches dans la littérature ? », « Est-ce que vous pensez que ces flèches se trouvent plus dans les livres destinés à l'enseignement, dans les articles de publication destinés aux chercheurs, ou bien utilisé par les enseignants dans leurs cours ? », ...

### **4.3. Ecriture d'un « Germe de modèle »**

---

Nous avons élaboré une séquence d'enseignement : «un germe de modèle» dont les objectifs sont de permettre l'apprentissage et l'écriture des mécanismes à l'aide des flèches courbes et d'éviter les erreurs systématiques commises par les étudiants. Pour élaborer cette séquence d'enseignement nous nous sommes basés sur une analyse du savoir mis en jeu, et sur les erreurs systématiques des étudiants.

## **5. Etude historique**

### **5.1. Introduction**

---

Nous nous sommes intéressés aux mécanismes réactionnels et à leurs représentations par les flèches courbes couramment utilisées. Quelle est l'origine de cette notation ? Quand et comment ce formalisme est-il apparu dans la littérature ? L'évolution de l'utilisation des flèches courbes est-elle une création pédagogique qui serait ensuite passée dans la communauté des chimistes ? ou au contraire, ces flèches courbes sont-elles le fruit des travaux de recherche et qui seront par la suite utilisés dans l'enseignement ? ... Pour répondre à ces questions, nous avons compulsé la littérature primaire (articles de recherche) ainsi que des livres d'enseignement, à la recherche d'indices permettant de répondre à ces questions.

Nous avons considéré que la notation des flèches courbes était forcément postérieure à la représentation moderne de la liaison chimique (représentation de Lewis) qui date de 1916. C'est tout naturellement après 1916 qu'il faut trouver les prémisses des études mécanistiques, motivées par la comparaison des résultats de la bromation du phénol en ortho-para et du nitrobenzène en méta. Par ailleurs, nous avons été aidés par le fait que dans les anciens livres d'enseignement, les auteurs qui utilisent le formalisme d'écriture des mécanismes se réfèrent "*aux chimistes anglais*", aussi avons-nous ciblé nos recherches dans la revue de la toute puissante Chemical Royal Society : *Journal of*



chemical society.

## 5.2. Dans le Savoir Savant

La compétition entre les grands chimistes organiciens du début du XX<sup>e</sup> siècle se déroule en partie au sein de l'école anglaise avec Robert Robinson, Christopher Ingold et Arthur Lapworth. La première interprétation de la régiosélectivité de la bromation revient à Robinson en 1917 (Brown et al., 2001). Cette interprétation ne possède pas de caractère prédictif et ne constitue donc pas une théorie.

C'est à Lapworth qu'il faut rendre cet hommage pour son article de 1922 « Une démonstration théorique du principe de polarité alternée induite », dans lequel il explique le caractère électropolaire d'une chaîne d'atomes sans recourir à un quelconque mécanisme réactionnel (il ne le précise pas, mais il s'intéresse aux systèmes conjugués). Les références à des articles contemporains de Thomson, Lewis, Langmuir etc. et bien sûr Robinson montrent, s'il est nécessaire, à quel point cette époque fertile a marqué les générations qui suivirent. Les flèches courbes apparaissent ainsi pour la première fois « pour indiquer les directions du mouvement des valences partielles vers ou depuis la liaison A<sub>0</sub> A<sub>1</sub> » (Lapworth nomme ainsi les deux premiers atomes de la chaîne – figure 1).

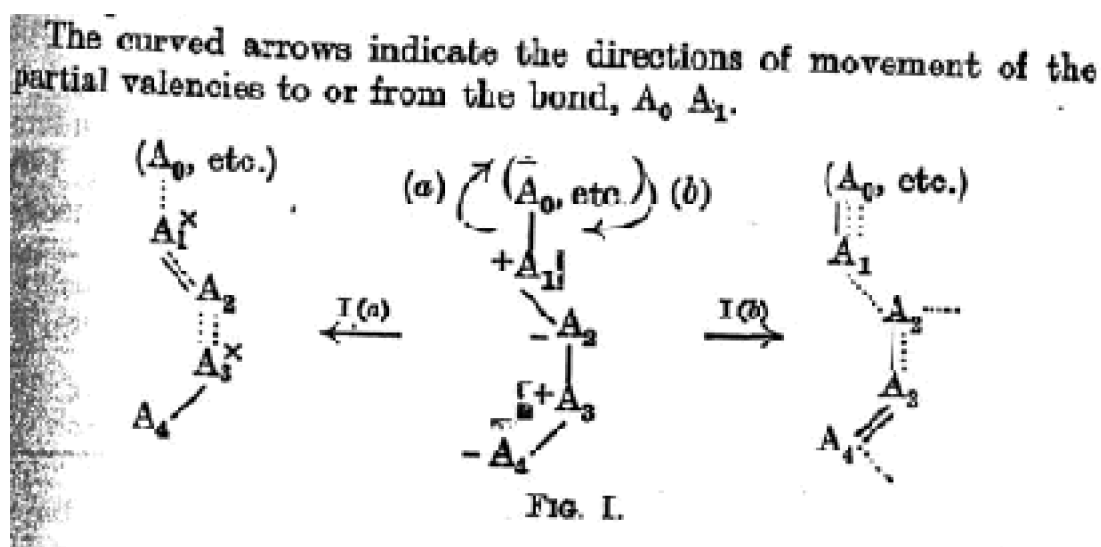


Figure 1 – Première représentation de flèches courbes. (Lapworth, 1922, p.419)

La théorie proposée par Lapworth n'a certes pas aboutie puisque l'on peut y lire par exemple que « certains atomes peuvent n'être, momentanément au moins, relié que par un électron ». A défaut, sa proposition a le mérite d'interpréter les polarités alternées (ce qui est toujours d'actualité même avec les calculs de charges partielles au moyen de théories orbitales) et de mettre en place la notation des flèches courbes, toujours utilisées.

Robinson ne tarde pas à réagir et, dans un article de 1925, il justifie la polarisation d'énamines puis propose un mécanisme pour des substitutions aromatiques telles que la diazotation. Une phrase telle que « la réaction du complexe polarisé » [il s'agit d'une

forme chargée de résonance] peut intervenir de plusieurs façons dont l'une est la fixation d'un ion positif sur le centre négativement chargé suivi de l'expulsion d'un proton de l'ion complexe puis de la dépoléarisation par le processus inverse » montre la vision claire qu'il possède du mécanisme de cette réaction. Comme le montre la figure 2, la représentation utilise une notation du noyau benzénique éloignée de celle admise de nos jours, mais le mécanisme est à peu de chose près celui qui est enseigné.

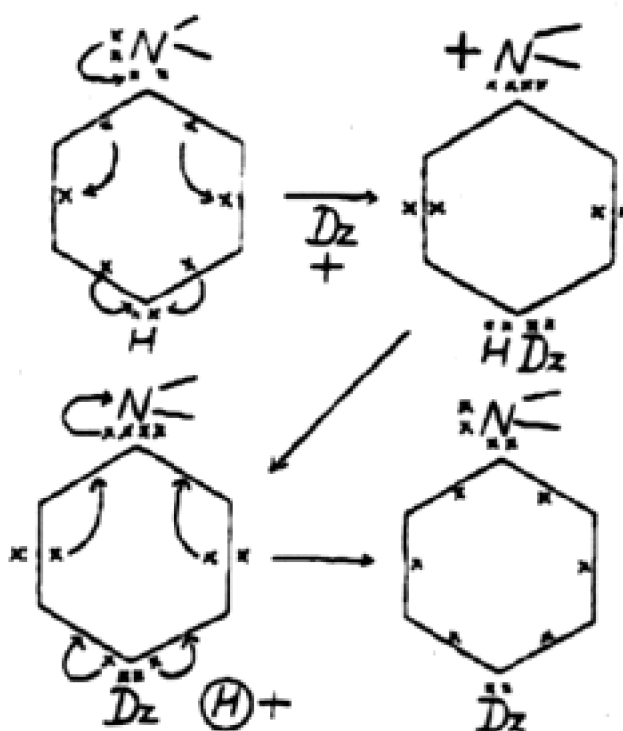


Figure 2 – Représentation du mécanisme de diazotation proposé par Robinson (1925) p. 457 (Dz symbolise le sel de diazonium).

Dans cet article l'auteur classe les groupements en deux types : les premiers qu'il appelle «Crotonoid» sont responsable de la réactivité de certaines réactions (amines aromatiques, phénols,...) comme par exemple un carbonyle lié à un centre insaturé. Les seconds qu'il appelle «Cretonoid» sont capables d'augmenter leur valence comme par exemple l'azote (trivalent) lié à un centre insaturé. Dans ce cas Robinson utilise les flèches courbes pour le déplacement d'un doublet d'électrons et toutes les flèches sont dans le même sens (fig. 3) :

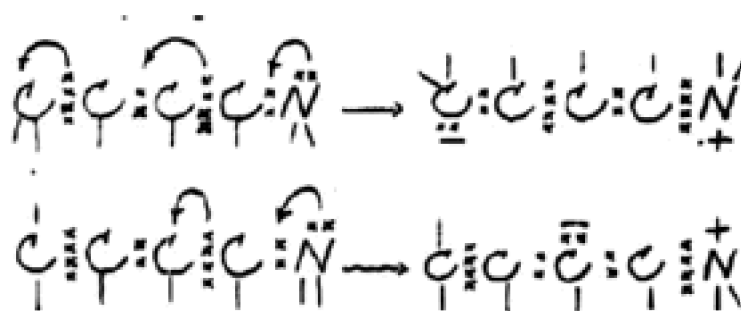


Figure 3 - Robinson, 1925, p.456

Mais dans le cas de la représentation des groupements contenant un noyau aromatique ces flèches sont utilisées pour le déplacement d'un seul électron et dans des sens contraires. De même dans le cas des mécanismes, s'il s'agit de réactions de molécules contenant un noyau aromatique, les flèches indiquent le déplacement d'un seul électron et en sens inverse (fig. 2).

Une année après (1926) une série de quatre articles du groupe de R. Robinson relatif au pouvoir d'orientation des groupes  $\text{RO}^-$  et  $\text{RR}'\text{N}^-$  dans les substitutions [électrophile préciserions-nous aujourd'hui] aromatiques a été publiée. Les trois premiers articles décrivent des synthèses et le quatrième consiste en une discussion du dit pouvoir d'orientation (Allan et al. 1926, p.401).

Robinson précise : « L'oxygène, au moyen de ses électrons libres, augmente sa covalence avec le  $\text{C}_\alpha$  du cycle (processus (a)).  $\text{C}_\alpha$  retrouve sa covalence normale en donnant les électrons correspondant à  $\text{C}_\beta$  (processus (b)) (substitution en position ortho) ou en cédant<sup>1</sup> les électrons de la covalence  $\text{C}_\alpha\text{C}_\beta$  à  $\text{C}_\beta\text{C}_\gamma$  (processus (c)).  $\text{C}_\gamma$  doit alors céder les électrons de la covalence  $\text{C}_\beta\text{C}_\gamma$  au seul usage de  $\text{C}_\delta$  (processus (d)) (substitution en position para). [...] ce dernier est intensément réactif et forme de nouvelles covalences. » Cette formulation est très proche de celle utilisée actuellement pour expliquer les règles de Holleman, à la différence près que l'enseignement actuel parle en termes d'augmentation de la vitesse, et que l'activation est discutée sur l'état intermédiaire, et non sur l'état initial.

A la même période, ces flèches ont été aussi utilisées pour représenter :

L'effet mésomère (fig. 4) :



Figure 4 - Allan et al. 1926, p.411

<sup>1</sup> Le verbe utilisé par Robinson est « relinquish » qui signifie aussi « abandonner au profit de ».

- Les formes tautomères (fig. 5) :

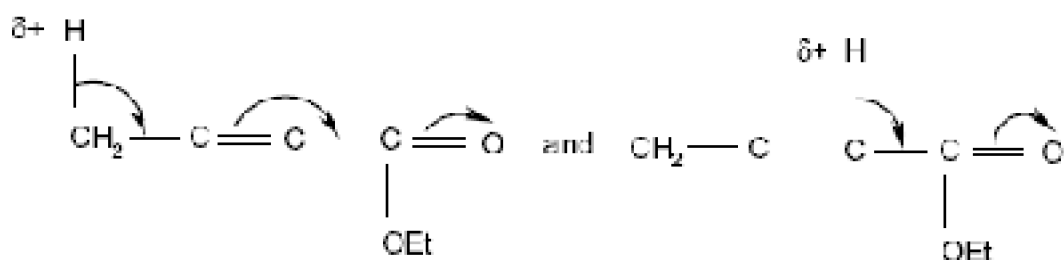


Figure 5- Ingold et all. 1926, p.1480

- Les formes mésomères (fig. 6 et 7) :

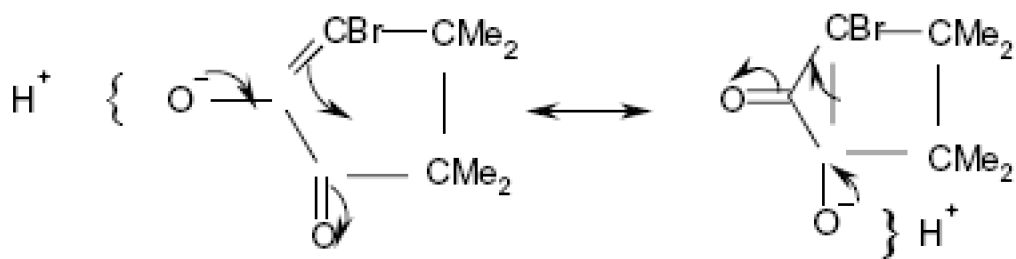


Figure 6 : Ingold et Shoppee 1928, p.371

et



Figure 7 : Burton et Ingold 1928, p.906

- Les mécanismes réactionnels (fig. 8) :

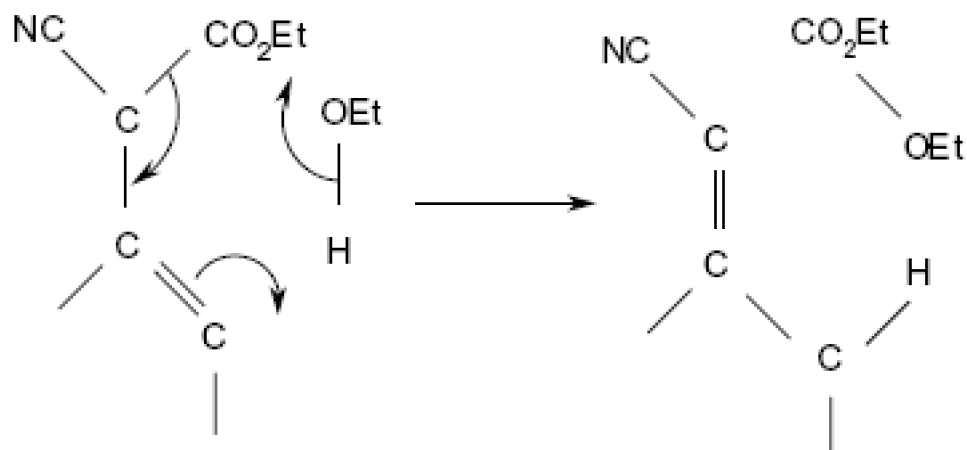


Figure 8 - Ingold et Shoppee 1928, p.383

Les centres réactifs des molécules :

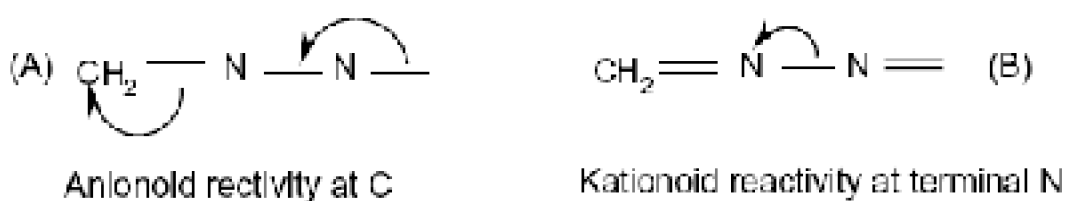


Figure 9 - Bradly et Robinson 1928, p.1313

Ces articles sont peu représentatifs de la littérature entre 1926 et 1932 dans laquelle la quasi-totalité des auteurs ignorent cette notation. Il est remarquable de constater qu'aucun des articles présentés, et qui utilise les flèches courbes pour représenter les mécanismes, ne précisent ni leur utilisation ni leur signification. Ceci laisse penser que la symbolique utilisée semblait suffisamment explicite aux auteurs.

### 5.3. Dans le savoir enseigné

Nous n'avons pas trouvé trace d'utilisation de flèches courbes dans les ouvrages d'enseignement avant 1948.

Pauling écrit p.128 : « Les chimistes anglais étudiant la chimie structurale utilisent des formules telles que  $\text{N} \equiv \text{N} \longleftrightarrow \text{O} \text{ : } [ \dots ]$  la flèche indique un changement de position des paires d'électrons, correspondant à la résonance avec la structure  $\text{:} \ddot{\text{N}} \equiv \text{N} \equiv \ddot{\text{O}} \text{:}$  ». En p. 151, il renvoie à la figure 10 avec « la résonance de ce type est souvent indiquée par l'utilisation de flèches ».

Figure 10 – Illustration par Pauling de l'orientation ortho / para en 1948.

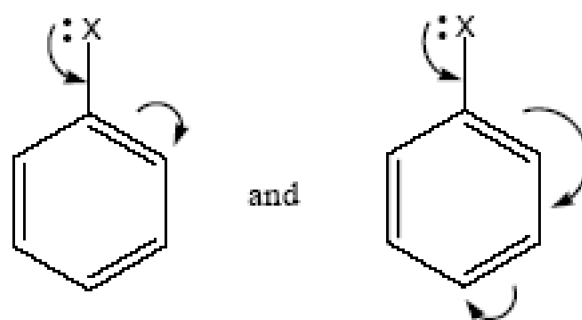
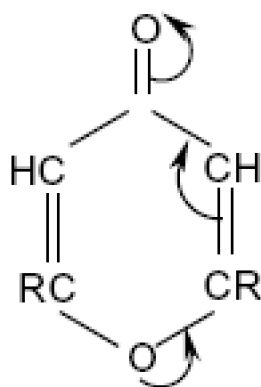


Figure 10 – Illustration par Pauling de l'orientation ortho / para en 1948.

à part ces deux représentations, toutes les formes limites de résonance sont représentées sans flèches courbes.

Tout comme Pauling, EISTERT (1949) se réfère "aux organiciens anglais" et nommément à "Robinson" pour la représentation des flèches courbes, auxquelles il attribuait le nom de "flèches recourbées". Il les utilise pour l'écriture des formes limites de résonance :

**"...on écrit seulement une formule limite et le plus souvent la plus simple correspondant à la formule de structure usuelle ; dans celle-ci, on indique le déplacement des paires d'électrons par des flèches recourbées, par exemple pour les pyrones :**



» , (Eistert 1949, p.67).

Dans tout le reste du livre, l'auteur représente les formes mésomères ainsi que les mécanismes sans flèches courbes.

Ces deux exemples permettent de répondre à l'une des questions posées dans notre introduction : cette représentation a été élaborée dans le cadre de travaux de recherche et c'est seulement plus de 20 années plus tard que les premiers ouvrages destinés aux étudiants ont pu en bénéficier.

## 5.4. Evolution de la représentation symbolique des mécanismes dans les manuels

Il est remarquable de constater que si la chimie organique s'enseigne universellement aujourd'hui à l'aide des flèches courbes, les auteurs des principaux ouvrages de chimie organique de la seconde moitié du XX<sup>e</sup> siècle ont mis beaucoup de temps avant de l'adopter, donc de contribuer à sa diffusion. Les livres de Fieser L.F. et Fieser M. (1959, 1964) témoignent de cette évolution.

Dans le livre de Fieser L.F. et Fieser M. (1959), les mécanismes sont représentés sans flèches courbes, parfois les auteurs utilisent des flèches en pointillés signifiant un déplacement d'atomes (fig. 11)

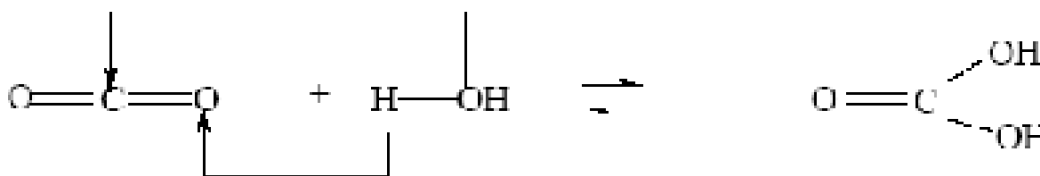


Figure 11 - Fieser L.F. et Fieser M. 1959

Ou bien en utilisant des mécanismes dit du *lasso*, (fig. 12)

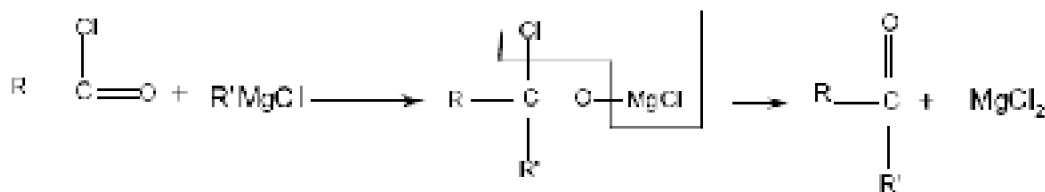


Figure 12 – *idem* p.198

Les auteurs n'ont représenté les flèches courbes que deux fois. La première pour indiquer les formes limites de résonance. Ils précisent que ces flèches indiquent un déplacement d'électrons : « La différence d'électronégativité de deux éléments cause un déplacement des électrons partagés dans la direction représenté dans (a) et (b) par des flèches courbes, ou dans le sens où la densité des électrons autour de l'oxygène est plus grande que celle autour du carbone. Pas de transfert d'électrons, ni séparation de la charge actuelle pour former la liaison semi-polaire (c), n'est réalisable, mais plutôt un partage inéquitable des électrons résultant de la polarisation partielle. Les charges d'ionisation partielle sont indiquées par le symbole  $\delta^+$  et  $\delta^-$ , et le caractère du groupement carbonyle peut être exprimer par la formule (d) »



Figure 13 - *idem*, p.57

La deuxième utilisation des flèches courbes par ces auteurs est en pointillé. Cette différence de représentation est peut être due au fait que les auteurs représentent le déplacement d'un seul électron (non pas un doublet d'électrons) : « Ainsi, la redistribution des électrons de la formule (a) dans la direction indiquée par des pointillés (un électron de chaque double liaison s'est déplacé vers le centre) conduit à la structure (b). Elle possède une double liaison centrale, deux liaisons simples terminales et des atomes de carbone ayant chacun un électron non apparié. » (fig. 14)

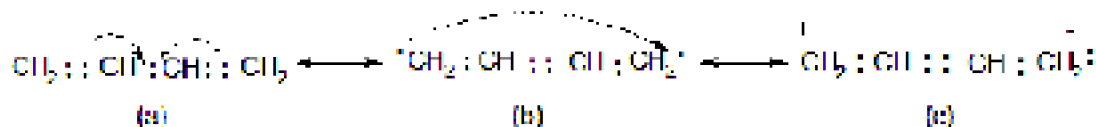


Figure 14 - (*idem*, p.86)

Encore en 1961, Fieser L.F. et Fieser M. n'utilisent que très peu les flèches courbes pour les mécanismes réactionnels. Dans l'un des rares exemples nous avons :

- Des formes limites de résonance (fig. 15)

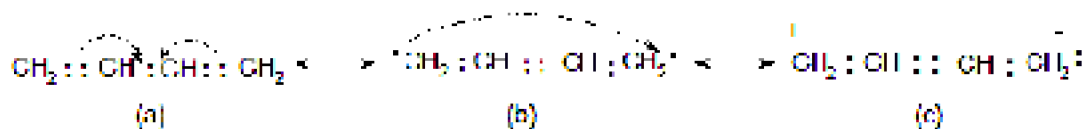


Figure 15 – *idem*, p.199

- Des mécanismes (fig. 16)

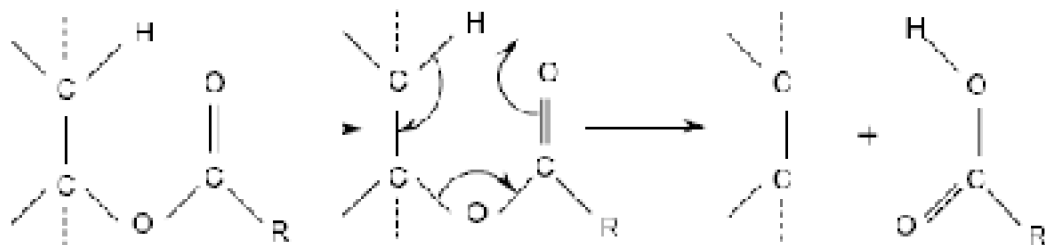


Figure 16 – *idem*, p.172



La plupart des mécanismes sont représentés à l'aide de flèches de déplacement d'atomes, (fig. 17)

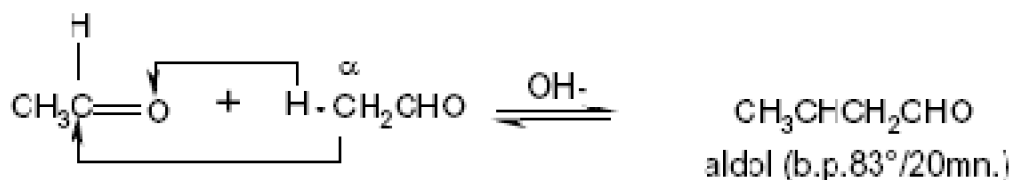


Figure 17 – (idem p.456)

Dans des cas très rares les mécanismes sont représentés avec du *lasso*, (fig. 18)

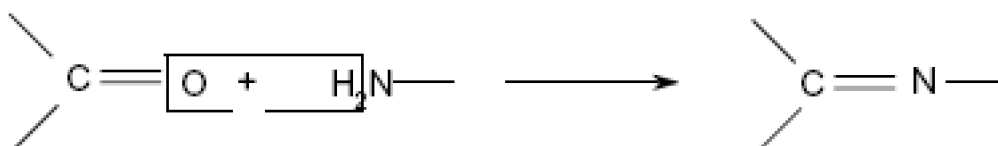


Figure 18 - (idem, p.432)

Dans certaines représentations ils utilisent à la fois les flèches courbes, les flèches de déplacement d'atomes et peu de *lasso*, exemple (fig. 19) :

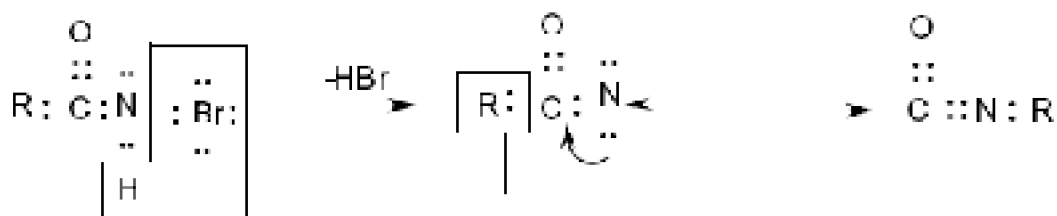


Figure 19 - (idem, p.123)

Dans leurs ouvrages de 1963 et de 1964, Fieser L.F. et Fieser M. ne font toujours que peu appel aux flèches courbes. Cette représentation ne s'est donc pas imposée rapidement.

Parmi les ouvrages qui n'utilisent pas ou très peu les flèches courbes, nous citons PRÉVOST (1960) : « En ce qui concerne les réactions SN2(PN), on peut admettre, dans le complexe intermédiaire, une polarisation partielle du carbone en  $\delta^-$  résultant d'un déplacement des électrons p de la double liaison, laquelle fournit des électrons au carbone fonctionnel, ce qui lui permet de libérer plus facilement l'ion Br<sup>-</sup> » :

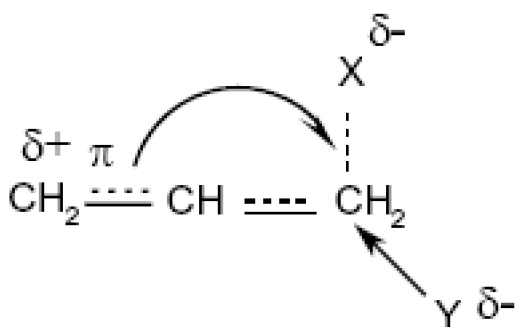


Figure 20 - Prévost, 1960 p. 124

Dans le reste de l'ouvrage, l'auteur n'utilise plus ce formalisme, mais il note les mécanismes avec des flèches de déplacement d'atomes.

En 1967, ce même auteur représente toujours les mécanismes réactionnels sans flèches courbes. Néanmoins à la fin du livre, dans la conclusion générale, l'auteur introduit ces flèches en précisant leurs différentes significations :

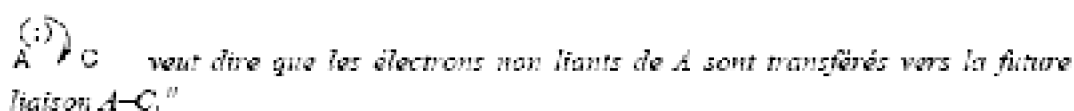
a) Le passage d'une structure limite à une autre en cas de mésomérie



b) L'existence même de cette mésomérie

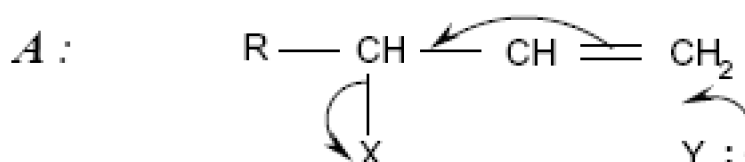


c) Une attaque nucléophile

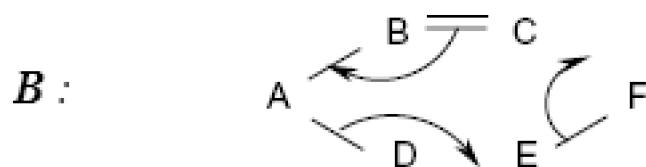


Extrait 2 – idem, p.308

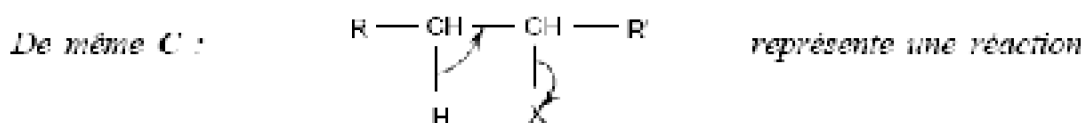
L'auteur ajoute que ces flèches permettent de représenter des réactions plus complexes : Par exemple (extrait 2):



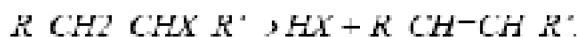
représente la transposition allylique :



représente un processus par transfert électronique circulaire à six centres.



d'élimination :



Extrait 3 – (idem, p.309)

Ensuite l'auteur critique ces flèches et prend comme exemple le schéma C (extrait 3). Elles ne permettent pas de savoir si l'élimination est une conséquence du départ initial de  $H^+$  ou du départ initial de  $X^-$ . De ce fait, l'auteur ne trouve pas de différence entre l'écriture avec ces flèches (extrait 2) et le schéma classique (fig. 21) :

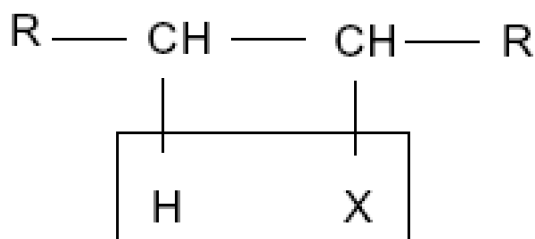


Figure 21 - (idem, p.309).

La même année, PAVLOV et TARENTIEV (1967), emploient encore de façon abondante les mécanismes *lasso*.

Jusqu'aux années 1960, les plus prestigieux livres d'enseignement de la chimie organique n'utilisent pas les flèches courbes représentant les déplacements électroniques. A titre d'exemple dans l'ouvrage de Fieser L.F. et Fieser M. (1968, p.149) le mécanisme schématisé figure 22 et représente un déplacement d'atomes et non de doublets d'électrons.

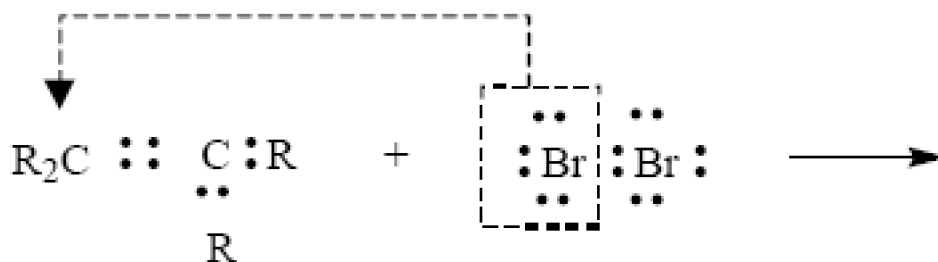


Figure 22 – Représentation par Fieser du mécanisme de bromation (*idem*, p.149)

Nous y découvrons aussi que le mécanisme (fig. 23) de la même diazotation est le même que celui décrit par Robinson 43 ans auparavant, avec des flèches courbes.

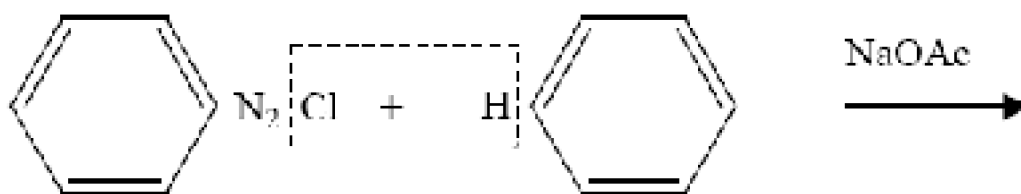


Figure 23 – Représentation par Fieser du mécanisme de diazotation (*idem*, p.737).

Fieser prétend pourtant qu'il décrit la chimie organique telle qu'elle est interprétée par les théories modernes. Si nous acceptons l'idée que cet illustre auteur est effectivement à jour des connaissances sur la question, nous sommes contraints d'en déduire qu'à cette date, la représentation par des flèches courbes n'était pas une notation répandue dans la communauté scientifique.

Cependant plusieurs années auparavant, d'autres ouvrages, NORMANT (1963), ROBERTS et CASERIO (1964) et GEISSMAN (1965), utilisaient déjà des flèches courbes dans la totalité de leurs livres aussi bien pour représenter les formes limites de résonance que pour représenter les mécanismes.

Actuellement, tous les ouvrages intéressants de chimie organique, le livre de Vollhardt (1998) est un exemple parmi d'autres, utilisent sans exception les flèches courbes comme seul moyen de représentation des déplacements de doublets d'électrons. Les déplacements d'atomes ne sont plus utilisés comme ce fut le cas. Il semble que les enseignants, non seulement n'utilisent que cette notation, mais s'attendent à ce que leurs étudiants la maîtrisent. Tous les sujets d'examen ou de concours que nous avons pu compiler testent cette compétence.

## 5.5. Conclusion partielle

Les flèches courbes sont apparues dans le savoir savant en 1922 bien avant de l'être dans le savoir enseigné. Cette représentation, longtemps en compétition avec la représentation qui indique le déplacement des atomes et avec la représentation du *lasso*, s'est imposée. C'est la seule qui permet, avec les mêmes conventions, de représenter les

formes mésomères, tautomères et les mécanismes.

L'apparition des flèches courbes est probablement passée inaperçue dans la communauté des chimistes organiciens, et les chercheurs se sont appropriés cette notation sans qu'il y ait véritablement eu de débat. Il ne faut pas qu'il en soit de même dans l'enseignement. De nombreux étudiants ne peuvent s'adapter à l'implicite qui entoure souvent l'introduction de ces flèches.

## 6. Étude d'entretiens

L'objectif de ces entretiens est d'apporter des éléments de réponses à la deuxième question de recherche « Comment le formalisme des flèches courbes s'enseigne et s'apprend-il ? »

Nous avons interviewé des enseignants (de cours, de TD et de TP) de chimie organique du 1<sup>er</sup> cycle, et des étudiants scientifiques du 1<sup>er</sup> cycle, étudiants chimistes de 2<sup>ème</sup> année de la Faculté des Sciences de Monastir (Tunisie) et des étudiants préparant l'agrégation de physique à l'ENS de Lyon. Ce choix est motivé par le fait que les flèches courbes sont introduites dans l'enseignement du 1<sup>er</sup> cycle universitaire. Pour faire varier l'échantillon nous avons interviewé des chercheurs du CNRS, un expert (un directeur de recherche) et une jeune chercheuse d'un laboratoire de synthèse organique.

### 6.1. Analyse des réponses et résultats

#### 6.1.1. Première catégorie de réponses

Premier résultat obtenu, les professeurs ne font pas un enseignement spécifique des flèches courbes, et ce ci apparaît aussi bien dans les réponses des enseignants (extrait 4 à 10), que dans ceux des étudiants qui nient avoir reçu un enseignement sur les flèches courbes :

Réponses des enseignants :

Question de relance : « est-ce que vous pensez qu'il serait nécessaire pour l'étudiant si on lui fait avant l'enseignement de la chimie organique un cours d'une heure ou de deux heures pour introduire ces flèches ? »

**« je ne vois pas comment on peut les introduire ... le signe en lui-même n'a pas d'intérêt particulier, c'est toutes les définitions, tout le contenu qui est derrière qui est important, la flèche en elle-même c'est une flèche quoi, ça pourrait être autre chose, ça pourrait être un signe complètement différent. Pour moi je ne vois pas l'intérêt de passer une heure et puis je vois pas ce qu'on pourrait dire dessus quoi, parce que pour expliquer la flèche, il faut faire semblant de faire de la chimie avec derrière quoi mais la flèche qu'on met, comme un symbole particulier dans n'importe quelle matière, c'est qu'un symbole... » Extrait 4 – (J.C., Chercheur**

### au CNRS)

Question de relance : « est-ce que vous pensez qu'il en faut un cours spécifique ? »

**« ... Comment introduire ces flèches ( ? ) c'est, je ne sais pas trop quoi dire là parce que les concepts pour quelqu'un qui commence la chimie organique ... je pense que ça doit pas être trop compliqué, en fait c'est un schéma, c'est une espèce de, c'est une terminologie qu'on définit, la flèche aura, je dirais le trajet de l'électron, parce que c'est faux, c'est l'attaquant qui va sur l'agressé, d'ailleurs on revient toujours sur une question qui a peut-être une réponse, pourquoi l'agressé est agressé et non pas attaquant ça ça me perturbe toujours ça, pour moi les flèches c'est une symbolique, c'est un attaquant qui va sur une molécule agressée. » Extrait 5 - J-P D (Directeur du CNRS)**

Question : « donc vous pensez que c'est nécessaire vraiment pour l'étudiant de faire une introduction de ces flèches ou bien de les introduire au fur et à mesure qu'ils apprennent les mécanismes ? »

**"j'ai dit c'est mon mode moi d'introduire, existe-t-il d'autres modes plus efficaces ? moi j'en ai pas rencontré, en attendant de rencontrer moi ce que je préconiserai oui d'introduire dès le départ ces flèches, parce que je n'ai pas d'autres modes à ma portée qui me donnent autant de satisfaction". Extrait 6 - L.S (enseignant à la F.S.B., Tunisie)**

Question de relance : « ..., je voulais dire comment peut-on introduire ces flèches les flèches de déplacement des électrons, avez-vous une idée pour introduire ces flèches pour les étudiants qui commencent la chimie organique, qui n'ont pas encore étudié les mécanismes. Au lieu de les présenter au fur et à mesure, on fait un cours spécifique pour introduire ces flèches ? »

**« Non, pour le moment je n'ai pas d'idée. » Extrait 7 - R. T. (enseignant à la F.S.M., Tunisie)**

Question de relance : « est-ce qu'il y'a un cours spécifique pour ces flèches ? »

**« ça dépend de la capacité de l'étudiant ... le professeur du cours ne va pas s'amuser à faire parvenir la notion à chaque étudiant ... il va que décrire ... et tout ce qui est lacune sera rattrapé dans les séances de TD, et là ça va intervenir le sérieux de l'étudiant, c'est à lui de faire l'effort pour comprendre ... ». Extrait 8 - A.C (enseignant à la F.S.M., Tunisie)**

· Réponse des étudiants :

Question : « y a pas un cours spécifique pour introduire ces flèches ? »

**« Et bin non, je me souviens des 1er chapitres en chimie organique en math Supérieures c'était sur la substitution élimination donc typiquement ce qu'on a vu dans la 1ère question et non je me souviens pas d'avoir vu quelque chose de spécifique sur les flèches mais on a vu vaguement sans faire de la mécanique quantique des différents niveaux d'énergie des électrons externes et on a un chapitre là dessus » Extrait 9 - C. B. (Étudiant à l'ENS, Lyon)**

Question : « Dans quelle circonstance avez-vous compris les écritures des mécanismes en chimie organique ? »

**« En cours, quand on a commencé à faire de la chimie c'était, quand on a commencé à faire les mécanismes, c'était en prépa en 1ère année après le Bac et**

**je me souviens plus exactement mais je crois qu'on écrit directement des mécanismes avec des flèches et ça paraît clair, d'emblée moi ça me paraît clair »**  
**Extrait 10 - F. M. (Étudiant à l'ENS, Lyon)**

### 6.1.2. Deuxième catégorie de réponse

A partir de l'analyse des réponses de la deuxième catégorie, les résultats constatés sont que ces flèches se trouvent plus dans les livres d'enseignement que dans les articles de chimie organique (extraits 11 – 14).

- Réponses des enseignants :

Question : « est-ce qu'on trouve ces flèches dans la littérature ? »

**« Dans la littérature, par rapport à l'enseignement pas dans la littérature scientifique de la recherche, ça arrive mais c'est plutôt rare, ça a un but plutôt pédagogique, pour expliquer le mécanisme, mais bon écrire ce genre de chose et dire que la réaction se fait selon un mécanisme de type SN<sub>2</sub> c'est la même chose, donc dans un article on dira plutôt c'est une SN<sub>2</sub> et ça suffit. » Extrait 11 - J. C**  
**« Je dirais moi la chimie que je fais ça intéresse peu aux questions de réactivité, donc mais si j'en crois à la littérature que je survole, je le vois dans la littérature ça par contre je ne peux pas dire que c'est toujours judicieux juste peut-être j'espère mais je ne sais pas si c'est toujours judicieux pour moi c'est un moyen d'interpréter c'est une interprétation. » Extrait 12 - J-P D**

Question: "est-ce que c'est plus du côté des livres d'enseignement ou bien plus du côté des articles des savants ?"

**« non c'est davantage dans les livres d'enseignement, on les retrouve aussi dans certains articles mais il y'a des articles qui ne s'en servent pas beaucoup d'articles qui ne s'en servent pas. » Extrait 13 - L.S**

- Réponse des étudiants :

Question : « est-ce qu'on trouve ces flèches dans les livres, dans la littérature, ... ? »

**"Je ne pourrais même pas vous dire comment ça figure dans la littérature, si dans certains ouvrages on va les trouver oui, des mécanismes sont expliqués comme ça toujours." Extrait 14 - F. M. "Ça dépend dans quel type de livre dans les livres de seconde main on les trouve assez peu, et par contre dans les livres de 3ème main types livres de classe préparatoire on les trouve plus souvent." Extrait 15 - C. B.**

## 6.2. Conclusion partielle

En conclusion, l'enseignement de la représentation symbolique des mécanismes est implicite, les enseignants l'introduisent au fur et à mesure de l'enseignement des mécanismes. De plus cette représentation présente surtout dans les manuels scolaires, ne sert pas toujours aux chercheurs dans leurs articles.

Dans ce qui suit nous allons proposer une séquence de remédiation, sous forme d'un « germe de modèle », explicitant la symbolique de représentation des mécanismes à

l'aide de flèches courbes dans le but de permettre aux étudiants qui commettent des erreurs de pouvoir avoir une référence stable sur l'origine de leurs erreurs. Nous jugeons cette explicitation indispensable pour l'apprentissage du concept de mécanisme.

## 7. Proposition de remédiation : « germe de modèle »

Nous avons été surpris de constater que de bons étudiants chimistes de niveau Bac + 3 et plus, n'ont pas le souvenir d'avoir eu un enseignement spécifique pour l'utilisation des flèches courbes. Il ressort que cette notation est utilisée sans faire l'objet d'un enseignement propre. Serait-ce alors une des raisons pour lesquelles les moins bons étudiants éprouvent des difficultés lors de l'apprentissage de la chimie organique ? Nous nous sommes penchés sur l'enseignement des flèches courbes en chimie organique. Quelques idées émergent, et qui peuvent paraître évidentes aux spécialistes, mais peuvent être fort utiles aux étudiants en difficultés.

L'appellation « germe de modèle », signifie un texte d'explicitation sous forme d'énoncés et de règles de fonctionnement des flèches courbes, de la même façon qu'une théorie ou qu'un modèle peut s'énoncer sous forme de règles.

Ce modèle doit être :

- correct, mais pas nécessairement complet au regard du savoir savant.
- suffisant, relativement à l'objet pédagogique que nous nous proposons d'atteindre.
- parfaitement cohérent.
- exprimé en utilisant uniquement des notions connues de l'élève avant qu'il ne commence l'étude en question.
- linéaire (si possible), c'est à dire que le n<sup>ème</sup> énoncé n'a besoin pour être compréhensible par l'élève, que des énoncés de numéro inférieur.

### 7.1. Flèches courbes

---

En se limitant aux transferts de doublets électroniques (excluant ici les transferts mono-électroniques), force est d'admettre que nous pouvons regrouper les flèches courbes en seulement trois catégories : celles qui montrent l'évolution d'un doublet liant en doublet non-liant (fig. 24), d'un doublet liant en un autre doublet liant (fig. 25) et d'un doublet non-liant en un doublet liant (fig. 26). Un exemple de chaque type est donné.

- Lors du déplacement, un doublet libre peut se transformer en un doublet liant (fig. 24)



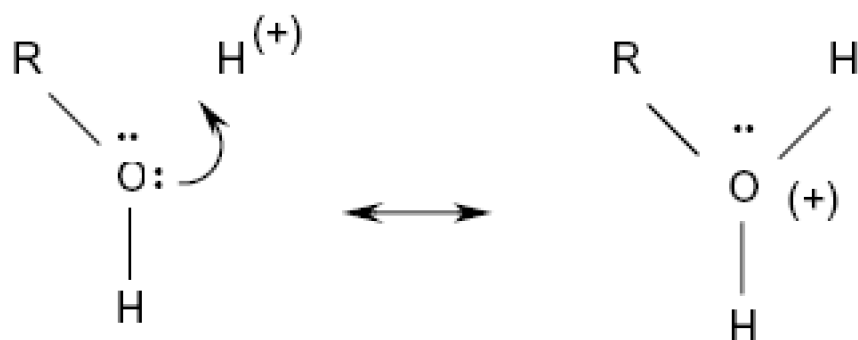


Figure 24 - Exemple de transformation d'un doublet liant en doublet non-liant

Lors du déplacement un doublet liant peut rester liant (fig. 25)

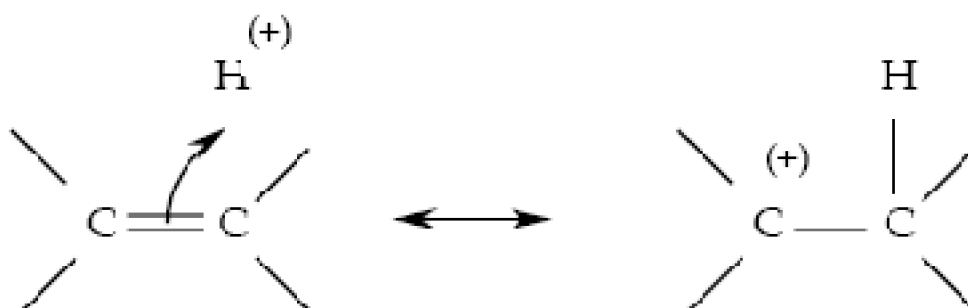


Figure 25 – Exemple de doublet liant qui reste liant

Lors du déplacement, un doublet liant peut se transformer en doublet libre (fig. 26)

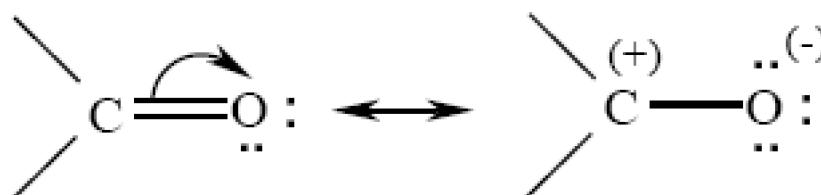


Figure 26 – Exemple de transformation d'un doublet non-liant en un doublet liant

Remarque : il n'existe pas de transformation d'un doublet libre en doublet libre.

Cette catégorisation acquise, il est possible de demander aux étudiants débutants de ne pas écrire une flèche courbe sans préalablement la catégoriser. Répondre à cette question leur permet d'éliminer déjà un nombre de flèches incorrectes. Nous avons également constaté que c'est une connaissance dont ils se souvenaient longtemps après leur enseignement, et donc qui leur avait probablement servi à construire d'autres connaissances.

## 7.2. Mécanismes réactionnels

---

### 7.2.1. Définition

Le mécanisme d'une réaction chimique est l'ensemble des positions des atomes, des molécules et des ions à chaque instant de la réaction chimique. Ce mécanisme est représenté par le déplacement des doublets liants et des doublets libres des entités chimiques mises en jeu pendant la réaction chimique.

### 7.2.2. Représentation avec des flèches courbes

Les déplacements de doublets d'électrons sont représentés par des flèches courbes. Pour chaque déplacement la flèche courbe est issue du doublet dans sa position initiale et va vers la position finale du doublet.

Si la flèche est dirigée entre deux atomes, elle indique l'apparition d'une liaison entre ces atomes (fig. 27)

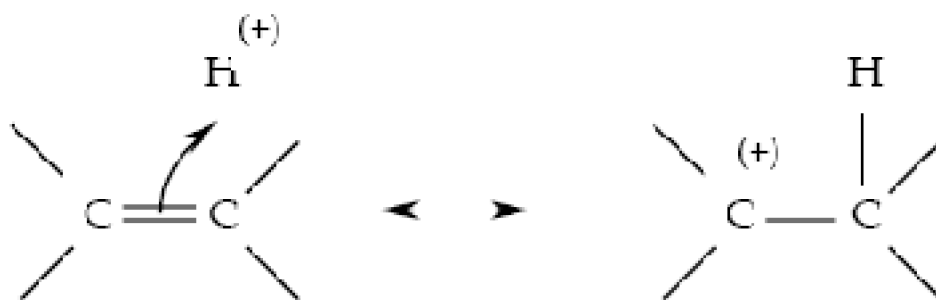


Figure 27 – Exemple de flèches indiquant l'apparition d'une liaison

Si elle est dirigée sur un atome, elle implique la création d'un doublet libre sur cet atome (fig. 28) :

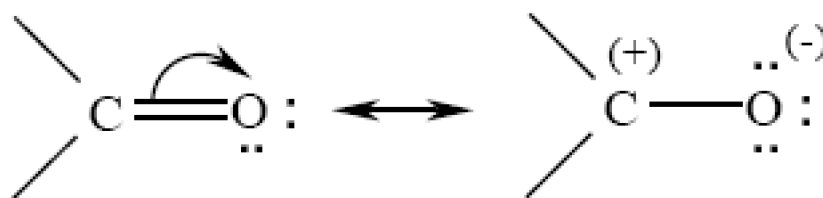


Figure 28 – Exemple de flèches indiquant la création d'une nouvelle liaison

Nous devons exiger des élèves, et s'imposer à soi-même, d'indiquer avec précision l'endroit où une flèche doit pointer. C'est important pour les étapes représentées sur les figures 25 et 26. En effet, la formation d'un doublet liant doit en toute rigueur correspondre à une flèche qui pointe entre les deux atomes (et non sur un atome), ce qui se fait

rarement et ceci pour d'excellentes raisons que le lecteur découvrira de lui-même, s'il s'auto-analyse en représentant le mécanisme. S'astreindre à pointer entre les deux atomes oblige à disposer précisément les partenaires qui vont être liés. C'est simple quand s'est su, cela demande beaucoup d'attention au moment de la découverte, et cette attention est productrice d'apprentissage. C'est de plus un guide pour l'étudiant dans le cas de la figure 25 pour lequel l'écriture de la figure 29 est indéterminée. Où  $H^+$  se fixe-t-il ? Il y a deux possibilités. Cette incertitude est un obstacle les premières fois que ce mécanisme est rencontré.

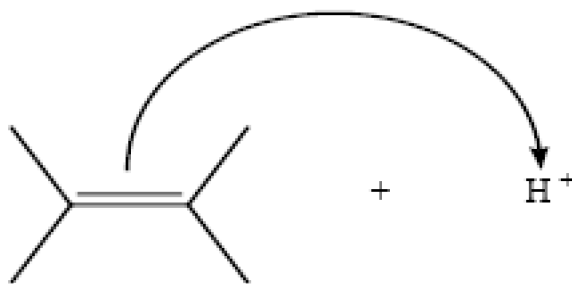


Figure 29 - Représentation posant une difficulté aux élèves parce que deux écritures possibles résultent de cette étape. A comparer à la figure 25.

Le temps qu'il faille passer à écrire les mécanismes avec la rigueur proposée ici dépend des étudiants. Pour certains, c'est superflu, pour d'autres, c'est une étape indispensable qui doit se prolonger tant que la notion de mécanisme n'est pas installée.

La rigueur suggérée ci-dessus est un élément pédagogique nouveau qui peut aider les enseignants face à des élèves en difficulté ; elle doit être accompagnée des indications habituelles sur l'orientation des flèches en particulier, ou par les exemples de bases habituels. Nous prétendons que l'outil proposé ici aide les étudiants à vérifier leur travail par une relecture qui les force à une réflexion utile.

## 8. Conclusion

La représentation symbolique des mécanismes à l'aide du formalisme des flèches courbes a été introduite dans le savoir savant en 1922 bien avant de l'être dans le savoir enseigné, mais actuellement ce formalisme n'est pas très utilisé dans la littérature, c'est plutôt un outil pédagogique souvent rencontré dans les manuels. Ce formalisme reste implicite dans la littérature, dans les manuels et dans l'enseignement. En effet les auteurs ne donnent pas la signification de cette symbolique, de même les enseignants n'en font pas un cours spécifique.



## Partie 2. Expérimentation

Après avoir présenté l'aspect historique et pédagogique des mécanismes, partie indispensable pour la compréhension de l'enseignement du concept, sera exposée la partie empirique de ce travail où deux expérimentations ont été mises en place dans le but de décrire l'apprentissage de ce concept.

### 1. Introduction

La communication orale des concepts scientifiques est un enjeu essentiel de l'enseignement qui met en œuvre la lexicalisation d'une situation, d'une expérience (Tochon, 2000), ou dans ce cas, d'un système de symboles. En chimie organique, cette lexicalisation a des spécificités liées : à un champ expérimental propre, aux concepts théoriques qui se traduisent dans les mécanismes réactionnels, et à leur représentation. Ces connaissances sont représentées par des symboles qui se trouvent être un objet d'apprentissage dont les règles ne sont pas explicitées.

Or en général il n'est pas de système symbolique transparent. La façon dont s'acquiert la faculté de lexicaliser cette représentation symbolique lors de la formation des enseignants est l'enjeu de cette partie. Un professeur doit lexicaliser une telle représentation pour la communiquer en classe et donc doit acquérir cette faculté lors de sa formation. Nous connaissons peu de choses sur cet apprentissage. A priori nous ne

savons même pas, décrire l'apprentissage des mécanismes, nous avons donc cherché à savoir dans quelle mesure une formation comme la préparation aux concours d'enseignement pouvait faire évoluer cette faculté.

## **2. Cadre théorique**

Le cadre théorique est composé de trois parties. Dans la première partie, est intégré la description d'activités de modélisation : c'est la théorie des niveaux de savoir. La deuxième partie, est consacrée aux structures verbales et existentielles. La troisième partie, est réservée à une analyse linguistique tenant compte du code-switching.

### **2.1. Niveaux de savoirs**

---

#### **2.1.1. Modélisation en physique**

En physique, les interprétations et les prédictions impliquent un processus de modélisation composé de trois niveaux : la théorie, le modèle et le champ expérimental de référence (Tiberghien, 1994).

- La théorie englobe les paradigmes (au sens de Kuhn), la causalité, les lois et les principes explicatifs. Les exploitations d'interprétation et de prédiction sont construites au moyen de la théorie. Un aspect fondamental de la théorie est son statut hypothétique qui est essentiel pour la science moderne ; il implique le processus de validation (Tiberghien, 1994).
- Les modèles sont constitués par les relations qualitatives et quantitatives (formalisme mathématique) entre les quantités physiques. Ils ont une cohérence interne, sont compatibles les uns avec les autres et ont une syntaxe spécifique (Tiberghien, 1994).
- Le champ expérimental de référence contient les situations expérimentales appartenant aux domaines de validité de la construction théorique. Ce niveau est constitué des faits, des appareils et des mesures. Le langage associé à ce niveau est la description des faits en terme d'objets et d'évènements (Tiberghien, 1994).

#### **2.1.2. Théorie des deux mondes**

En chimie, une grande partie des connaissances peut être catégorisée en deux mondes complémentaires : le monde perceptible et le monde reconstruit (Le Maréchal, 1999).

**Le monde perceptible** : trois catégories de connaissances sont considérées dans le monde perceptible, c'est à dire dans le monde accessible aux sens :

- Les objets perceptibles : ce sont les objets que toute personne peut voir tel que les produits chimiques, la verrerie, etc. D'un point de vue cognitif, un objet perceptible

peut être considéré comme une relation entre un signifiant, un signifié et un référent empirique (Vergniaud, 1990). Dans le cas d'un tube à essais, le signifiant est le concept de tube à essais qui peut être définie comme un morceau de verre de forme cylindrique fermé de l'une de ses extrémités de façon qu'il puisse contenir des liquides. Le signifié peut être le mot « tube à essais » ou le schéma d'un tube à essais. Le référent empirique peut être un tube à essais donné, ou un plus grand, ou plus petit. Pour chaque objet perceptible, il est possible de considérer le triplet signifiant, signifié et référent empirique. (Pekdag et Le Maréchal, 2002)

- Le niveau des événements perceptibles correspond à chaque fait qui peut arriver aux objets perceptibles comme le chauffage d'un tube à essais, le changement de couleurs d'une solution, etc.
- Le niveau des propriétés, que ce soient des propriétés des objets perceptibles (ils peuvent avoir une odeur, être colorés, etc.) ou des propriétés des événements perceptibles (un changement de couleur peut être rapide ou lent).

**Le monde reconstruit** : le chimiste a besoin de « reconstruire » le monde, c'est-à-dire de le décrire différemment. Le monde microscopique fait partie de cette description. Le monde reconstruit sera structurer de façon symétrique avec des objets, des événements et des propriétés :

- Les objets reconstruits, tels les atomes, les molécules, les ions, etc., ne sont pas perceptibles directement par les sens. Ces objets sont reconstruits par la pensée savante, ils ont un signifiant et un signifié, mais ils n'ont pas un référent empirique concret (Sallaberry, 2000). Ainsi pour une molécule (le signifiant) peut être défini comme étant la plus petite quantité d'un corps simple qui puisse exister à l'état libre. Le signifié est sa formule, sa fonction d'onde,... mais elle n'a pas de référent empirique puisqu'il n'est pas possible de voir l'objet molécule.
- Les événements reconstruits sont les événements qui peuvent se produire aux objets reconstruits. La réaction chimique est un événement reconstruit, en effet elle décrit la transformation des molécules qui sont des objets reconstruits.
- Les propriétés des objets et des événements reconstruits : une molécule à une masse, une forme etc. qui sont autant de propriétés, une réaction chimique peut être rapide ou lente...

### 2.1.3. Grille de lecture

Dans cette étude, l'objectif est de décrire l'évolution de l'apprentissage des étudiants de l'agrégation, par rapport au savoir savant entre le début et la fin de l'année universitaire. Une analyse par niveaux de savoir, à l'aide de la théorie des deux mondes n'a pas été efficace puisque cette catégorisation n'est intéressante que lorsqu'il existe des éléments des deux mondes : le monde perceptible et le monde reconstruit. Or, l'écriture et la verbalisation de mécanisme, tâches proposées aux étudiants, ne mettent pas en jeu des éléments du monde perceptible. De ce fait cette analyse n'a pas montré l'évolution de l'apprentissage.

En conséquence, d'autres catégories ont été recherchées lors de l'analyse des données. Ces catégories sont présentées ci-après et seront validées par la pertinence des résultats qu'elles permettent de trouver.

- Objets reconstruits

Exemples : hydrogène, oxygène, proton, etc. peuvent être exprimés soit par des symboles de type : H, O, H<sup>+</sup>, etc. soit par un nom : l'hydrogène, l'oxygène, le proton, etc. Soit par une expression plus compliquée : l'atome d'hydrogène, l'atome d'oxygène, le proton H<sup>+</sup>, etc.

Exemple de phrases extraites de productions d'étudiants lors de la verbalisation de mécanisme

- Exemple contenant des noms d'objets : « un des **doublets** donc de l'**époxyde** donc se rabat sur la **liaison** pour former une **liaison double** » (E3)
- Exemple contenant des noms d'objets et des représentations symboliques d'objets : « sur l'**oxygène** on a deux **doublets** non liants l'acide **H<sup>+</sup>** enfin le proton **H<sup>+</sup>** va être fixé sur l'**oxygène** » (E6)

- Niveau des propriétés

Une propriété est une qualité, une fonction particulière ou un trait d'un objet reconstruit (ou de sa représentation symbolique) comme un atome (ou sa représentation symbolique : H) ou d'un événement reconstruit comme une réaction.

- Exemples de propriétés d'objets reconstruits (ou de leurs représentations symboliques) : être stable, être libre, avoir des formes mésomères, avoir un effet inductif donneur ou attracteur, être chargé positivement ou négativement, avoir un doublet libre, ...
- Exemples de propriétés d'événements : réaction peut mettre en jeu une prototropie, un équilibre acido-basique, une attaque nucléophile, une acétalisation, ...

L'emploi du niveau de propriétés correspond fréquemment à des **adjectifs** accompagnant des objets (exemple : électropositif, électronégatif, positif, négatif, catalyseur, doublet non-liant, se comporter comme une base, ...) ou des événements reconstruits (exemples : réaction catalysée, réaction favorisée, ...).

Exemple de phrase extraite de productions d'étudiants lors de la verbalisation de mécanisme

Exemple : « on va donc former un groupement  $H_2O^+$  qui va constituer un **bon groupe partant** » (E11, étape 3)

Les propriétés peuvent être exprimées à l'aide **des noms des fonctions** des objets (ou de leurs représentations symboliques), exemples : cétone, alcool, acide, base, nucléophile, électrophile, ... ou des événements : réaction de protection, catalyse acido-basique, réaction d'élimination, mécanisme d'acétalisation, addition nucléophile,



substitution nucléophile, ...

Phrases extraites de productions d'étudiants lors de la verbalisation de mécanisme

- Exemple de propriété d'objets reconstruits : « *ce carbocation est donc **une espèce électrophile** va être attaquée par l'autre atome d'oxygène* » (E'10, mai)
- Exemple de propriété d'évènements : « *ce carbocation va subir **une attaque nucléophile** de l'autre atome d'oxygène du diol* » (E8, mai)

Ce niveau de propriété est intéressant pour l'étude, en effet, il peut être considéré comme un traceur de l'apprentissage de l'évolution des étudiants ; l'augmentation du nombre de propriétés implique une évolution (voir analyses et résultats)

- Niveau de la théorie

Dans cette étude, les phrases utilisées pour argumenter une étape du mécanisme sont considérées comme appartenant au niveau théorique. L'argumentation peut être exprimée à l'aide de l'effet, la cause ou la conséquence (Plantin 1996) :

- L'argumentation par la cause : ce mode d'argumentation conclut à l'existence d'un effet dérivé de l'existence d'une cause (Plantin 1996).

Exemple de production d'étudiant : « *comme l'oxygène est plus électronégatif que le carbone ça induit à l'intérieur de la molécule une charge positive* » (E'1)

- L'argumentation par l'effet : une cause est régulièrement associée à un effet de façon biunivoque, si l'effet est constaté, alors la cause peut être confirmée (Plantin, 1996).

Exemple de production d'étudiant : « *on va avoir en fait un phénomène d'assistance électrophile puisque notre atome ici d'oxygène chargé positivement va d'autant plus accepté la double liaison carbonyle* » (E5, étape 2)

- L'argumentation par **la conséquence**

Exemple de production d'étudiant : « *puisque'il y a existence de deux formes mésomères ce carbocation est plus stable* » (E'4)

La théorie peut être exprimée par des phrases **explicatives**. Selon Plantin (1996), les notions d'argumentation et d'explication sont symétriques, l'argumentation causale apporte une réponse à un type de question pourquoi ; elle explique un phénomène en le rattachant à une cause. La question de l'explication peut être formulée comme un problème à résoudre au sein d'une théorie scientifique.

Exemples de production d'étudiants :

- « *on a la formation d'un carbocation donc qui peut avoir une forme mésomère pour expliquer la stabilité* » (E1)
- « *on a déplacement du doublet de l'oxygènes pour stabiliser ce carbocation qui n'est*

*pas stable* » (E'6, étape 4)

- « *on va avoir libération de la double destruction de la double liaison pour garder la tétravalence du carbone* » (E6, étape 2)

La théorie peut être du niveau de la généralisation de propriétés,

Exemples de production d'étudiant :

- « *on va avoir les différentes étapes qui permettent d'arriver à la formation de cet acétal qui est une entité qu'on utilise souvent en tant que groupement protecteur pour les composés carbonylés* » (E'1)
- « *donc ces intermédiaires étant régénérées et n'intervenant dans le bilan global donc de par leur définition d'ailleurs* » (E'3)

Le niveau théorique englobe aussi la **justification théorique**.

Exemple de production d'étudiant : « *puisque'il y a une double liaison et un C<sup>+</sup> c'est pas stable donc la double liaison va se casser* » (E6)

Lors de l'analyse, la théorie telle qu'elle est reconnue par le savoir savant est différenciée de la théorie des élèves. La justification théorique utilisée par l'élève peut être différente de celle du savoir savant.

Cette catégorie est intéressante pour l'étude, en effet l'augmentation de l'utilisation du niveau théorique prouve une évolution et par la suite un apprentissage.

- Concision

La concision est la qualité du style qui exprime beaucoup de choses en peu de mots. Cette catégorie permet de comparer deux phrases et de dire laquelle est plus concise. Il faut que les deux phrases aient la même signification, le même sens, que les mêmes niveaux de savoir soient mis en jeu, mais avec moins de mots.

Exemple de production d'étudiant :

- Phrase de référence : « *l'oxygène du glycol peut attaquer sur le carbone ici du carbonyle qui est attaqué* » (E2, étape 2)
- Phrase plus concise : « *ça permet l'attaque nucléophile d'un doublet de l'oxygène de l'éthylène glycol* » (E'2, étape 2)

- Précision

La précision d'une forme, d'un trait, d'un dessin, etc. est ce qui représente, traduit avec netteté et exactitude les détails. Comme pour la concision, cette catégorie permet de comparer deux phrases et de dire laquelle est plus précise. De même, il faut que les deux phrases aient la même signification, le même sens, les mêmes niveaux de savoir soient mis en jeu, mais que les données soient plus claires et plus rigoureuses.

Exemple de production d'étudiant:

- Phrase de référence : « *on va avoir attaque ... pour obtenir **une espèce encore chargée** mais cette fois sur l'oxygène* » (E12, étape 5)
- Phrase plus précise : « *on va avoir une substitution nucléophile et obtenir donc **une autre fonction éther protonée*** » (E'12, étape 5)
- Indicateur de doute

Le doute est caractérisé soit par l'**incertitude** concernant l'existence ou la réalisation d'un fait, soit par l'**hésitation** sur la conduite à tenir, soit par la **suspension** du jugement entre deux propositions contradictoires, avec une expression comme « mais » entre les deux propositions, corrigeant - en la limitant - l'extension du doute. Le doute intervient avec la conscience de l'existence d'un savoir de référence et que l'expression orale n'est peut-être pas en accord avec cette référence.

Dans cette étude, les structures indiquant l'incertitude de l'expression orale, tel que : ah non c'est pas ça ce que je veux dire..., non en fait..., euh attend que je réfléchisse...etc. sont considérées comme indicateurs de doute.

Exemples de production d'étudiant

- « **en fait non pardon** il s'agit ici d'un oui c'est simplement une forme mésomère » (E3, étape 4).
- « dans un deuxième temps on va **ah oui c'est pas** une acétalisation en fait c'est une transposition **euh qu'est-ce qui se passe là** après élimination d'eau alors **j'ai dû mal voir ce qui se passe** » (E2, étape 4).

Le doute peut être exprimé par deux propositions contradictoires dans deux énoncés successifs.

Exemples de production d'étudiant

- « on a tout d'abord une **attaque enfin** une **activation** de notre composé carbonyle par protonation » (E'1)
- « on a donc **rupture** de la liaison O **enfin départ** en fait du nucléophuge  $H_2O$  » (E3)
- Vision globale du problème

Un mécanisme est souvent constitué de plusieurs étapes et le locuteur globalise son propos lorsque son énoncé implique des données appartenant à plus d'une étape.

Exemples de production d'étudiant :

- « on retrouve un intermédiaire relativement semblable au carbonyle de départ » (E1)
- « on forme  $H_2O^+$  qui va être un bon groupe partant » (E6)

La vision globale contient la **Méta-lecture**,

Exemple de production d'étudiant : « ici on a un acétal cyclique mais peut être non

*cyclique on peut avoir deux substituants sur ces oxygènes différents* » (E'1)

Cette catégorie englobe **la vision du passé** d'un objet ou d'un événement,

Exemple de production d'étudiant : « *Ce mécanisme est répété une seconde fois avec la deuxième fonction alcool puisque au départ on avait un diol* » (E4).

De même dans cette catégorie se retrouve le lien des objets et des événements d'une étape avec les autres objets (d'une autre étape) et les autres événements (réactions ou mécanismes),

Exemple de production d'étudiant : « *on retrouve un composé type dérivé comme on avait au début et on va avoir de nouveau un enchaînement de réactions tout à fait similaires* » (E'1)

Tous les exemples utilisés dans cette partie sont extraits de productions d'étudiants lors de la verbalisation d'un mécanisme.

## 2.2. Classification des structures verbales et existentielles

---

L'intérêt aux verbes se justifie par leur importance aussi bien en linguistique que dans cette étude. D'un point de vue syntaxique, le verbe est le terme central de la proposition, le pivot autour duquel s'organise la phrase. Dans l'analyse en constituants immédiats, il est le mot-tête du groupe verbal qu'il peut constituer à lui seul ou associé à un ou plusieurs compléments (Riegel et *all*, 1994). Dans cette étude, les étudiants sont invités à verbaliser des mécanismes. Dans un mécanisme des doublets d'électrons se déplacent, des atomes attaquent d'autres, des liaisons se rompent, d'autres se créent, des entités chimiques disparaissent, d'autres apparaissent, etc. Pour décrire ces actions, les étudiants emploient des verbes.

Le sens des mots est lié à leur nature grammaticale ; traditionnellement il est dit que les noms expriment de façon privilégiée la description des choses alors que, les verbes expriment les actions et les adjectifs expriment les propriétés. Cette idée n'est pas toujours vraie ainsi les noms ramassages et dureté, le verbe remercier, l'adjectif révolutionnaire. Mais c'est globalement correct s'il est admis que tout mot d'une langue a une forme de base dont les dérivés sont linguistiquement dépendant. (Lerat, 1983)

### 2.2.1. Processus

Parmi les phénomènes qui se produisent dans l'univers, et qui « se manifestent à la conscience humaine » (Robert) par l'intermédiaire des sens et de la raison, il en est qui concernent des activités de modification ou de transformation de l'état des choses appelés **processus**.

Les activités décrites ne sont pas les mêmes selon que le processus évolue ou non, changeant ainsi ou non, la nature des êtres qui sont engagés. Lorsque le processus évolue, les êtres qui en dépendent se trouvent soit déplacés, soit transformés, parfois aussi le processus peut faire exister un nouvel être, ou faire disparaître un être existant.

Selon Charaudeau (1992), les processus peuvent être catégorisés du point de vue de

leur évolution en quatre ou cinq types : un changement de lieu, un changement d'état, la disparition d'un être, l'apparition d'un nouvel être. Il faut ajouter le cas de non-évolution du processus.

- Changement de lieu : processus dynamique qui évolue dans un cadre **spatio-temporel**. Au terme de ce processus, un être de l'univers, dont l'existence est présumée, a changé de position dans l'espace.
- Changement d'état : processus dynamique qui évolue dans un cadre **temporel**. Au terme de ce processus, un être de l'univers, dont l'existence est présumée, subit une modification plus au moins importante de son état.
- Disparition d'un être : processus dynamique qui évolue dans un cadre **temporel**. Au terme de ce processus, un être de l'univers disparaît, totalement ou partiellement, définitivement ou provisoirement.
- Apparition d'un être : processus dynamique qui évolue dans un cadre **temporel**. Au terme de ce processus, un être de l'univers apparaît.
- Absence de changement : processus qui **n'évolue pas**. Au terme de ce processus, la situation événementielle et les actants restent identiques à eux-mêmes.

(Charaudeau, 1992)

### 2.2.2. Structures verbales et existentielles

Dans certaines langues le verbe est une catégorie morphologique dont certaines des vocations sont d'exprimer un processus, qu'il s'agisse d'actions ou de faits.

#### Définition du verbe

Le verbe se reconnaît par ses variations de forme et par les oppositions grammaticales qu'elles dénotent, ainsi que par son rôle dans sa structuration de la phrase. Nous pouvons le définir Morphologiquement, d'un point de vue syntaxique, ou d'un point de vue sémantique. C'est ce dernier point de vue qui intéresse ce travail, en effet la tradition grammaticale oppose le verbe au nom en se fondant sur le découpage du réel : les substances (statiques) sont dénotées par les noms ou substantifs, alors que les phénomènes (dynamiques) sont signifiés par les verbes. (Riegel et *all*, 1994)

Exemples de substances (noms ou substantifs) : atomes, molécules, doublets, ...

Exemples de phénomènes (verbes) : attaquer, capter, se fixer,...

Une définition uniquement notionnelle ne permet pas de délimiter strictement la catégorie du verbe. Ainsi des noms comme attaque, départ, migration peuvent signifier une action et des adjectifs comme stable, nucléophile, peuvent exprimer un état. Un grand nombre de verbes et de noms possède le même radical (nage, neige, cire, borne, marche,...) ou un radical partiellement identique (trépas / trépasser, course / courir, etc.). Ce sont alors la distribution (déterminant + nom ou sujet + verbe) et la morphologie qui permettent d'identifier le nom ou le verbe. Pour éviter toute équivoque, nous employons le terme de procès pour caractériser le sémantisme propre à la catégorie verbale, que le

verbe exprime une action, un état ou toute autre notion (Rigual et *all*, 1994).

### Structures verbales

Dans cette étude sont regroupés les verbes des trois catégories qui évoluent dans un cadre temporel de Charaudeau (1992) en verbes de transformation et de changement d'état, ce qui conduit à considérer trois catégories de verbes : Les verbes exprimant un processus qui évolue dans un cadre spatio-temporel, appelés « **verbes de mouvement** », puisqu'ils expriment un changement de position. Les verbes dont le processus évolue dans un cadre temporel sont appelés « **verbes de transformation et de changement d'état** ». Les verbes révélant d'un processus qui n'évolue pas sont appelés « **verbes d'état** ».

Ces trois types de verbes sont employés pour la description d'un mécanisme en chimie organique. Dans ce qui suit des exemples de chaque type de verbes pouvant être entendu de la part des chimistes seront présentés.

#### · Verbes de mouvement

Pour décrire le déplacement des objets, des verbes de type : partir, aller, venir, se déplacer, ... sont des verbes reconnus comme décrivant le mouvement. Mais d'autres verbes tel que : attaquer, se rabattre, capter, réagir, ... peuvent être utilisés

Exemple de production d'étudiant :

- "on voit ici c'est un bon nucléophile il **part** facilement" (E11, C.G.)
- "le doublet de la double liaison du carbonyle **se rabat** sur l'oxygène" (E3, C.R.)

Le mouvement peut s'exprimer soit au présent (voir exemples précédents) soit au futur proche avec la forme aller suivi d'un verbe de mouvement ou non, exemples : aller se fixer, aller attaquer, aller se mettre, ...

- Exemple de production d'étudiant : « l'atome d'oxygène donc initialement issu du carbonyle **va capter** le proton donc de l'alcool nucléophile » (E'2, C.A.)

D'autres prépositions peuvent être aussi utilisés de type "**Verbe + infinitif**" c'est ce que les linguistes appellent : Périphrases verbales, avec la forme : Venir suivie d'un verbe de mouvement ou non ; exemple : venir attaquer, venir se fixer, venir se placer, ...

- Exemple de production d'étudiant : « donc cet oxygène **vient attaquer** le carbone électrophile » (E4, M.R.)

Parfois la tournure « **aller + venir + verbe à l'infinitif** » (deux verbes suivis d'un verbe de mouvement ou non) est utilisée :

- Exemple de production d'étudiant : « on a le proton  $H^+$  donc le catalyseur **va venir se fixer** sur l'oxygène du groupement carbonyle » (E4, M.R.)

- Verbes exprimant la transformation et le changement d'état

Pour décrire le changement d'état des entités (objets ou leurs représentations symboliques), les verbes de types : être, paraître, devenir, ... et d'autres de types : se casser, accentuer, perdre, ... peuvent être employés.

Exemples de production d'étudiant :

- « avec rabattement de la double liaison sur l'oxygène qui **redevient neutre** » (E9, N.P.)
- « une molécule d'acétone plus une molécule d'éthane diol **donne** un acétal cyclique et de l'eau » (E'12, J.J.)

Le changement d'état peut être exprimé à l'aide du **Temps** :

- le **futur proche** (Aller + infinitif),
- Exemple de production d'étudiant : « ce carbocation **va** alors **subir** une attaque nucléophile de l'autre atome d'oxygène du diol » (E'8, E.M.)
- le passé composé
- Exemple de production d'étudiant : « avec une charge positive sur l'oxygène puisqu'il **a donné** un doublet non liant » (E6, C.P.)

Le changement d'état peut être exprimé par la **Voix passive**. Deux cas sont possibles :

- La voix passive
- Exemple de production d'étudiant : « le caractère électrophile du carbone de cette cétone **est exalté** » (E4, M.R.)
- Des verbes pronominaux : "**Agent + verbe pronominal**",
- Exemple de production d'étudiant : « on a attaque de ce carbocation tertiaire par le doublet de l'oxygène qui donc **se charge** positivement » (E3, septembre 2001)

Parfois le changement d'état est exprimé par le **temps** (futur) et la **voix** (passive),

Exemple de production d'étudiant :

- « l'oxygène étant nucléophile il **va** donc **être activé** par un proton  $H^+$  » (E'4, M.R.),
- « l'intérêt d'utiliser du diéthylène glycol en fait que leur action elle **va être favorisée** entropiquement par rapport à ... » (E'5, O.M.)

Si la structure de la phrase est sous la forme : "**Agent + Verbe + Patient**" (habituellement : Sujet + Verbe + Complément), trois cas sont envisageables :

- Le patient change d'état (ce qui est habituel)
- Exemple de production d'étudiant : "... **l'acide** qui **va** donc **exalter** l'électrophilie de la **fonction carbonyle** ..." (E'5, O.M.), ici l'agent est l'acide et le patient est la fonction carbonyle, et c'est le patient qui a changé d'état.

- L'agent change d'état (original),
- Exemple de production d'étudiant : "*on va à nouveau activer un atome de **carbone** ici électrophile qui **va subir** l'attaque d'un **doublet** de l'oxygène donc de l'autre fonction hydroxyle du diol*" (E'2, C.A.), ici l'agent est le carbone et le patient est le doublet, et c'est l'agent qui s'est transformé.
- L'agent et le patient changent d'état,
- Exemple de production d'étudiant : "*le doublet non liant du groupe OH qui va se créer une nouvelle liaison en donnant son doublet d'électrons...*" (E5, O.M.), l'agent est le doublet et le patient est le nouvelle liaison, dans ce cas les deux se transforment et changent d'état.

- Verbes précisant (ou qualifiant) un état

Pour décrire l'état d'un objet (ou d'une représentation symbolique d'un objet), d'une entité chimique, d'un événement, ... des verbes d'état de type : être, posséder, s'appeler,... et d'autres de type : respecter, se comporter, manquer,... sont employés.

Exemples de production d'étudiant :

- « *cette réaction **sert** souvent on voit bien qu'elle **est** inversable donc elle **sert** à protéger les cétones des oxydations* » (E7)
- « *... avec déplacement de la double liaison qui va nous redonner donc OH notre oxygène qui **respecte** la règle de l'octet* » (E'6)

- Verbes appartenant à plus qu'une catégorie

Certains verbes peuvent appartenir à plus qu'une catégorie, ils sont employés dans des structures verbales différentes par exemple le verbe retrouver sera catégorisé comme un verbe de mouvement dans : « *une fois qu'on est arrivé à cette étape là donc a molécule on la **retrouve** là* » (E2) et dans une catégorie transformation et changement d'état dans : « *on va **retrouver** un oxygène avec ces doublets non liants* » (E6) (voir 2.2.2)

## Structures existentielles

- On a

Le pronom **on** est un pronom indéfini renvoyant à une personne ou à un ensemble de personnes d'extension variable, que le locuteur ne peut ou ne veut pas identifier de façon plus précise (Riegel et *all*, 1994).

Exemple de production d'étudiant : "***on a** une perte d'eau*" (E7). Cette indétermination rend ce pronom apte à fonctionner comme substitut de tous les autres pronoms personnels en rejetant leur référent dans l'anonymat.

Cette structure peut s'employer au futur : "**On va avoir**",

Exemple de production d'étudiant : "***on va avoir** les différentes étapes qui*



*permettent d'arriver à la formation de cet acétal* " (E'1,)

Ou bien au conditionnel : "**on aurait**",

Exemple de production d'étudiant : "**on aurait** par exemple une réaction d'hydrolyse" (E5,)

· Il y a

Le pronom **il** sert à désigner n'importe quel objet de pensée, mais lorsqu'il désigne une personne, celle-ci est généralement une « non-personne » (Riegel et *all*, 1994). Il impersonnel présente les propriétés de position caractéristiques de la fonction sujet, mais est dépourvu de la contrepartie référentielle associée aux sujets canoniques. Le **il** impersonnel fonctionne comme « *une forme postiche* » (un pur régisseur verbal, référentiellement vide) destinée à occuper la place canonique du sujet non pourvue ou devenue vacante (Riegel et *all*, 1994).

Le pronom **il** (**Il** neige) fonctionne comme une marque morphologique de la construction impersonnelle et non comme un véritable pronom. Il faut distinguer ordinairement les verbes toujours impersonnels de ceux qui admettent des constructions impersonnelles. La classe des verbes toujours impersonnels comprend les verbes météorologiques (pleuvoir, neiger, geler, bruiner, etc.), le verbe falloir (**Il** faut essayer), les locutions verbales **il y a**, **il s'agit de**, **il est question de**, etc., ainsi que les verbes être et faire dans des emplois du type **Il** est tard, **Il** se fait tard, **Il** fait beau. Par ailleurs, un certain nombre de verbes peuvent être construits impersonnellement (**Il** s'est vendu un grand nombre d'exemplaires de ce livre).

**Il y a** est un présentatif (voici, voilà) suivi d'un groupe nominal (Riegel et *all*, 1994),

Exemple de production d'étudiant : « **il y a** tout d'abord une attaque nucléophile » (E1).

## 2.3. Code-switching

---

### 2.3.1. Définitions

- Code-switching : selon Jamoussi (1986) le code-switching, traduit de façon assez satisfaisante par "permutation de code", est un comportement verbal, délibéré, un processus linguistique qui consiste en une alternance d'éléments simples et / ou composé appartenant à une même langue et / ou à deux langues ou plus.
- Code-base et Code-source : le code-base est la langue de départ du discours dans laquelle viennent s'intégrer des éléments pris dans d'autres langues ou codes sources. Un code-base peut être soit le code dominant d'un locuteur, soit celui exigé par la situation du discours (Jamoussi, 1986).

### 2.3.2. Catégories du Code-Switching

Le code-switching fait essentiellement appel à trois mécanismes (Jamoussi, 1986) :

---

en vertu de la loi du droit d'auteur.

- L'emprunt d'éléments linguistiques isolés (borrowing) prélevés d'un code-source et utilisés dans leurs formes originelles dans un code-base.

Exemples de phrases extraites de données d'étudiants tunisiens de 1er cycle universitaire lors de résolution d'exercices de chimie organique :

- « **bahi chnia** la différence **bin lula wel thania** (?) » (d'accord quelle est la différence entre la première et la deuxième (?)) (Ex. 1, série 1, tour de parole 9)
- « **ma<sup>C</sup> neha famma effet inductif linna** » (ça veut dire qu'il y a un effet inductif ici) (Ex. 1, série 1, tour de parole 10)
- « **ya<sup>C</sup> ni hna<sup>C</sup> anna carbocation hadhaya ach bach ya<sup>C</sup> mel** (?) » (ça veut dire ici ce carbocation là qu'est-ce qu'il va faire) (?) (Ex. 1, série 1, tour de parole 11)

Dans ces exemples, le code-base est l'arabe tunisien, le code-source est le français. Les éléments empruntés peuvent avoir un équivalent dans le langage naturel de la langue d'origine (la différence), ou pas (effet inductif et carbocation).

- L'emprunt d'éléments qui ne sont pas nécessairement isolés, insérés dans la structure du code-base. Ce type de mécanisme est connu sous le nom de « code-mixing » ou « mélange de code ». La différence avec le premier mécanisme réside dans le fait que la relation syntagmatique des éléments linguistiques se trouve changée.

Exemples de phrases extraites de données d'étudiants tunisiens du 1er cycle universitaire lors de résolution d'exercices de chimie organique :

- « **ynajjmu ykunu diastérisomères deux isomères** » (deux isomères peuvent être des diastérisomères) (Ex. 1, série 2, 43)
- « **ki el -carbone l'azote** » (l'azote est comme le carbone) (Ex.2, série 1, 12)

Dans ces exemples, la structure de la phrase change lorsque sont traduits les éléments empruntés. En effet ces emprunts ne suivent pas l'ordre requis par une structure française qui aurait déplacé les équivalents « peuvent être » et « comme » et les aurait mis entre « deux isomères » et « diastérisomères » pour le 1<sup>er</sup> exemple et entre « l'azote » et « le carbone » dans le 2<sup>ème</sup> exemple. Cela implique que les éléments empruntés suivent une autre loi.

- Emprunt d'éléments syntaxiques majeurs tels que phrases, propositions ou grands textes de discours. Ce type de mécanisme est connu sous le nom de « code-changing » ou changement de code.

Exemple de phrase extraite de données d'étudiants tunisiens de 1er cycle universitaire lors de résolution d'exercices de chimie organique :

- « **ya<sup>C</sup> ni il manque un électron lil -carbone hadhaya bach twalli hna double liaison ...** » (ça veut dire il manque un électron à ce carbone là pour avoir une double liaison

ici) (Ex. 1, série 1, 21)

Cette permutation porte une longue séquence où la rupture se produit à des niveaux divers.

### 2.3.3. Origines du Code-Switching

L'alternance des éléments linguistiques est amorcée par des facteurs déclenchants. Ces facteurs sont linguistiques, sociologiques et psychologiques (Jamoussi, 1986).

- Parmi les facteurs linguistiques il y a notamment des facteurs sémantiques qui correspondent à des cases vides dans un code donné.

Exemple de production d'étudiant : « *flèche bach yokhroj min cycle* » (la flèche part du cycle) (Ex. 1, Série 1, 17).

Les mots « *flèche* » et « *cycle* » dans cet exemple n'ont pas d'équivalents dans le code-base utilisé : l'arabe tunisien, ils ont alors été empruntés à un code-source : le français.

- Les facteurs linguistiques sont également syntaxiques. Par exemple dans la phrase : « *je suis hungry* », le recours à l'anglais permet d'éviter une malformation structurelle telle que « je suis faim » que la grammaire du français n'accepterait pas.

Les facteurs linguistiques sont également liés à la fréquence d'un élément de code que, par économie, le locuteur choisit d'utiliser plutôt que l'équivalent existant dans son code :

Exemple de production d'étudiant : « *'alqarara:t to'khadh bil -consensus* » (les décisions sont prises par consensus) où « consensus » aurait pu être remplacé par son équivalent arabe : « *'ijma: <sup>C</sup>* » dont la fréquence d'emploi dans le milieu concerné est peut-être moindre, et qui risquerait d'être incompris dans la situation où le locuteur se trouvait.

- Les facteurs sociologiques sont étroitement liés aux diverses situations et aux variables qui les définissent. Ces variables sont le local, le sujet traité, le locuteur, l'allocutaire, leurs rôles respectifs, aussi bien que leurs statuts et les codes dont ils disposent ainsi que le degré de formalisme des situations (formelle, informelle et semi-formelle).

Les facteurs sociologiques sont largement décrits dans la littérature internationale : (Fishman, 1965 et 1971 ; Gumperz, 1971 ; Hymes, 1967).

- Les facteurs psychologiques, inhérents au locuteur, sont les plus difficiles à cerner, car il n'est pas toujours aisé de comprendre pour quelle raison un même locuteur, dans une même situation utilise un code et que, dans la même situation et dans le même discours, il permute ses codes.

L'état psychologique, sinon physique parfois, joue un rôle assez important dans le code-switching. Le degré de fatigue, la colère, le degré d'engagement dans une

discussion, les sentiments éprouvés dévoilent d'une part le code-base d'un locuteur qui, pour des raisons idéologiques, personnelles ou culturelles, s'acharne, dans une situation donnée, à ne pas l'utiliser ou permettent inversement au locuteur d'acquérir un code pour affirmer une identité qu'il s'est choisie.

Le code-switching peut être utilisé à des fins stratégiques. Un locuteur permute ses codes pour n'être compris que d'un allocataire donné, ou pour éviter qu'un auditeur comprenne un message donné (parents-enfants). Il peut aussi vouloir faire de l'humour et jouer sur certains mots.

Le code-switching peut servir à souligner l'importance d'un message par la répétition en deux codes du même message, comme le montre l'exemple suivant : « *la double liaison entre CH<sub>2</sub> et CH elle est **mkassra** cassée* » (la double liaison entre CH<sub>2</sub> et CH est cassée cassée) (Ex.6, série 2, 6)

### 3. Hypothèses de recherche

- Hypothèse sur l'apprentissage : les étudiants préparant l'agrégation de chimie évoluent entre le début et la fin de leur année de préparation.
- Hypothèse sur le code switching : pour les étudiants bilingues, la langue dans laquelle l'étudiant s'exprime peut renseigner sur les origines des connaissances. Lors de résolution de problèmes de chimie organique, les connaissances exprimées en langue maternelle proviennent de la vie quotidienne et les connaissances exprimées en langue française sont d'origine scolaire et universitaire.

### 4. Questions de recherche

- Question de recherche 1 (QR1) : comment décrire le fonctionnement des étudiants lors de résolutions de problèmes de chimie organique ?
- Question de recherche 2 (QR2) : comment décrire le fonctionnement des étudiants lors de la verbalisation d'un mécanisme (fourni) ?

### 5. Méthodologie

L'objectif de ce travail est la description du fonctionnement des étudiants, leur apprentissage et les difficultés rencontrées lors de la résolution de problèmes de chimie organique ainsi que les types de connaissances mobilisées.

Les connaissances mobilisées sont :

- des connaissances théoriques sur les mécanismes en chimie organique,
- des connaissances sur les conventions de la symbolique de leurs représentations
- et des connaissances langagières permettant de les commenter.

Dans cette étude, ces différentes connaissances doivent être dissociées. La méthodologie adoptée est la suivante :

- les étudiants sont invités à commenter un mécanisme pour nous permettre d'étudier les connaissances langagières. Ceci minimise l'importance des connaissances relatives au mécanisme et celles liées aux représentations, le mécanisme étant fourni.
- les étudiants sont sollicités à représenter un mécanisme de leur choix, pour mettre en jeu les connaissances symboliques et langagières. Ceci minimise ainsi les difficultés liées aux connaissances théoriques de la chimie, le mécanisme étant choisi, l'étudiant représente un mécanisme qu'il maîtrise.
- les étudiants sont invités à résoudre des exercices de chimie organique nécessitant la production, la représentation et la verbalisation de mécanismes, ceci permet de mettre en jeu l'ensemble des connaissances théoriques, symboliques et langagières.

Cette étude a été réalisée à l'aide de deux expérimentations pour deux types d'échantillons choisis en fonction des réponses attendues.

## 5.1. Expérimentation 1

---

Cette expérimentation concerne des étudiants français

### 5.1.1. Objectif de l'expérimentation 1

L'objectif de cette expérimentation est d'apporter des éléments de réponses à la deuxième question de recherche (QR2) : « Comment décrire le fonctionnement des étudiants lors de la verbalisation d'un mécanisme ? ».

Le deuxième objectif est de valider la grille d'analyse (p. 49 - 55) qui doit rendre compte de l'apprentissage et servir à décrire le fonctionnement des étudiants lors de la résolution de problèmes de chimie organique.

### 5.1.2. Description de l'expérimentation

- Echantillon

L'échantillon étudié est constitué de 12 étudiants français (volontaires) préparant l'agrégation de chimie à l'ENS de Lyon. Cet échantillon minimise les difficultés de mise en œuvre de connaissances théoriques et langagières.

- Date

Ces étudiants ont été interrogés au mois de septembre et le mois de mai suivant, en raison de l'apprentissage des mécanismes réactionnels entre le début et la fin de l'année de préparation de l'agrégation de chimie.

- Tâche

Les étudiants sont invités à écrire et commenter un mécanisme. Certaines des questions posées sont les mêmes au mois de septembre et de mai pour permettre d'apprécier l'évolution des connaissances de ces étudiants.

### 5.1.3. Analyse à priori des questions posées aux étudiants

- Septembre 2001

Les quatre tâches suivantes ont été demandées aux étudiants (Annexe F, p. 37) :

- **Tâche 1 (T1)**

***Représenter un mécanisme, en chimie organique, en le commentant comme si vous vous adressiez à un étudiant de DEUG.***

L'analyse de la réponse à cette tâche devrait contribuer à décrire le fonctionnement des étudiants lors de représentations de mécanismes. Le choix du mécanisme est laissé à l'étudiant, permettant ainsi sa maîtrise.

Cette même question est posée en mai pour mesurer l'apprentissage des étudiants entre le début et la fin de l'année.

- **Tâche 2 (T2)**

***Voilà un mécanisme. Lisez-le à haute voix comme si vous vous adressiez à un étudiant de DEUG. Il s'agit du mécanisme de la protection de la propanone avec l'éthylène glycol.***

Cette question doit permettre de décrire le fonctionnement des étudiants lors de la verbalisation de mécanismes. Le mécanisme est fourni aux étudiants, ils n'ont qu'à le verbaliser, sans avoir ni à le produire ni à le représenter.

Afin que l'étude statistique soit représentative, la longueur du mécanisme doit permettre la production d'une quantité et d'une variété de données lors de sa lecture.

Le choix de ce mécanisme est justifié par le fait qu'il soit connu des étudiants préparant l'agrégation de chimie afin que la principale difficulté soit celle de sa verbalisation. Il est précédé d'un bilan permettant aux étudiants d'en avoir une vision globale. Le découpage du mécanisme par étapes devrait structurer l'analyse de la verbalisation des étudiants et ainsi en simplifier cette analyse.

Lors de la représentation des déplacements des doublets d'électrons, il a été tenu compte des trois types de déplacement considérés dans le texte du germe de modèle (paragraphe 7, partie 1, p. 46) :

- transformation d'un doublet libre en doublet liant,
- transformation d'un doublet liant en un autre doublet liant,
- transformation d'un doublet liant en doublet libre.

La représentation des flèches repose sur le principe suivant : pour chaque déplacement la flèche courbe part du doublet dans sa position initiale et va vers sa position finale. Deux cas sont alors possibles :

- si la pointe de la flèche est dirigée entre deux atomes, elle indique l'apparition d'une liaison entre ces atomes (cas de la flèche représentée dans l'étape 1 de T2).
- si elle est dirigée sur un atome, elle implique la création d'un doublet libre sur un atome (cas de l'étape 2 : la flèche qui part de la double liaison vers le O<sup>+</sup>).

Ces règles ont été scrupuleusement respectées, contrairement à la plupart des représentations des mécanismes dans les livres ou au tableau.

Dans la suite de l'entretien, les étudiants sont interrogés sur leur avis sur cette représentation légèrement différente de celle habituellement rencontrée.

Les questions 3 et 4 (annexe F, p. 37) n'ont pas été utilisées dans ces analyses.

- Mai 2002

Les trois tâches suivantes ont été proposées aux étudiants :

- **Tâche 1 (T'1)**

**Représenter un mécanisme, en chimie organique, en le commentant comme si vous vous adressiez à un étudiant de DEUG.**

Cette même question a été posée en septembre (T1), ce qui permettra lors de l'analyse de comparer les étudiants avant (septembre) et après (mai) apprentissage.

- **Tâche 2 (T3)** (Annexe G, p. 41)

**Voilà un mécanisme, vous allez le commenter comme si vous vous adressiez à un étudiant de DEUG. Il s'agit du procédé Wacker (question nouvelle)**

Ce mécanisme (T3) est plus difficile que le mécanisme (T2), il sert à décrire le fonctionnement des étudiants lors de la verbalisation d'un mécanisme lorsqu'ils sont en difficulté. Pour les mêmes raisons, les mêmes conventions d'écriture ont été employées pour T2 et T3.

- **Tâche 3 (T'2)** (Annexe G, p. 42)

**Voilà un mécanisme, vous allez le commenter comme si vous vous adressiez à un étudiant de DEUG. Il s'agit du mécanisme de la réaction de la propanone avec l'éthylène glycol**

Le mécanisme est le même que celui proposé au mois de septembre (T2), et sert à vérifier l'apprentissage entre les mois de septembre et de mai.

#### 5.1.4. Méthode de recueil de données

Lors de l'écriture et de la verbalisation des mécanismes, les étudiants ont été enregistrés (audio) individuellement, puis leurs productions orales ont été transcrites.

#### 5.1.5. Exploitation des données

Les transcriptions des productions orales des étudiants (lors de la verbalisation des mécanismes) ont été analysées selon le cadre didactique (analyse par niveau de savoir) et selon le cadre linguistique (analyse par classification des verbes).

#### Catégorisation par niveaux de savoir

Les transcriptions des étudiants ont été catégorisées selon les sept catégories suivantes (cadre théorique p. 49 – 54) :

- Objet reconstruit, les atomes, les molécules, les liaisons, les électrons etc. (Oxygène, Hydrogène, époxyde, doublet...), les représentations symboliques ( $O$ ,  $H$ ,  $H_2O^+$ , ...) et les formes composées (atome de carbone, le carbone de carbonyle, le doublet d'électrons,...) Lors de la catégorisation, une phrase contenant des objets reconstruits est considérée comme une catégorie, cependant chaque objet n'est pas considéré une catégorie. Les phrases contenant des objets reconstruits et appartenant à une autre catégorie (Propriétés, Théorie,...) ne sont pas prises en compte.
  - Exemple de production d'étudiant : « on a ensuite une réaction de protonation acido-basique intramoléculaire entre l'hydrogène fixé sur l'oxygène qui vient d'attaquer et le groupement hydroxyle issu de l'acétone » (E1, étape 3)
  - Cette phrase ne sera pas considérée dans la catégorie Objet reconstruit bien qu'elle contienne des objets reconstruits (*hydrogène* et *oxygène*), puisqu'elle contient une propriété de l'évènement reconstruit réaction (*réaction de protonation acido-basique intramoléculaire*).
  - Dans cette catégorie, les objets désignés par leurs fonctions tel que : cétone, alcool, éthane-diol, carbonyle, groupement hydroxyle,... ne seront pas prises en compte puisque les noms des fonctions sont du niveau des propriétés.
- Propriétés des objets et des évènements, carbonyle stable,  $H_2O^+$  un bon groupement partant, réaction d'acétalisation, etc. Dans les phrases employées par les étudiants, les propriétés sont soit des adjectifs : *une réaction catalysée*, *une réaction favorisée*, etc. soit des noms de fonctions des objets ou des évènements : *cétone*, *alcool*, *substitution*, *addition*, etc.
- Théorie, dans cette catégorie sont regroupées les phrases argumentatives (la cause, la conséquence et l'effet), les phrases explicatives (réponse à la question pourquoi), les généralisations de propriétés et les justifications théoriques (cadre théorique, p. 51)



- 52).

- Concision, pour chaque étape, la phrase employée au mois de septembre est comparée avec celle employée en mai. La comparaison n'est possible que lorsque les deux phrases ont la même signification, le même sens, avec les mêmes niveaux de savoir mis en jeu. Une phrase est plus concise qu'une autre lorsqu'elle vérifie ces conditions et qu'elle est exprimée en moins de mots.
- Précision, comme pour la concision, deux phrases commentant une même étape sont comparées ; la phrase la plus claire et la plus rigoureuse est la plus précise.
- Indicateur de doute, des phrases contenant des structures qui expriment l'incertitude, l'hésitation, etc. (*ah non c'est pas ça, oui non, ...*)
- Vision globale, un mécanisme est souvent constitué de plusieurs étapes, l'étudiant est considéré globaliser son propos quand celui ci implique des données appartenant à plus d'une étape. La vision globale contient la méta lecture et la vision du passé d'un objet ou d'un événement. Dans cette catégorie, se trouvent des objets et des événements d'une étape en lien avec les objets et les événements (réactions ou mécanismes) d'autres étapes.

### Catégorisation par structures verbales et existentielles

Lors de la verbalisation du mécanisme, **le discours** des étudiants est composé par les phrases produites pour décrire le bilan et les étapes de ce mécanisme. En plus du discours, ils emploient d'autres phrases pour organiser leur commentaire, aider la compréhension de l'auditeur,... : ces phrases supplémentaires constituent le **métadiscours** (Vande Kopple, 1985). Le métadiscours est utilisé pour relier la verbalisation des différentes étapes du mécanisme. Les phrases employées, par les étudiants, pour donner leur point de vue sur le mécanisme, forment le **para discours**. Seul le discours est pris en compte dans nos analyses.

Parfois les étudiants débordent du contexte de la verbalisation du mécanisme pour poser une question, demander une information,... dans ce cas ces extraits ne sont pas pris en compte lors des analyses.

### Verbes pris en compte dans cette catégorisation

Les structures verbales et existentielles utilisées par les étudiants lors de la verbalisation du mécanisme (T2) et (T'2) sont classés en 4 catégories (cadre théorique, p. 57 - 61) :

- **Verbes de mouvement**, *se rabattre, aller, sauter, migrer* etc.
- **Verbes exprimant la transformation et le changement d'état**, *devenir, paraître, disparaître*, etc.
- **Verbes exprimant l'état**, *être, rester* etc.
- **Les existentielles** tel que : *on a* et *il y a*.

Seuls les verbes du discours et appartenant à l'une de ces catégories sont classés.

### Verbes non pris en compte dans cette catégorisation

Les verbes répétés ne sont pas pris en compte ; lorsque l'étudiant emploie un verbe, renonce et emploie un autre verbe, il est comptabilisé une seule fois ; lorsqu'il commence une phrase et ne la termine pas mais dit un verbe, ce dernier n'est pas pris en compte.

Exemples de productions d'étudiants :

- « Le OH est **activé** sous forme de  $H_2O^+$  et ça va être **activé** ainsi **activé** » ( $E_9$ )
- « on **réobtient** on **obtient** une molécule neutre »
- « on va **perdre** l'eau étant un bon groupe partant on va **perdre** la molécule d'eau » ( $E_{10}$ )
- « puis en fait **on recommence** ah non non non on **recommence** pas » ( $E_9$ )

Les structures impersonnelles, il faut, il s'agit, ..., ne seront pas pris en compte

Exemples de productions d'étudiants :

- **Il faut** : « donc ici une autre chose qu'il faut noter c'est que le proton ... » ( $E_9$ )
- **Il s'agit** : « il s'agit d'une réaction d'acétalisation » ( $E_2$ )

verbes non employés pour verbaliser le mécanisme

1.

- **aller** « j'irai plus vite »
- **arriver** « je suis bien arrivée pour faire le début mais pas celle-là voilà » ( $E'_7$ )
- **avoir** « j'ai un peu trop c'est la rentrée » ( $E_5$ )
- **faire** « je ne sais pas ce que j'ai fait faux » ( $E'_7$ )
- **réfléchir** « attend que je réfléchis euh » ( $E_{10}$ )
- **savoir** « je ne sais plus son nom » ( $E_1$ ), « on sait pas ce qui se passe » ( $E'_3$ ), « je ne sais plus le nom de la réaction »  $E_{10}$  / « je ne sais pas ce que j'ai fait faux » ( $E'_7$ )
- **se passer** « ici ce qui se passe... » ( $E'_6$ ) « qu'est-ce qui se passe là (?) »
- **se voir** « donc ça **se voit** mieux à partir de la formule mésomère » ( $E_9$ )
- **voir** « j'ai dû mal voir ce qui se passe », / « parce que là je voyais pas très bien » ( $E_7$ )

Verbes n'exprimant ni mouvement ni transformation et changement d'état ni état

1.

Les verbes qui n'expriment pas le mouvement, l'état, la transformation et de changement d'état ne seront pas pris en considération.

Exemples de productions d'étudiants :

- **Assister** « c'est très important parce qu'on assiste à un phénomène de catalyse acide »  $E_7$
- **comprendre** « on comprend donc facilement que un des doublets de l'oxygène ... »

E'<sub>11</sub>

- **considérer** « on pourrait très bien considérer ce type de mécanisme en considérant la protection de fonction » E'<sub>9</sub>
- **correspondre** « Donc ce mécanisme correspond au mécanisme d'acétalisation » E'<sub>11</sub>
- **dire** « on va donc arriver à euh on peut dire une protection en fait de la fonction cétone » E'<sub>6</sub> « il faut le dire en premier », « comment on dit l'autre fonction alcool de la molécule » E'<sub>10</sub>, « on a dit qu'il y avait une certaine polarité ... » E'<sub>10</sub>
- **écrire** « on peut écrire deux formes mésomères limites » E'<sub>10</sub> / « on peut d'ailleurs écrire une forme mésomère pour ce carbocation » E'<sub>8</sub>
- **entrer en jeu** : « les propriétés nucléophiles donc de notre alcool notre deuxième réactif va entrer en jeu pour donc aller interagir ... » (E'<sub>5</sub>)
- **essayer** « oui moi j'ai essayé la trans elle est plus jolie je suis bien arrivée pour faire le début mais pas celle là voilà »
- **éviter** « on a protégé on dit le carbonyle ici sous forme d'un acétal cyclique ça évite par exemple que au sein d'une même molécule on va protéger un carbonyle ... »
- **faire** « donc ah d'accord on fait comme ça bon enfin normalement on peut passer ... » E'<sub>10</sub>
- **garder** « on garde notre oxygène » E'<sub>6</sub> « pour garder la tétravalence du carbone » (E'<sub>6</sub>)
- **intervenir** « en faisant intervenir le doublet de l'oxygène adjacent puis donc ... » E'<sub>9</sub>
- **observer** « on observe d'abord la protonation du carbonyle au niveau de l'oxygène » E'<sub>9</sub>
- **participer** « l'oxygène du diol en fait va aussi participer donc à la réaction » E'<sub>6</sub>
- **préciser** « d'autre part je tiens à préciser que donc il s'agit le H<sup>+</sup> » E'<sub>9</sub>
- **réaliser** « on réalise d'abord une protonation de la fonction carbonyle » E'<sub>12</sub>
- **représenter** « c'est ce qui est représenté ici » (E'<sub>4</sub>), « on a une forme mésomère qui représenté là » (E'<sub>9</sub>)
- **résumer** « on a résumé en deux étapes » E'<sub>10</sub>

Verbes appartenant au méta-discours

1.

- **arriver** : « on arrive à ce composé » (E'<sub>6</sub>), « on est arrivé à cette étape là » / « pour arriver à l'intermédiaire ici » E'<sub>5</sub>
- **clôturer** « en fin donc pour clôturer le mécanisme » E'<sub>5</sub>
- **commencer** « ça commence par une attaque » E'<sub>7</sub>
- **conduire** « ce qui va conduire toujours après une réaction équilibrée à cette molécule » E'<sub>8</sub>
- **consister** « la première étape consiste en une protonation du groupement

- carbonyle »  $E'_3$
- **décrire** « on peut décrire le mécanisme »  $E_6$
- **détailler** « donc la réaction globale donc située la haut on peut la détailler donc par un mécanisme »  $E_3$
- **être** : « la dernière réaction ça va être le doublet non liant ... » ( $E_6$ )
- **être** : « où est-ce qu'on est on est là (?) »
- **étudier** « on va étudier le mécanisme ... »
- **finir** « et à nouveau pour finir un équilibre acido-basique » ( $E'_4$ )
- **indiquer** « la charge positive sur l'oxygène donc qu'on a indiqué ici »  $E_{12}$
- **oublier** « j'ai oublié de signaler que ... »
- **partir** : « on part d'une cétone ... » / « ça ferait partir d'un  $\text{CH}_3^+$  »  $E'_7$
- **passer** « bon enfin normalement on peut passer par un héli-acétal en ayant ... »
- **prendre** « on prend le carbone le plus électrophile que précédemment »
- **recommencer** : « là on recommence comme précédemment » ( $E_9$ )
- **répéter** « ce mécanisme est répété une seconde fois avec la deuxième fonction alcool »  $E_4$
- **s'intéresser** « ici on va s'intéresser à la protection d'un aldéhyde d'une cétone enfin... »  $E'_9$
- **traduire** « le mécanisme traduit la protection d'un diol par acétalisation »  $E_4$
- **utiliser** « l'intérêt d'utiliser du diéthylène glycol en fait que leur action... »  $E'_5$
- **venir** « et puis il vient le départ puis le départ de  $\text{H}^+$  ... »  $E'_9$

Verbes appartenant au para discours

1.

- **connaître** « je le connaissais pas sous cette forme ce mécanisme »  $E_7$  / « je le connais pas c'est pas ce mécanisme qui est sous cette forme là »  $E_7$
- **croire** « pour ça je croyais que c'était une réaction donc avec une forme stabilisée de carbocation »  $E'_7$
- **écrire** « il n'est pas très bien écrit ce mécanisme »  $E_6$
- **écrire** « normalement on peut écrire une autre relation » ( $E_9$ ) / « ce qui est encore plus probable »  $E_7$  / « mais ce qui est important c'est surtout l'aspect inversable de toutes les réactions »  $E_7$
- **expliquer** « ce que j'ai expliqué c'est l'oxygène qui peut donner son doublet »  $E_{11}$
- **faire** « formation d'un intermédiaire carbocationique qui sera orange de la manière ce que j'ai pas fait tout à l'heure »  $E'_7$
- **gêner** « ça ferait partir d'un  $\text{CH}_3^+$  et c'est ça qui me gêne »  $E'_7$
- **interpréter** « on va voir que on peut interpréter donc le mécanisme de l'acétalisation »  $E'_{10}$

- **manquer** : « ici il manque les parenthèses » ( $E'_{10}$ )
- **mettre** « ça c'est des mésomères donc il manque enfin oui mais j'ai dû mettre les crochets »  $E'_7$
- **noter** « ce qui est intéressant de noter c'est ... »
- **parler** « la réaction dont je parlais c'est l'acétalisation »
- **perturber** « ça m'a perturbé voilà »  $E'_7$
- **remarquer** « on peut remarquer aussi que c'est une façon de ... »  $E'_{11}$
- **représenter** « c'est le mécanisme celui que j'ai représenté l'instant »  $E'_5$
- **s'apercevoir** « on s'aperçoit en fait que le carbone du carbonyle est ... »
- **servir** « on a une libération du proton qui a servi au départ à catalyser la réaction »  $E_2$
- **voir** « on a déjà vu la réactivité du carbonyle »  $E'_{10}$  « on va former donc l'acétal cyclique qu'on avait vu dans le bilan précédent »  $E'_{11}$  / « comme on l'a vu ce carbocation là va être d'autant plus électrophile que l'oxygène va capter ... »  $E_7$  / « on peut voir aussi cela comme la protection du diol... »  $E'_4$

## 5.2. Expérimentation 2

Cette expérimentation concerne les étudiants tunisiens

L'objectif de cette expérimentation est de répondre à la première question de recherche QR1 : QR1 : « décrire le fonctionnement des étudiants lors de résolutions de problèmes de chimie organique »

### 5.2.1. Objectif de l'expérimentation

L'objectif est de vérifier :

- si les grilles d'analyse didactique (niveaux de savoir) et linguistique (classification des verbes) établies dans le cadre de la simple lecture d'un mécanisme, sont applicables dans le cadre de la résolution d'exercices de chimie organique.
- si ces grilles qui ont servi à décrire l'évolution des étudiants préparant l'agrégation de chimie entre le début et la fin de leur année de préparation, seront efficaces pour décrire l'apprentissage d'étudiants en début d'enseignement des mécanismes réactionnels.

### 5.2.2. Description de l'expérimentation

- échantillon

L'échantillon est constitué d'étudiants du premier cycle universitaire de la Faculté des Sciences de Monastir (Tunisie). Ce choix est effectué en raison du programme

d'enseignement : les mécanismes réactionnels sont introduits pour la première fois en chimie organique.

La langue maternelle de ces étudiants est l'arabe, alors que leur langue d'enseignement, le français, est seconde et étrangère. Lors de l'expérimentation les étudiants switchent l'arabe tunisien et le français. Cette différence avec les étudiants français, sera utilisée, lors des analyses des productions orales des étudiants tunisiens, comme indicateur d'apprentissage ou d'appropriation du savoir.

· Date

L'expérimentation a été entamée dès l'introduction des flèches courbes dans l'enseignement, écriture des formes mésomères. Elle a duré jusqu'à la fin du cours sur les mécanismes réactionnels, dans le but de repérer l'évolution des étudiants au fur et à mesure de leur apprentissage de l'écriture des mécanismes à l'aide des flèches courbes.

· tâche

Le comportement des étudiants a été suivi pendant une série de situations problèmes lors de résolution d'exercices de chimie organique. Nous avons imposé aux étudiants de travailler par binôme, dans des situations hors classe. Mais ces tâches sont en parallèles avec leurs travaux dirigés (TD) et avec leurs cours de chimie organique.

Des tâches collaboratives de type papier crayon sont prévues, au cours desquelles, deux séries d'exercices de chimie organique ont été posées aux étudiants. Une série concerne l'écriture des formes mésomères et l'autre la production des mécanismes et leur écriture à l'aide des flèches courbes. Le choix de ces exercices est justifié ultérieurement. Certains exercices appartiennent à la liste d'exercices donnés par l'enseignant d'autres ont été créés par nous mêmes.

### **5.2.3. Analyse a priori des exercices posés aux étudiants**

L'analyse a priori est structurée par exercice pour lesquels il est donné à chaque fois l'énoncé fourni aux étudiants, le but pédagogique tel que l'enseignant l'envisage, l'intérêt pour cette recherche et la réponse attendue. Ces exercices sont repartis en deux séries, l'une de cinq exercices et l'autre de sept.

#### **Série 1**

Cette série comporte l'écriture des formes mésomères à l'aide des flèches courbes ainsi qu'une initiation à l'écriture des mécanismes réactionnels.

Exercice 1

1.

· Enoncée :

***Comparer la stabilité des deux carbocations suivants :***



- Objectif

L'objectif de l'enseignant est de vérifier si l'étudiant :

- peut utiliser les règles de son cours. La règle nécessaire à la résolution de cet exercice est : «**le carbocation le plus stable est celui qui possède plus de formes mésomères**»
- peut représenter des formes mésomères à l'aide des flèches courbes.

Pour cette recherche, l'objectif est d'atteindre la description par les étudiants des déplacements d'électrons, les états et les modifications des états des entités représentées, en l'absence de réactions chimiques. L'absence de réaction chimique simplifie la résolution de l'exercice.

Les réponses fournies par les étudiants montrent différents états, différents déplacements des électrons,...

- Une réponse à l'exercice

Pour répondre à cet exercice, l'étudiant a besoin de reformuler la question, il doit passer de la comparaison de la stabilité des carbocations qui est demandé dans l'exercice, aux formes mésomères qui représentent ces entités dans différents états. Pour le faire l'étudiant doit utiliser la règle sur la stabilité des carbocations. Afin d'appliquer cette règle, l'étudiant a besoin de représenter les formes mésomères de chaque molécule et de les dénombrer.

#### Formes mésomères du 1<sup>er</sup> carbocation

L'écriture des formes mésomères fait intervenir la conjugaison entre doubles liaisons, simple liaison et charges. Dans cet exercice, la conjugaison fait intervenir des doubles liaisons séparées par de simples liaisons. Dans cette molécule il y a déplacement des doublets du noyau benzénique, (fig. 30).

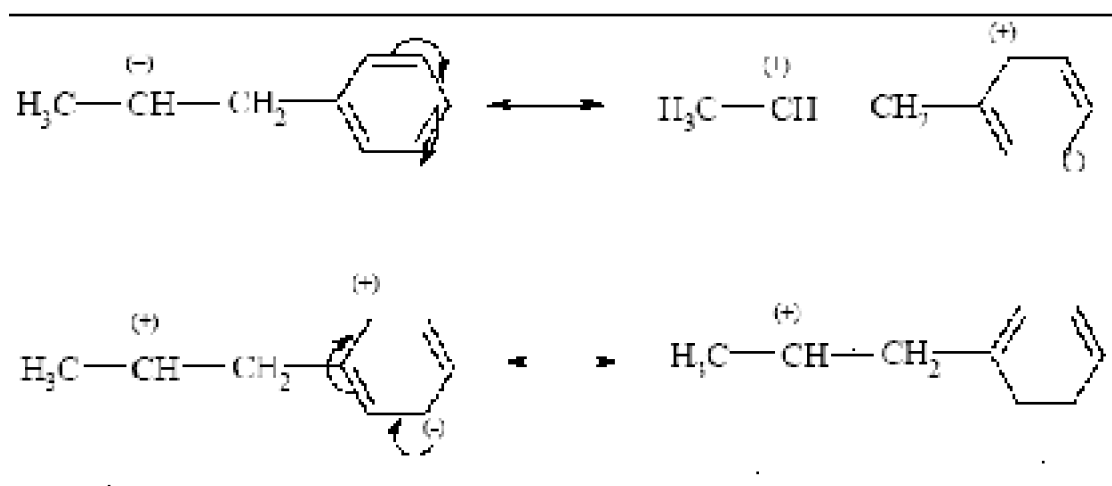


Figure 30

Formes mésomères du 2<sup>ème</sup> carbocation

L'étudiant doit également représenter les formes mésomères de la deuxième molécule (fig. 31). La charge + est conjuguée avec les doubles liaisons du noyau benzénique.

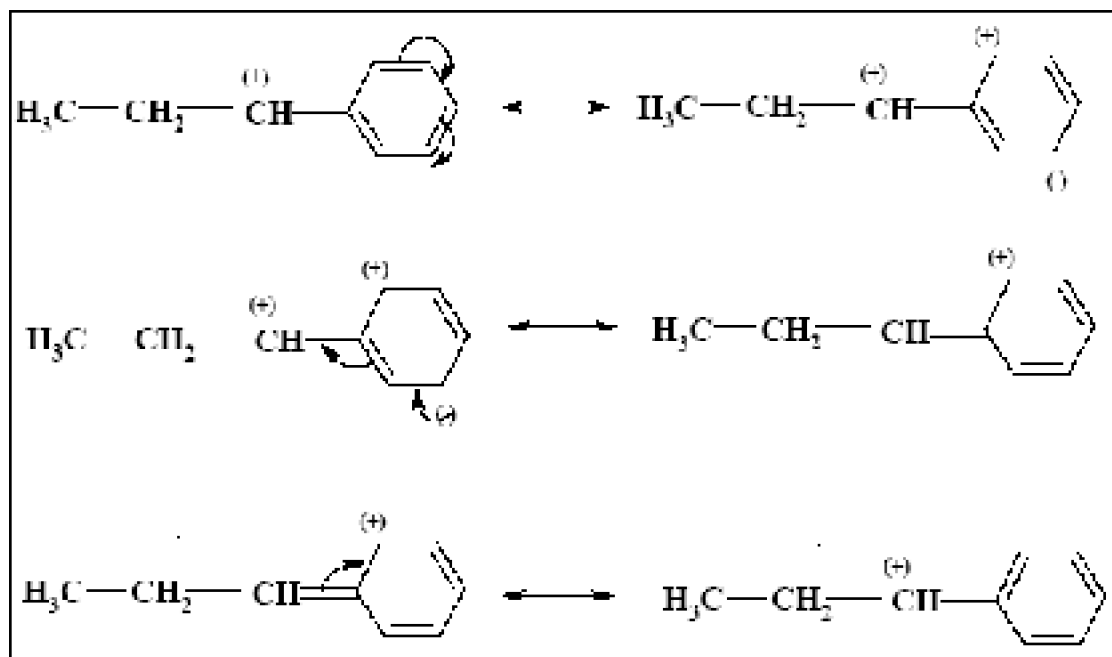


Figure 31

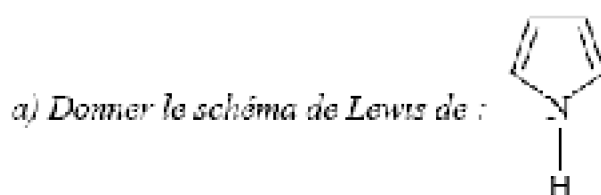
Il est donc possible d'écrire 3 formes mésomères pour le premier carbocation et 4 pour le second qui est donc plus stable en vertu de la règle de stabilité.

Exercice 2

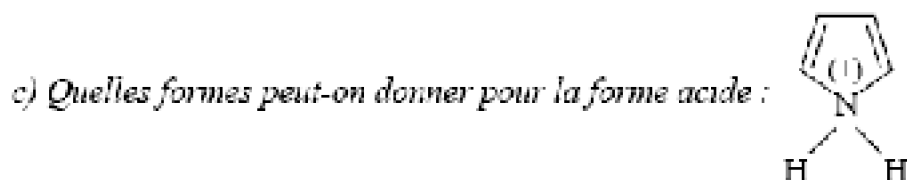
1.

Enoncé





b) En donner quelques formes mésomères.



d) La ou les formes trouvées respectent-elles la règle de l'octet pour l'atome d'azote ?

· Objectif

Pour l'enseignant, l'objectif est de vérifier :

- si l'étudiant maîtrise les modes de liaison de l'azote.
- si l'étudiant est capable de représenter le schéma de Lewis d'une molécule dont un atome possède un doublet non liant. En effet le modèle de Lewis représente la molécule dans un plan où sont placés tous les doublets liants et non liants.
- si l'étudiant peut écrire des formes mésomères dans le cas d'une molécule cyclique contenant un hétéro-atome.
- si l'étudiant connaît la règle de l'octet : « *Au cours de leurs transformations chimiques, les atomes caractérisés par  $Z > 4$  évoluent de manière à saturer leur couche externe (L) ou (M) etc.... Ils acquièrent un "octet" d'électrons c'est-à-dire 8 électrons ou 4 paires d'électrons* ».
- si l'étudiant sait employer cette règle pour l'écriture de formes mésomères.

Dans cet exercice l'étudiant est invité à représenter les formes mésomères de certaines entités. Cette activité va nous permettre d'étudier le comportement des étudiants lors de la description de déplacements d'électrons, des états et des modifications des états des entités qu'ils représentent. En effet certaines formes représentées par les étudiants ne sont pas conformes à la règle de l'octet. Dans la suite de l'exercice, les étudiants sont interrogés sur la conformité des formes mésomères qu'ils ont proposées. L'étudiant doit faire un choix entre les différentes possibilités de déplacements de doublets électroniques en utilisant la règle de l'octet. La question posée est de savoir si l'étudiant peut faire ce choix en utilisant cette règle. L'intérêt de cet exercice, par rapport à l'exercice précédent, est de permettre d'analyser la verbalisation des étudiants lors de l'écriture des formes mésomères quand ils sont en difficulté.

- Une réponse à l'exercice

Réponse à la question a)

Dans le modèle de Lewis, il s'agit de représenter tous les doublets liants et non liants de la molécule. Dans cet exercice, tous les doublets liants sont déjà représentés, sauf le doublet non liant de l'azote et qu'il faut représenter.

D'où le schéma de Lewis de la molécule :



Réponse à la question b)

L'écriture des formes mésomères nécessite la représentation des doublets non liants et des doubles liaisons séparés par des simples liaisons. Dans le cas de cette molécule, il y a une conjugaison entre le doublet non liant de l'azote et les doubles liaisons de l'hétérocycle. Lors de l'écriture des formes mésomères, le doublet libre de l'azote intervient en se déplaçant (fig. 32).

Les formes mésomères de cette molécule sont (fig. 32) :

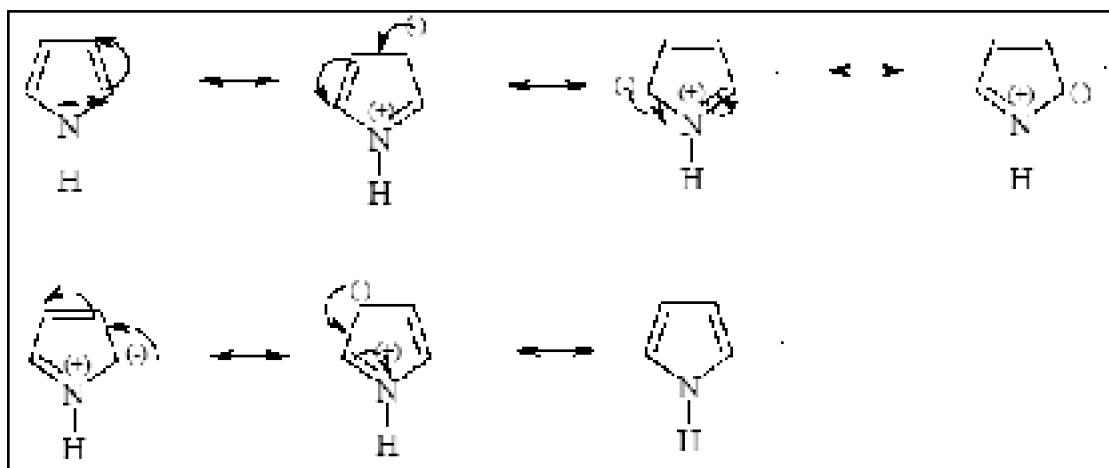


Figure 32

Réponse à la question c)

Pour la forme basique, la charge + portée par l'azote est conjuguée avec les doubles liaisons de l'hétérocycle, donc cette charge + intervient dans l'écriture des formes mésomère (fig. 33).

Les formes mésomères de la forme acide sont (fig. 33) :

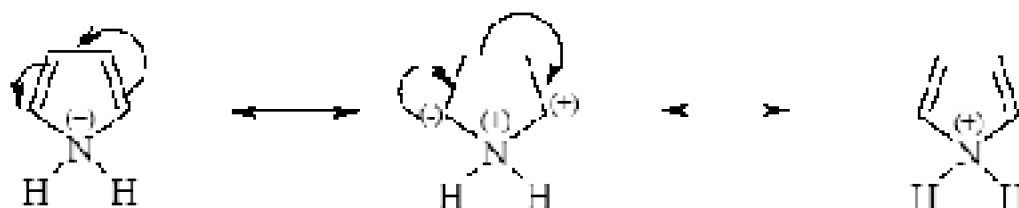


Figure 33

Réponse à la question d)

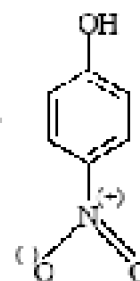
Les formes trouvées respectent la règle de l'octet pour l'atome d'azote.

Les étudiants peuvent se tromper dans la représentation des formes mésomères de la forme acide, en faisant des déplacements qui conduisent à des molécules dans lesquelles l'atome d'azote ne respecte pas la règle de l'octet. Dans la réponse à cette question, ils peuvent se rendre compte et corriger les écritures des formes mésomères ainsi ils peuvent éliminer les formes qui ne respectent pas la règle de l'octet pour l'atome d'azote.

### Exercice 3

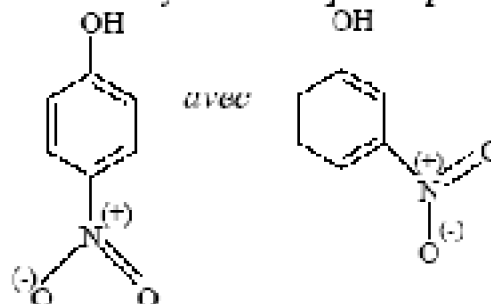
Enoncé :

a) Donner le couple acide / base du *p* nitrophénol :



b) Donner les formes mésomères de la forme basique du *p* nitrophénol.

c) Comparer l'acidité de :



Objectif de l'exercice :

Pour l'enseignant, l'objectif est de vérifier si l'étudiant :

- s'est approprié la règle du cours : « l'acide le plus stable est celui dont la base conjuguée possède plus de formes mésomères »
- est capable d'écrire les formes mésomères dans le cas où l'entité mis en jeu possède : des doublets non liants, des doublets liants, ou des doubles liaisons, des charges positives et négatives qui sont conjugués, ou séparés par de liaisons simples.

Dans ce travail, la résolution de cet exercice nécessitant l'écriture de plusieurs formes mésomères permet de repérer les connaissances mises en jeu par les étudiants lors de la description du mouvement d'électrons, de modification de l'état et l'état des entités représentées.

- Une réponse à l'exercice

Réponse à la question a)

Le couple acide / base du *p*-nitrophénol est (fig. 34)

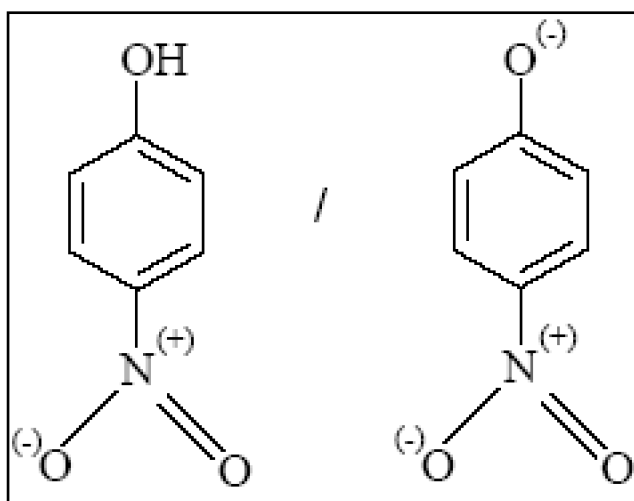


Figure 34

Réponse à la question b)

Les formes mésomères de la forme basique du *p*-nitrophénol (fig. 35) :

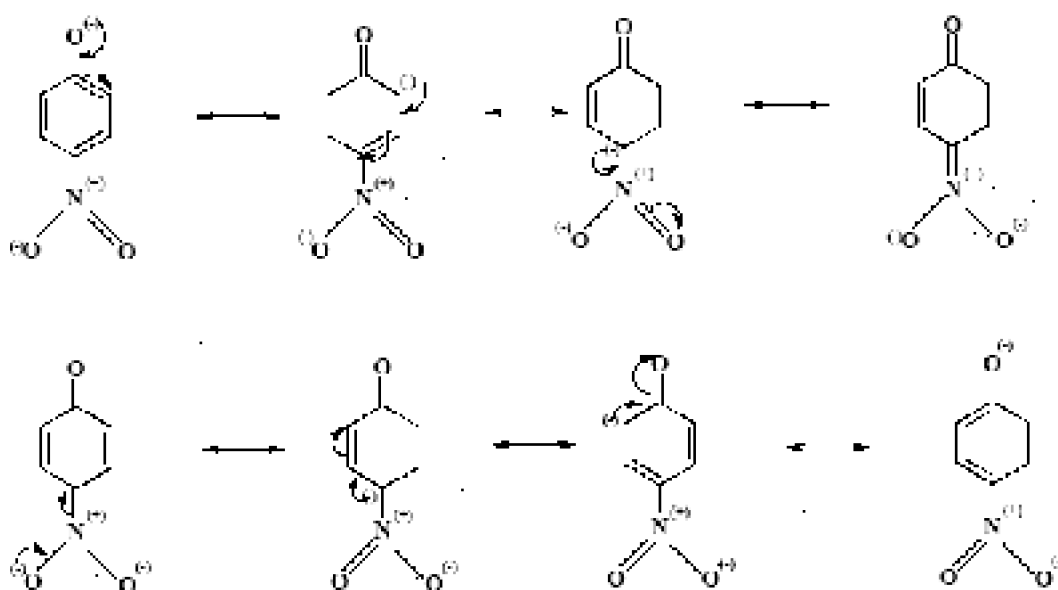
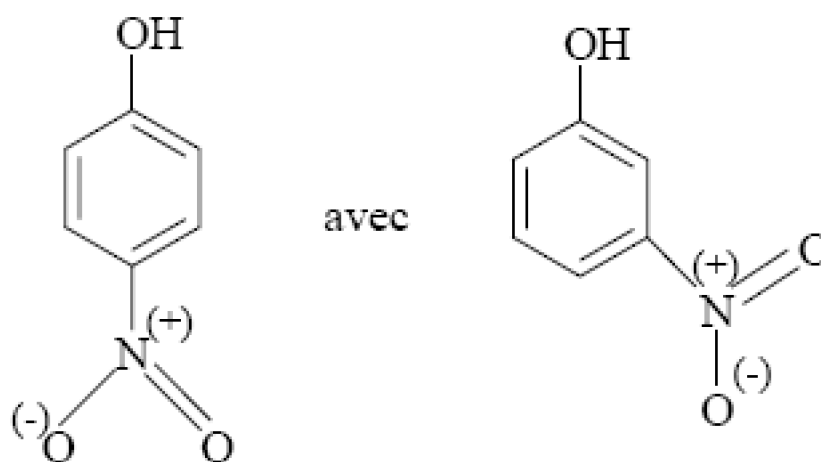


Figure 35

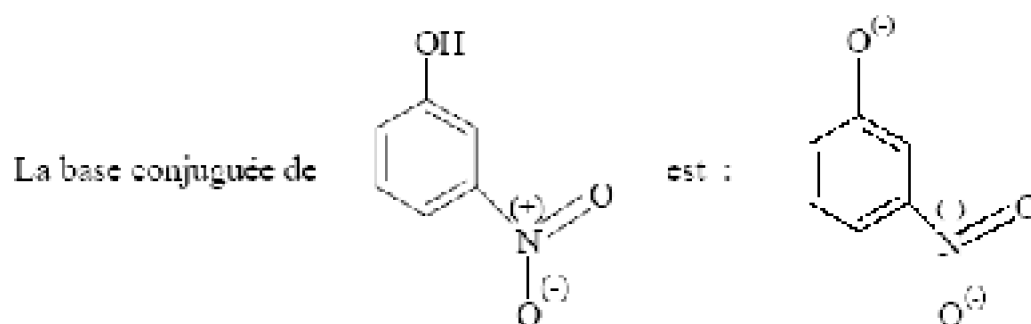
Réponse à la question c)

Comparaison de l'acidité de :



La règle du cours à utiliser pour répondre à cette question : «*l'acide le plus stable est celui dont la base conjuguée admet plus de formes mésomères*».

Il faut donc chercher les formes mésomères des deux bases conjuguées de ces deux acides. Les formes mésomères de la première base conjuguée sont déterminées dans la question précédente, dans ce qui suit les formes mésomères de la base conjuguée du 2ème acide seront déterminées



Formes mésomères de cette base (fig. 36) :

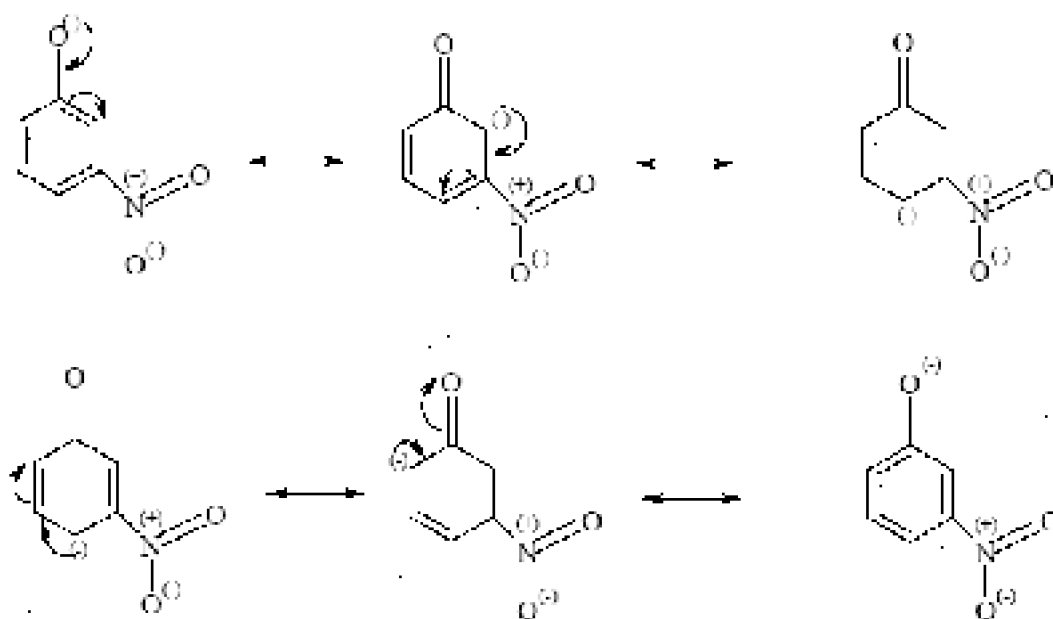


Figure 36

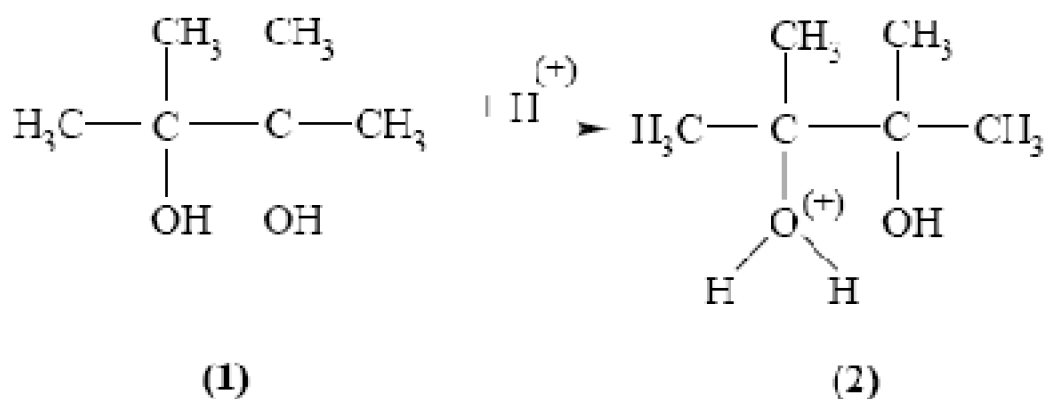
La base conjuguée du premier acide admet 7 formes mésomères, cet acide est plus fort que le deuxième dont la base conjuguée admet 5 formes mésomères

Exercice 4

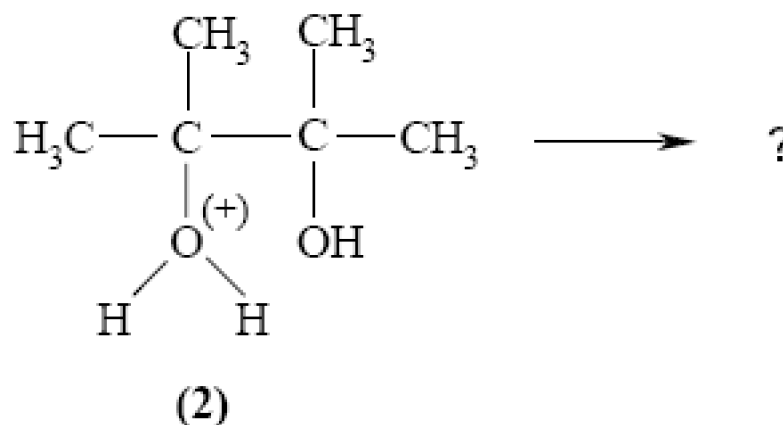
1.

Enoncé

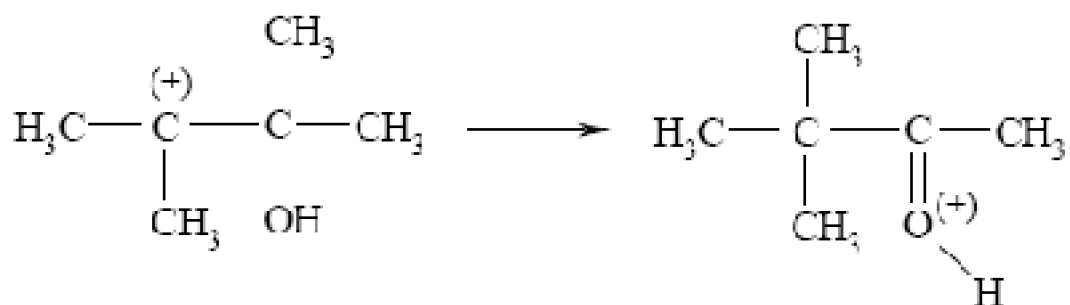
**La réaction du 2,3-diméthylbutan-2,3-diol (1) se déroule en plusieurs étapes. a) La première étape est donnée ci-dessous. Complétez-la en précisant le déplacement des doublets avec des flèches courbes.**



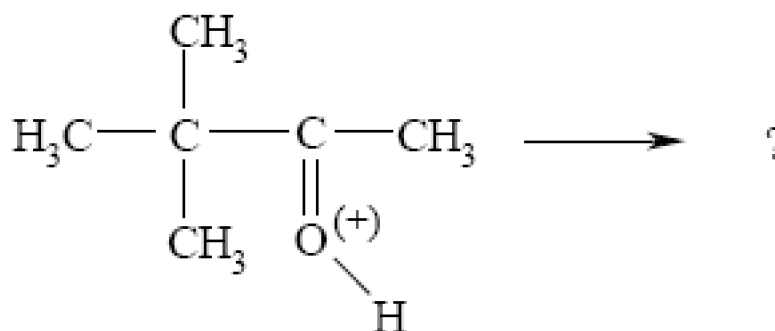
b) Trouver un carbocation (3) résultant de la réaction de (2) :



c) Proposer un mécanisme pour le réarrangement suivant :



d) Qu'obtient-on sachant que le doublet liant se transforme en doublet libre



- Objectif de l'exercice :

Pour l'enseignement cet exercice a pour objectif de familiariser les étudiants à l'utilisation des flèches courbes dans l'écriture des mécanismes réactionnels de cas simples. En Effet le mécanisme est découpé en étapes, pour chaque étape une indication est donnée sur ce mécanisme à l'étudiant, et une question lui est posée. Ces questions sont de difficultés croissantes :

- Question a) Représentation d'une flèche de déplacement d'électrons : dans cette étape le réactif et le produit sont donnés, l'étudiant doit représenter la flèche en précisant le point de départ et le point d'arrivée.
- Question b) Représentation des flèches ainsi que le produit : dans ce cas seul le réactif est donné, mais une information sur le produit est aussi fournie, il s'agit de la formation d'un carbocation, l'étudiant doit prévoir le produit formé ainsi que le mécanisme de formation de ce produit.
- Question c) Représentation des flèches de déplacement d'électron : cette question ressemble à la première (le réactif et le produit sont donnés) sauf que dans cette étape il s'agit d'un réarrangement qui nécessite la représentation de deux flèches courbes.
- Question d) Représentation du produit et de la flèche courbe : seul le produit est donné, mais une indication sur la flèche de déplacement d'électrons est donnée : le doublet liant se transforme en doublet non liant. L'étudiant doit prévoir le produit formé ainsi que le mécanisme qui lui permet d'arriver à ce produit.

Pour cette recherche, cet exercice permet de décrire le fonctionnement des étudiants lors de :

- la représentation de déplacement d'électrons,
- la description de l'état de leurs produits, de leurs réactifs, ...
- la verbalisation des modifications de l'état de leurs entités, dans le cas de l'écriture d'un mécanisme simple dont ils ont des indications, et ils sont guidés pour la prédiction des réactifs ou du type de déplacement pour chaque étape.



Une réponse à l'exercice :

Réponse à la question a)

Pour répondre à cette question, les étudiants doivent utiliser les conventions d'écriture des mécanismes à l'aide des flèches courbes dont l'enseignement est implicite. En effet la flèche doit partir du doublet dans sa position initiale et aller vers la position finale du doublet. Dans ce cas il s'agit de représenter une flèche qui part du doublet de l'oxygène, position initiale du doublet, et qui arrive entre cet oxygène et le proton, position finale du doublet (fig. 37).

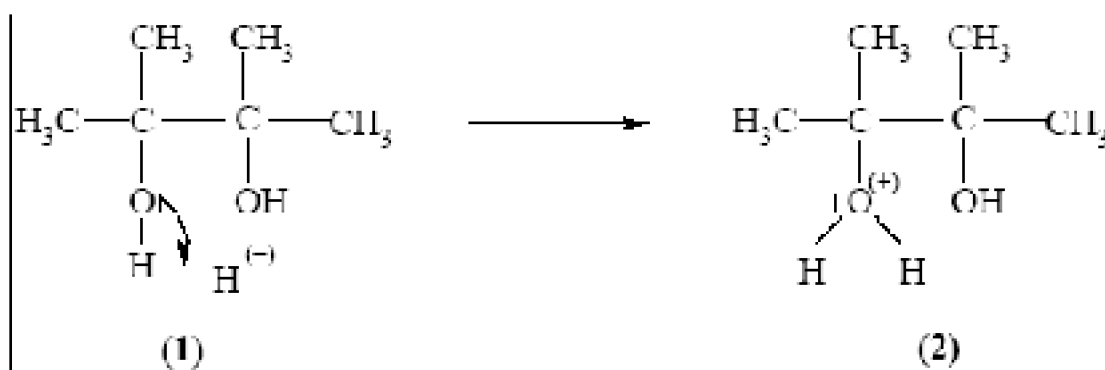


Figure 37

Réponse à la question b)

Pour répondre à cette question les étudiants doivent utiliser une propriété de la molécule  $H_2O$ . Dans leur cours il est mentionné que : «  $H_2O^+$  est un bon groupement partant », par conséquent ce groupement part facilement sous forme d'une molécule d'eau ( $H_2O$ ) et le carbocation (3) obtenu résulte de la molécule (2) selon le mécanisme suivant (fig. 38) :

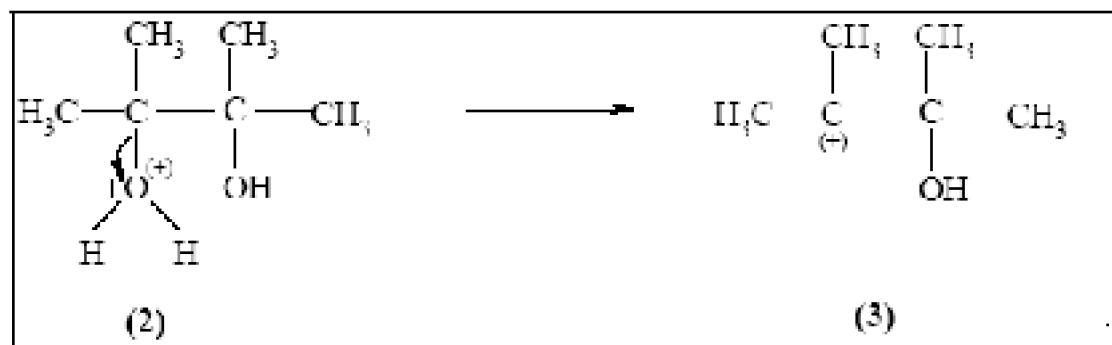


Figure 38

Réponse à la question c)

Pour répondre à cette question les étudiants doivent utiliser une propriété de l'atome d'oxygène reçu dans leur enseignement à savoir « L'oxygène a un effet mésomère donneur », l'oxygène a deux doublets libres l'un peut être partagé avec le carbone voisin. La première flèche de déplacement, part de l'un des doublets de l'oxygène et arrive entre

l'atome d'oxygène et le carbone voisin. Ce dernier va avoir une liaison supplémentaire, par conséquent il ne respecte pas la règle de l'octet. L'étudiant doit utiliser la règle de l'octet : «*Au cours de leurs transformations chimiques, les atomes caractérisés par  $Z > 4$  évoluent de manière à saturer leur couche externe (L) ou (M) etc.... Ils acquièrent un "octet" d'électrons c'est-à-dire 8 électrons ou 4 paires d'électrons*». En même temps que ce déplacement il y aurait un déplacement du doublet qui lie ce carbone avec le  $\text{CH}_3$  sur le carbocation. Le résultat est le réarrangement suivant (fig. 39) :

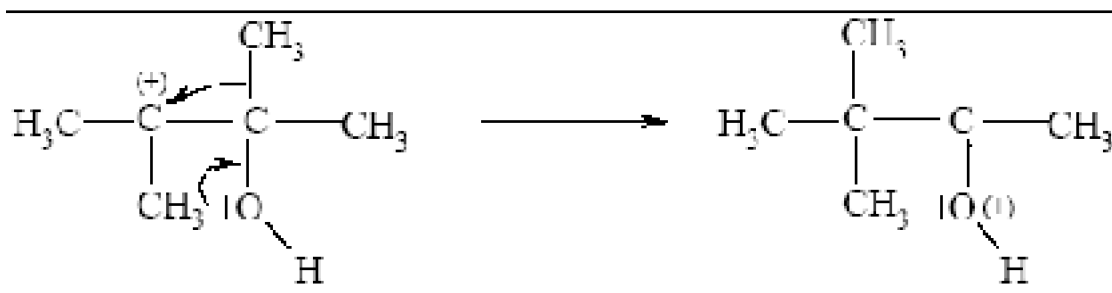


Figure 39

Réponse à la question d)

L'étudiant doit utiliser la propriété électrophile : « les électrophiles ont un effet mésomère attracteur ». Dans cette question, l'oxygène portant une charge positive est un électrophile, il est déficitaire en électrons, puisqu'il a partagé un de ses doublets avec le carbone voisin. Il a tendance à attirer les électrons. L'hydrogène ne portant qu'un seul électron, a tendance à perdre son électron et à se transformer en proton  $\text{H}^+$ . A partir de l'indication donnée dans la question, le doublet liant, entre l'hydrogène et l'oxygène, se transforme en doublet non liant de l'oxygène, ceci donne (fig. 40) :

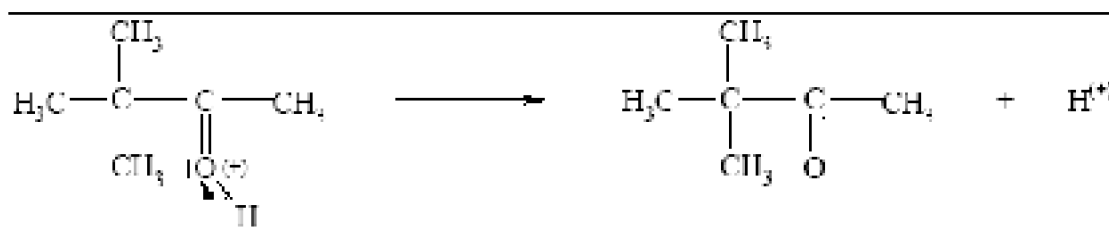


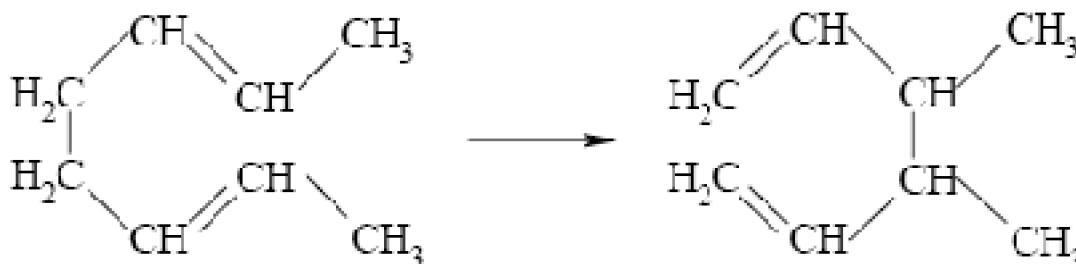
Figure 40

Exercice 5

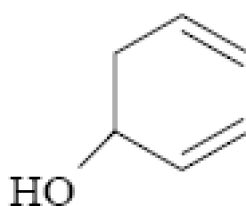
1.

· Enoncé :

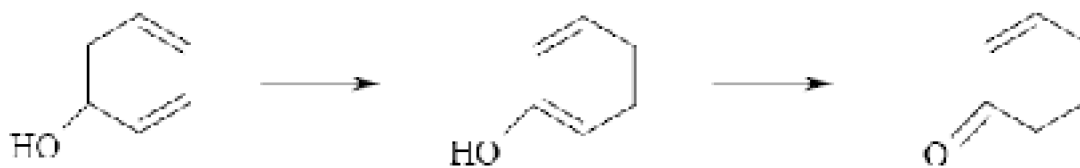
**a) Proposer un mécanisme en une seule étape qui explique le réarrangement ci-dessous :**



**b) Écrire en formule développée, la molécule suivante :**



**c) Proposer un mécanisme qui explique le réarrangement ci-dessous :**



- Objectif de l'exercice

Pour l'enseignant cet exercice a pour objectif d'introduire les mécanismes réactionnels dans des cas où les réactifs et les produits sont donnés :

- mécanisme en une seule étape : représentation des flèches de déplacement d'électrons.
- mécanisme en plusieurs étapes : représentation de plusieurs flèches.

Pour notre recherche, cet exercice a pour objectif de vérifier si l'étudiant peut représenter des flèches de déplacements d'électrons :

- dans le cas d'une seule molécule
- dans le cas de la représentation de plusieurs flèches en une seule étape
- lorsqu'il s'agit de rupture et de création de liaisons mettant en jeu plusieurs type de transformation de flèches (pré expérimentation, germe de modèle, p. 41).
- dans le cas d'un mécanisme à plusieurs étapes nécessitant un réarrangement d'atomes au sein d'une même molécule.

- Une réponse à l'exercice :

Réponse à la question a)

Il s'agit de représenter trois flèches de déplacement d'électrons. Ces trois déplacements se font en une seule étape (fig. 41). Pour représenter ces flèches, les étudiants ont besoin de connaître les conventions d'écriture des mécanismes.

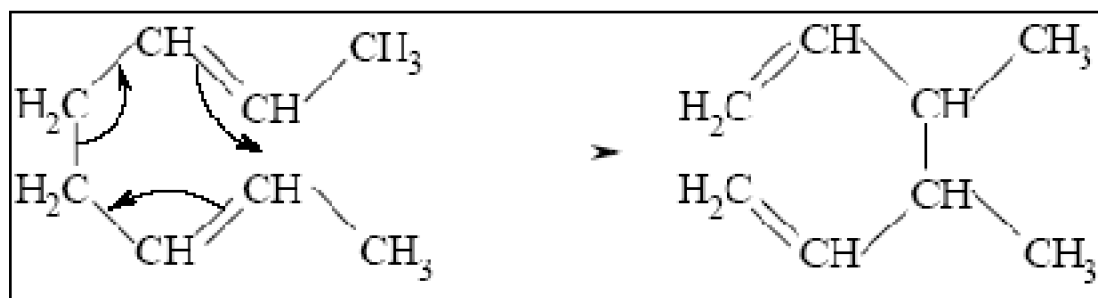


Figure 41

Réponse à la question b)

Dans une formule développée il faut représenter tous les atomes d'hydrogène, la règle de l'octet doit être utilisée pour représenter les atomes d'hydrogène. Cette règle prévoit une tétravalence pour l'atome de carbone :

- quatre liaisons simples
- une liaison double et deux liaisons simples
- deux liaisons doubles
- une liaison triple et une liaison simple.

Dans ce cas, toutes les liaisons carbone-carbone ou carbone hétéro-atome sont représentés, donc il faut décompter le nombre de liaisons de chaque atome de carbone et compléter le nombre de liaisons qui manque avec des liaisons carbone-hydrogène. La molécule obtenue est (fig. 42) :

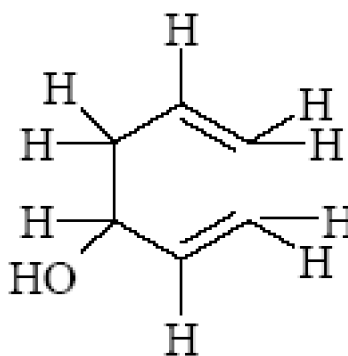


Figure 42

Réponse à la question c)

Pour répondre à cette question, deux indications sont fournies, la première donnée dans la question a) permet de représenter la première étape de ce mécanisme. La deuxième indication se trouve dans la question b) et permet aux étudiants de représenter les liaisons lors de l'écriture de la deuxième étape du mécanisme.

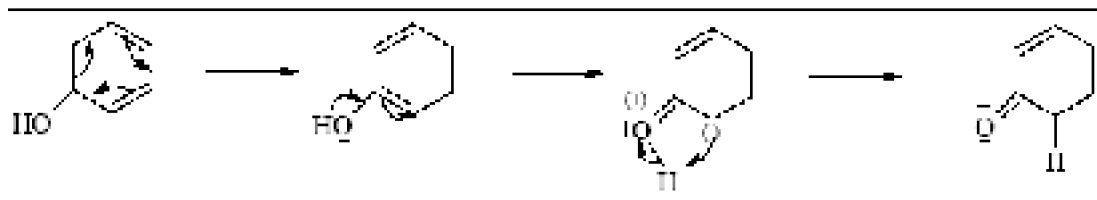
Mécanisme : (fig. 43)

Figure 43

**Série 2**

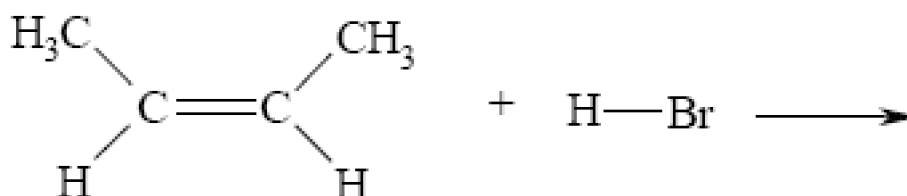
Dans cette série la résolution des exercices nécessite la production de mécanismes réactionnels.

Exercice 1

1.

· Enoncé

**a) Proposer un mécanisme pour l'équation suivante :**



**b) On forme deux isomères du bromobutane : Quels sont-ils ? par quel mécanisme peut-on représenter leur formation ?**

· Une réponse à l'exercice :

Réponse à la question a)

Il s'agit de l'addition d'un halogénure d'hydrogène sur un alcène (fig. 44)

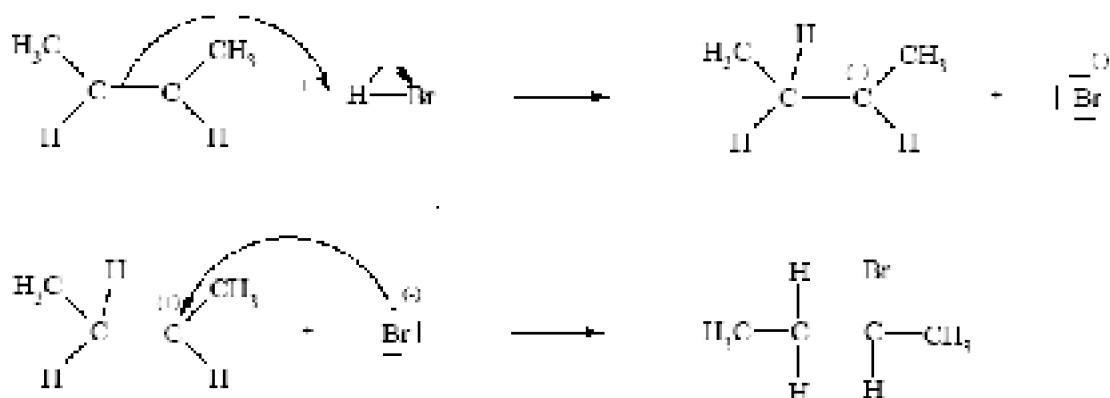


Figure 44

Réponse à la question b)

Lors de la première étape, un carbocation tertiaire est formé, l'addition de  $\text{Br}^-$  sur ce carbocation donne lieu à un carbone asymétrique, deux possibilités d'addition se présentent : les cis et trans-addition (fig. 45) :

Mécanisme de formation des deux isomères

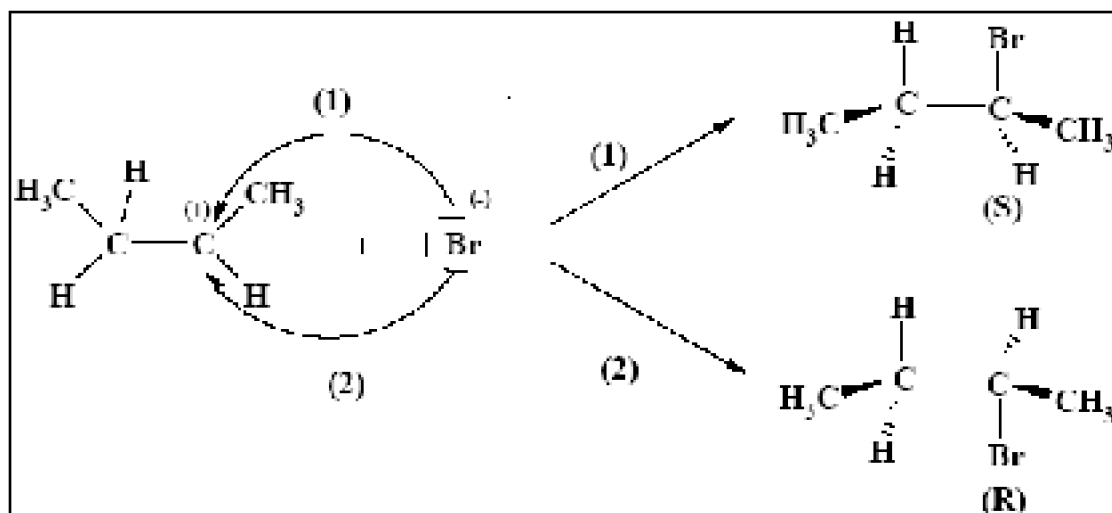


Figure 45

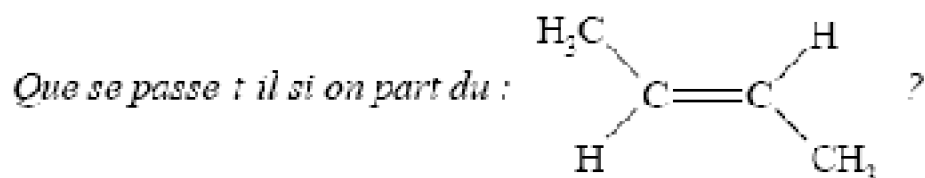
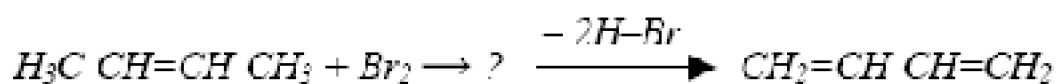
Les deux isomères du bromobutane sont donc S bromobutane et R bromobutane.

Exercice 2

1.

· Enoncé

**Proposer un mécanisme pour la réaction suivante :**



· Une réponse à l'exercice :

– Première équation : addition du  $\text{Br}_2$  sur l'alcène

Il s'agit d'une addition électrophile sur un alcène.  $\text{Br}_2$  est nucléophile, mais à l'approche d'un nucléophile, la double liaison, il apparaît une extrémité électrophile sur la molécule d'halogène. Il s'agit d'une trans-addition, chaque atome de Brome va se fixer de part et d'autre du plan initial de la double liaison (fig. 46).

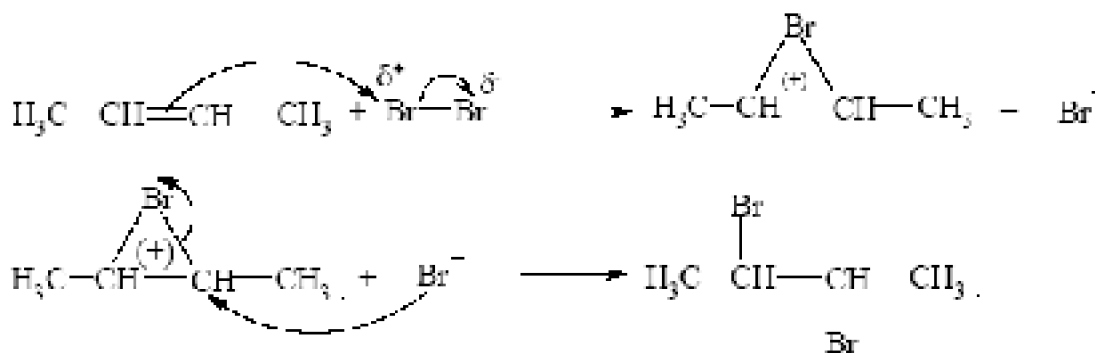


Figure 46

· Deuxième équation : élimination de 2 molécules HBr

Il s'agit d'une trans-élimination ; H et Br sont opposés (fig. 47)

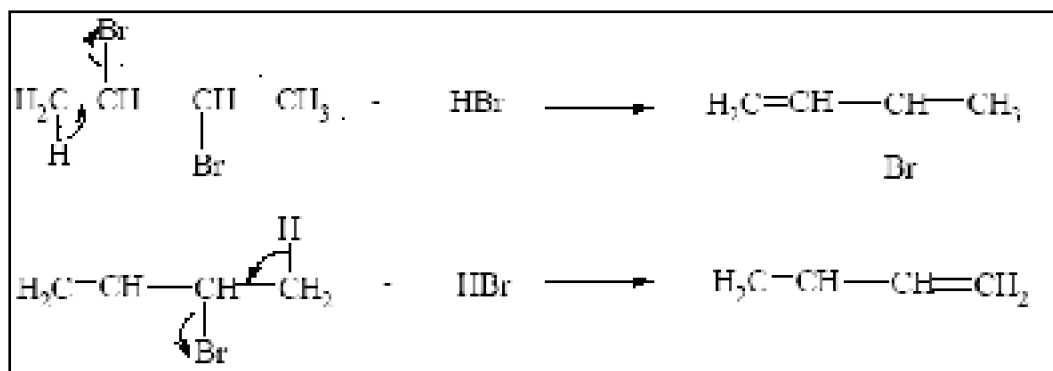
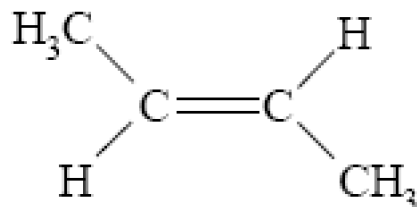


Figure 47

En partant de 2-butène Z :



le mécanisme obtenu est (fig. 48) :

- Première équation : addition de Br<sub>2</sub>

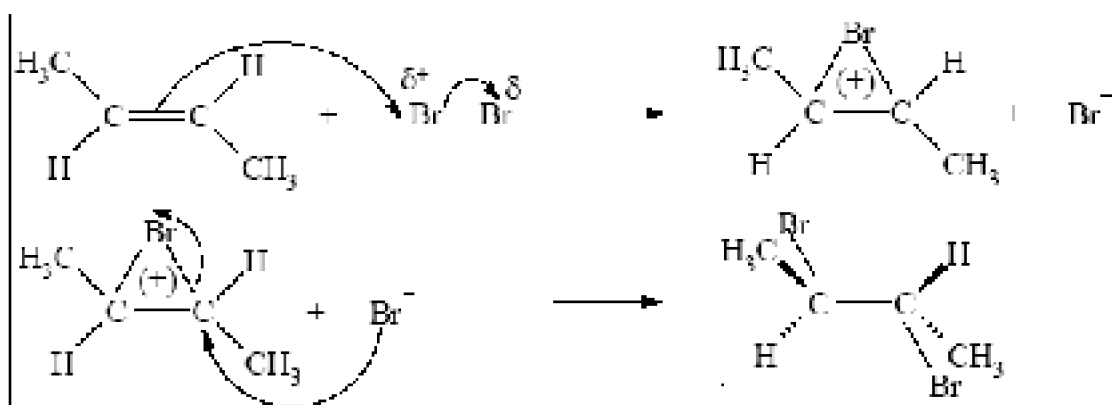


Figure 48

La molécule obtenue est symétrique, elle n'admet donc pas d'isomères optiques.

- Deuxième équation : élimination de 2 HBr

Elle donnera lieu aux mêmes produits que le mécanisme précédent (fig. 49)



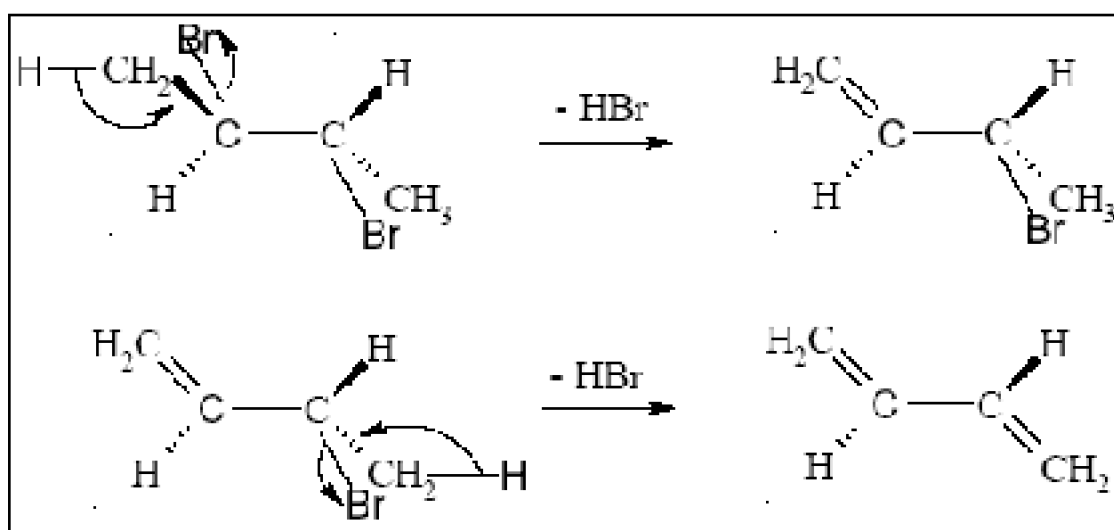


Figure 49

Tous les substituants de la molécule obtenue, but-2-diène (fig. 50), sont identiques (H), cette molécule n'admet donc pas d'isomères Z et E.

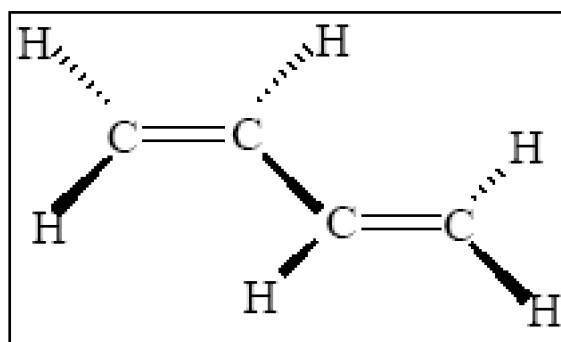


Figure 50

## Exercice 3

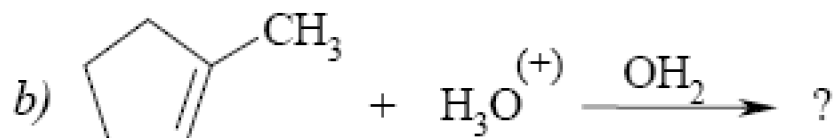
1.

Enoncé

**Écrire le mécanisme des réactions suivantes :**



**Peut-on envisager l'obtention de plusieurs isomères ? Si oui dire lequel est prépondérant.**



**Peut-on envisager l'obtention de plusieurs isomères ? Si oui dire lequel est prépondérant.**

- Une réponse à l'exercice :

Réponse à la question a)

Mécanisme de la réaction, il s'agit de l'addition d'un halogénure d'hydrogène sur un alcène, au cours de la première étape, une attaque de la double liaison sur le site nucléophile (H), conduit à la formation de deux carbocations (fig. 51). L'hydrogène peut se fixer sur l'un ou l'autre des deux carbones de la double liaison. L'obtention de deux isomères peut être envisagée.

Première étape (fig.51) :

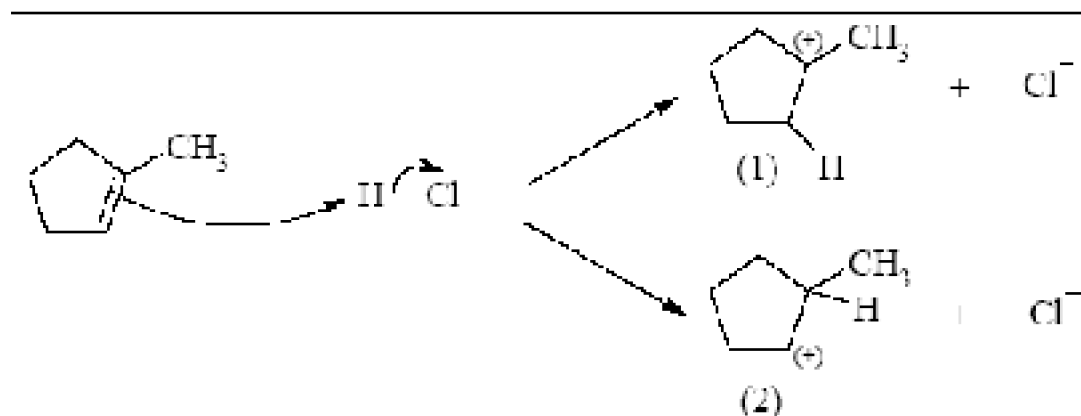


Figure 51

Le carbocation (1), plus substitué, est plus stable que le carbocations (2), il va donc donner le produit majoritaire.

Deuxième étape :  $\text{Cl}^-$  se fixe sur les carbocations (1) et (2) selon le mécanisme (fig. 52)

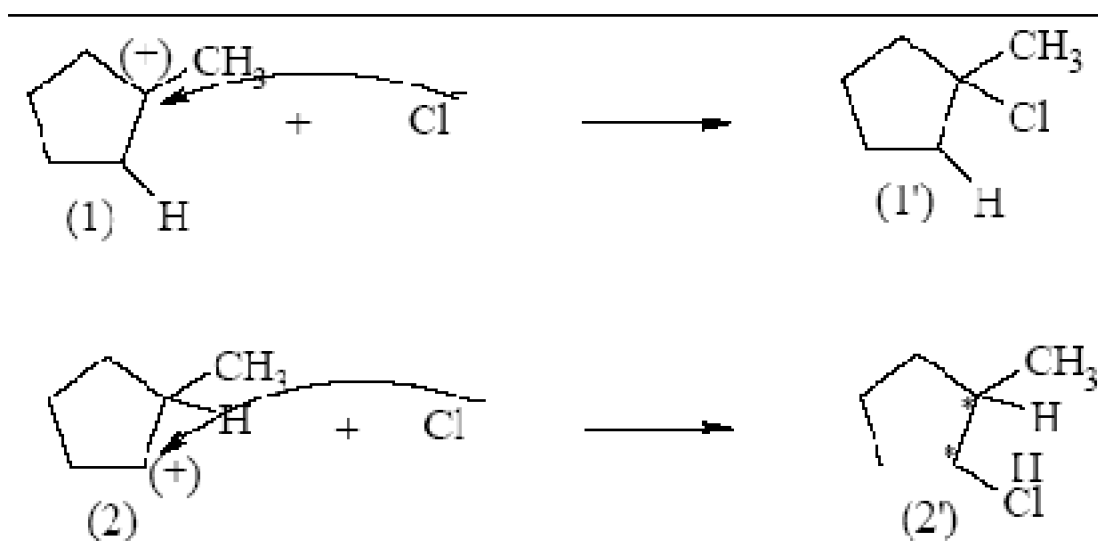


Figure 52

Le produit (1') est majoritaire et découle du carbocation le plus stable. Cette molécule, renfermant un carbone à deux substituants identiques, n'admet pas de carbone asymétrique.

Le produit (2') est minoritaire et découle du carbocation le moins stable. Ce produit admet deux carbones asymétriques, le carbone 1 admet 4 substituants différents ( $\text{Cl}$ ,  $\text{H}$ ,  $-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2$ ,  $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)$ ), le carbone 2 admet 4 substituants différents ( $\text{CH}_3$ ,  $\text{H}$ ,  $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{Cl})$ ,  $-\text{CH}(\text{Cl})-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2$ ). Ce produit admet donc 4 isomères optiques (fig. 53)

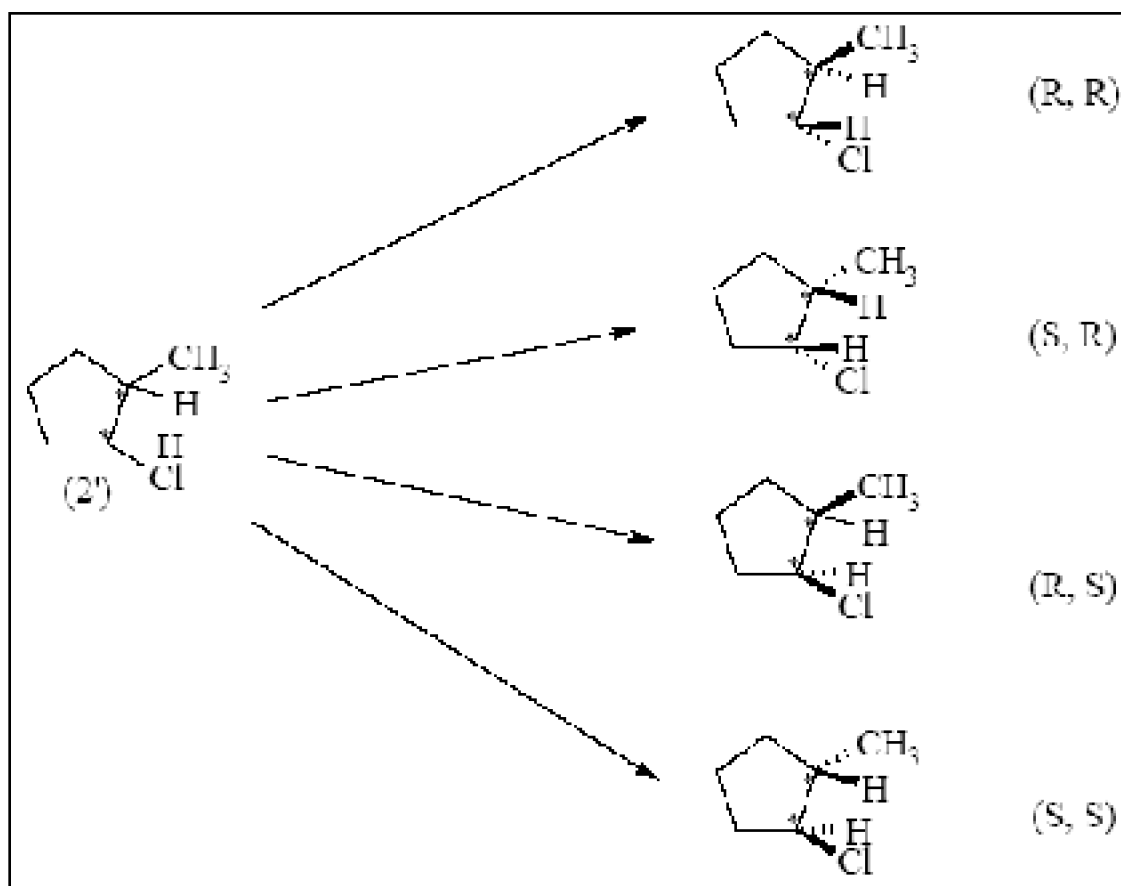


Figure 53

Réponse à la question b)

Le mécanisme de cette réaction est le même que pour la question a) :

- addition de H<sup>+</sup> sur la double liaison (fig. 54)

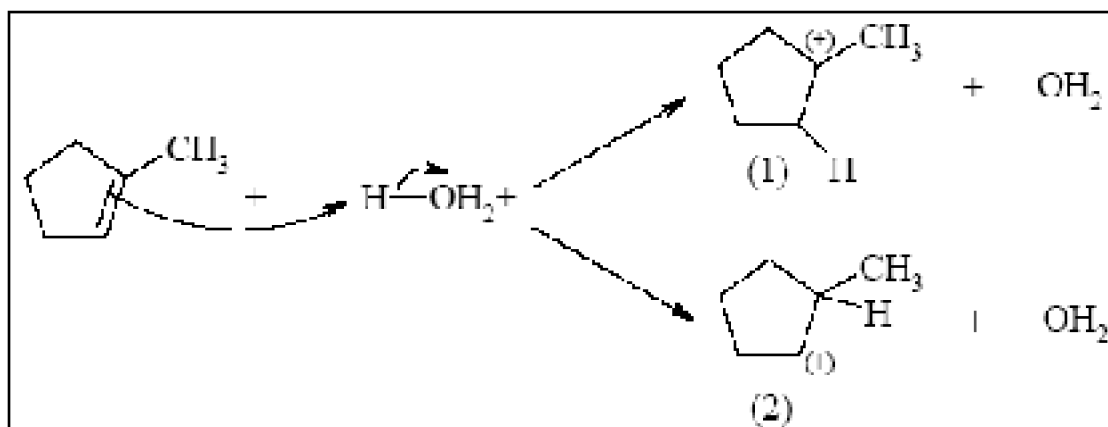


Figure 54

- addition de HO
- Cette réaction s'effectue en deux étapes : addition d'une molécule d'eau puis élimination de  $H^+$  (fig. 55)

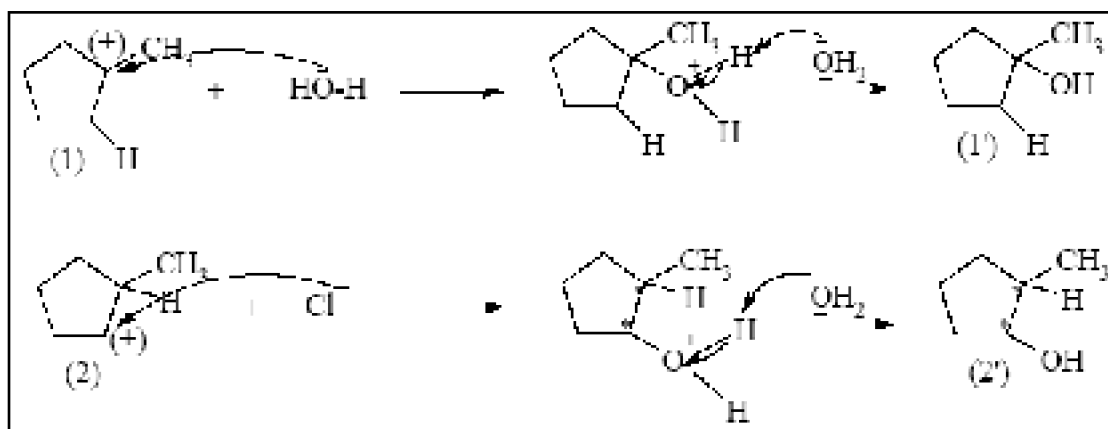


Figure 55

Le produit (1') n'a pas de carbone asymétrique et n'a donc pas d'isomères, le produit (2') a deux carbones asymétriques et 4 isomères optiques (fig. 56)

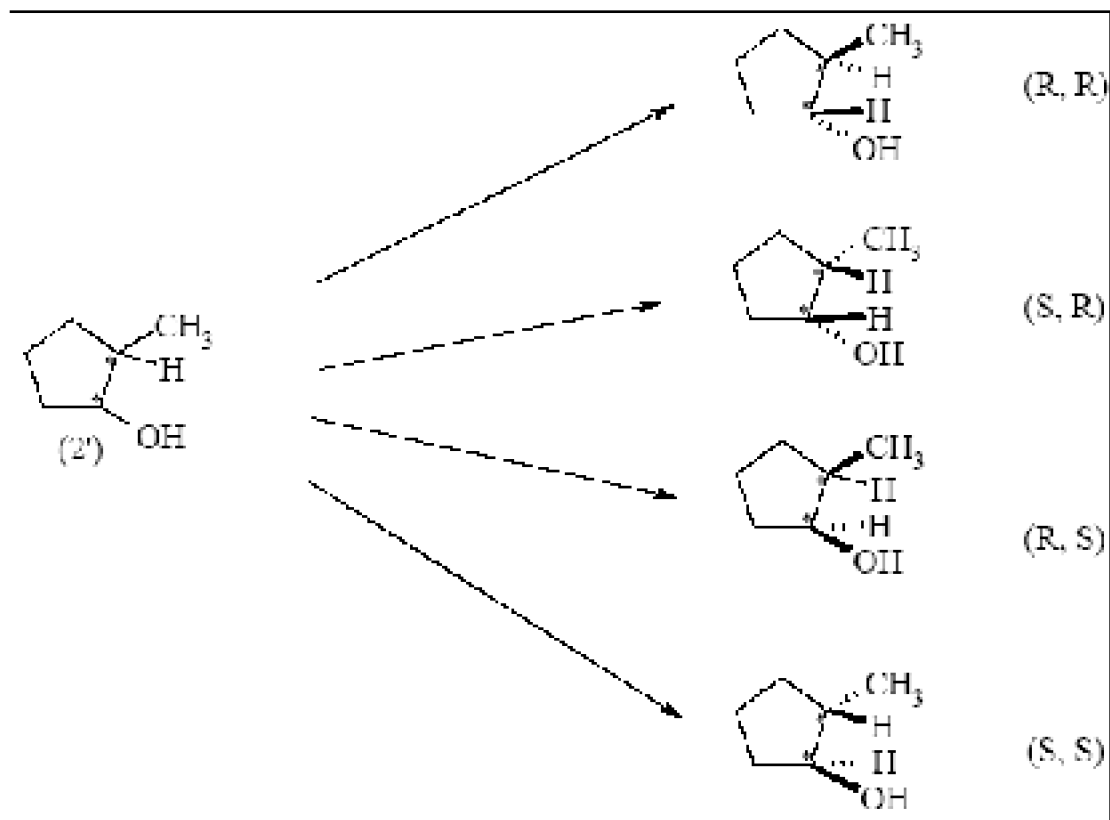


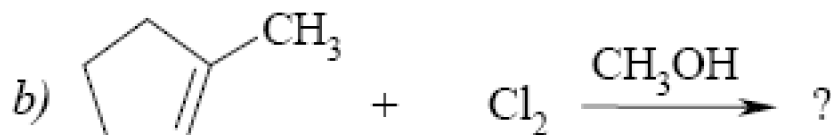
Figure 56

Exercice 4

1.

· Enoncé

**Écrire le mécanisme des réactions suivantes :**



**Quelle différence y'a-t-il entre les réactions (a) et (b)**

- Une réponse à l'exercice :

Réponse à la question a)

La première étape consiste en une addition de Cl sur la double liaison avec la formation d'un pont chloronium (fig. 57)

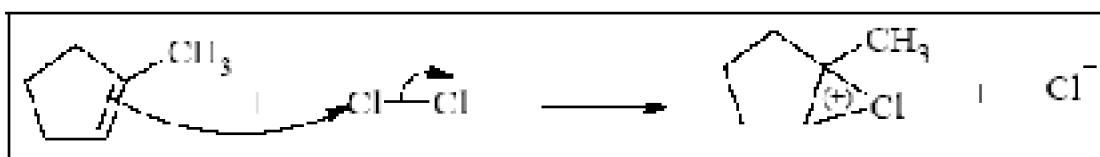


Figure 57

Ensuite addition du deuxième Cl et ouverture de la liaison C-Cl, il s'agit donc d'une anti-addition (fig. 58)

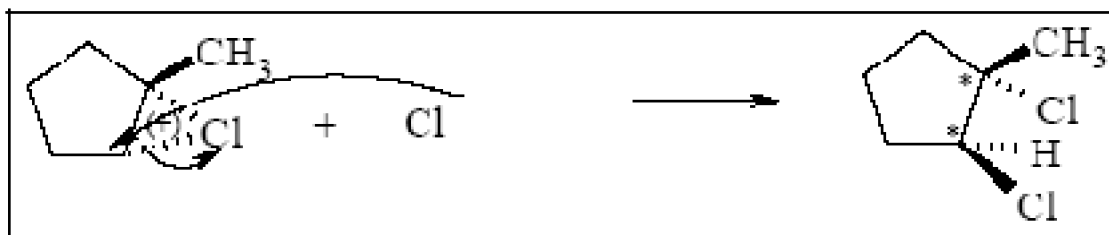


Figure 58

Le produit ainsi formé admet deux carbones asymétriques, et donc 4 isomères optiques (fig. 59)

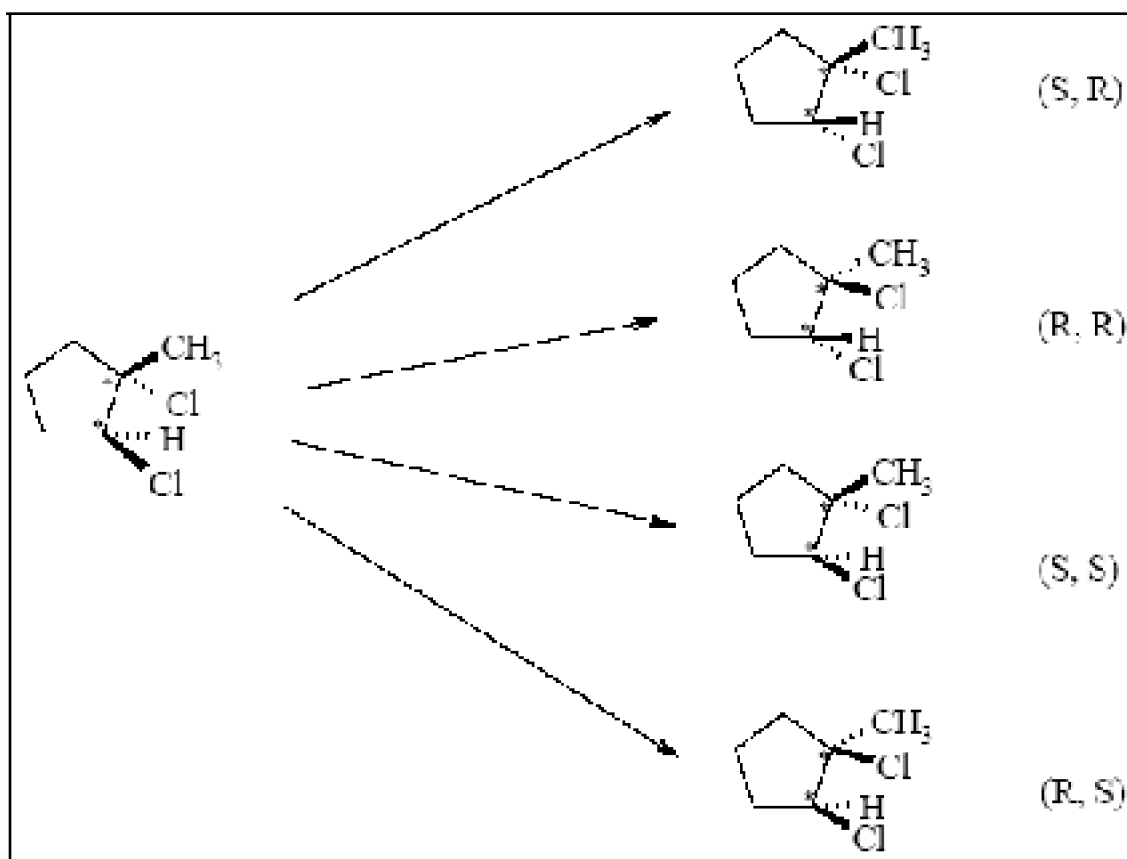


Figure 59

Réponse à la question b)

- La première étape consiste en une addition de Cl sur la double liaison avec la formation d'un pont chloronium (fig. 60)

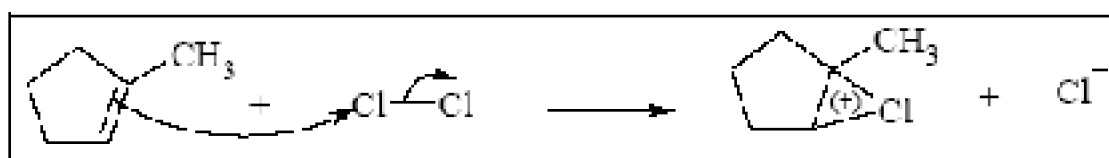


Figure 60

- La deuxième étape consiste à l'addition du nucléophile sur le site électrophile. Deux cas possibles en raison de l'existence dans le milieu de deux nucléophiles,  $\text{Cl}^-$  et  $\text{CH}_3\text{O}^-$  :
  - soit addition de  $\text{Cl}^-$
  - soit l'addition de  $\text{CH}_3\text{O}^-$  (fig. 61).



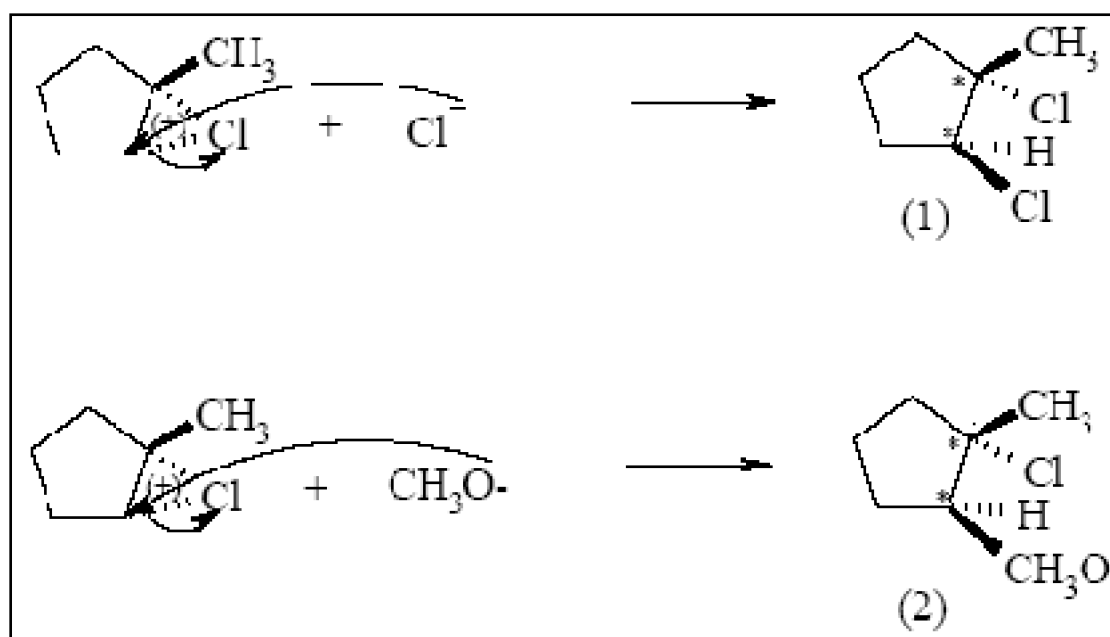


Figure 61

Les produit (1) et (2) formés, admettent chacun deux carbones asymétriques, ils peuvent donc chacun donner 4 isomères (fig. 59 - 62).

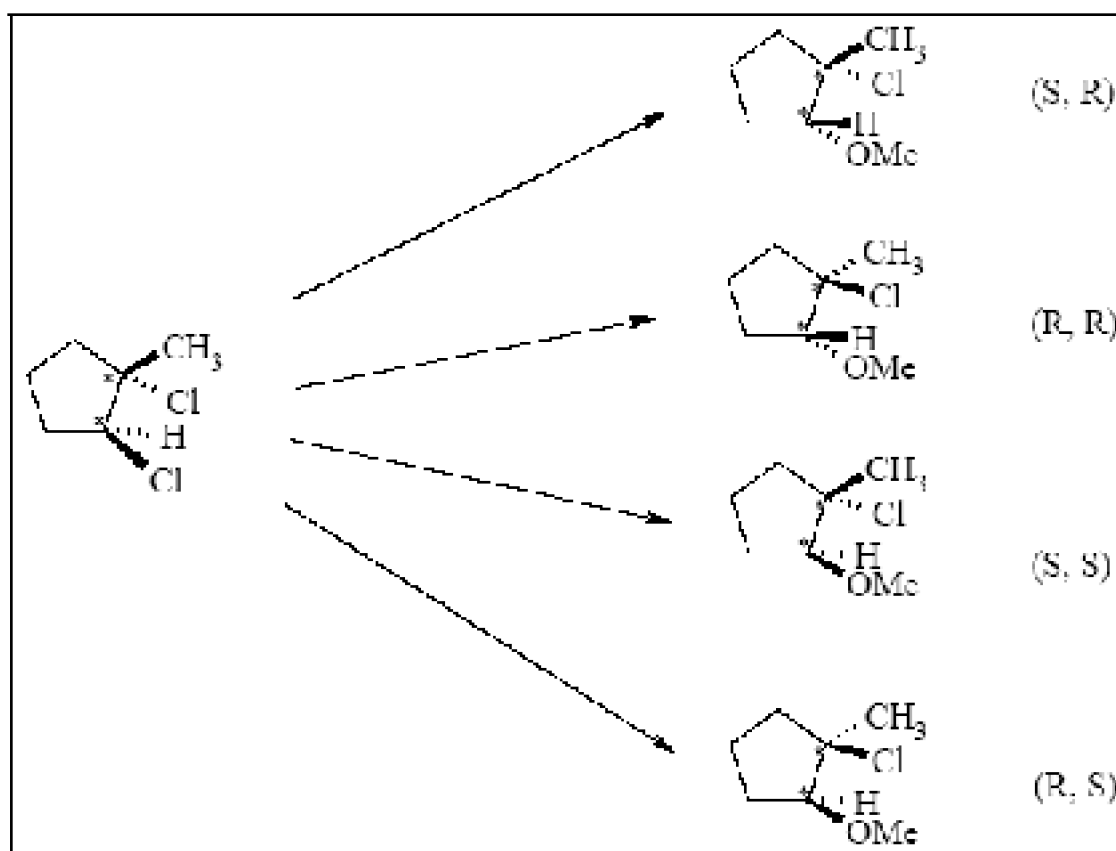


Figure 62

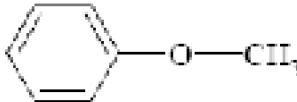
Différence entre les deux mécanismes : le premier conduit à un seul produit admettant 4 isomères optiques, et le deuxième conduit à deux produits admettant chacun 4 isomères optiques.

Exercice 5

1.

· Enoncé

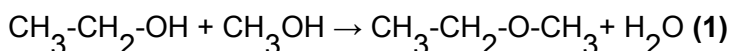
a) Proposer un mécanisme pour la réaction (1) suivante :  $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH} + \text{CH}_3\text{OH} \rightarrow \text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-O-CH}_3 + \text{H}_2\text{O}$  (1) b) On obtient aussi les produits de formules brutes suivantes :  $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$  et  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ . Expliquer leur formation. c) Qu'obtient-on avec la réaction (2) suivante :  $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-Br} + \text{CH}_3\text{-O}^-$  ? (2) d) Quel est l'intérêt de la réaction (2) comparée à la réaction (1) ?

e) Proposer une synthèse de  qui donne un bon rendement.

· Une réponse à l'exercice :

Réponse à la question a)

Mécanisme de la réaction (1)



Il s'agit d'une substitution nucléophile. Dans cette réaction le groupement OH est substitué par le groupement  $\text{CH}_3\text{-O}^-$  (fig. 63)

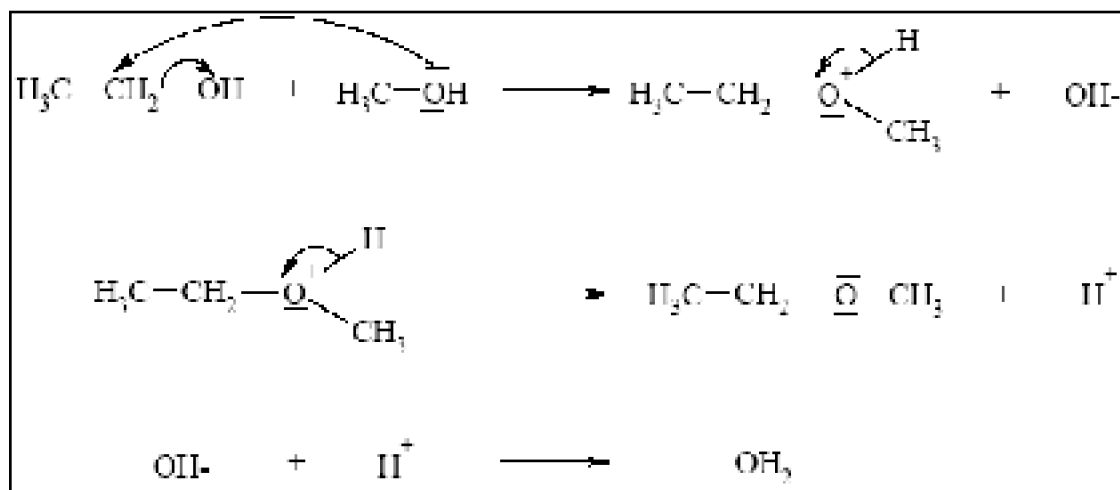


Figure 63

Réponse à la question b)

Dans le milieu existent 2 types de molécules qui peuvent réagir entre elles pour donner la réaction (1) (fig. 63) soit réagir chacune sur une molécule identique et donner

$4\text{H}_{10}\text{O}$  et  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$  selon le mécanisme (fig. 64) :

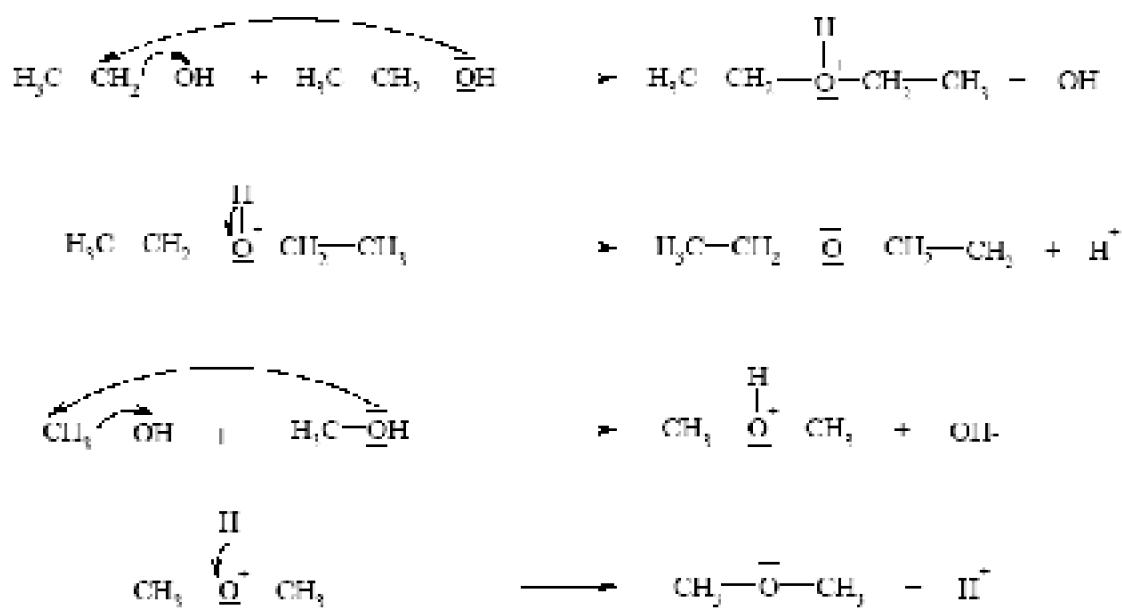


Figure 64

Réponse à la question c)

La réaction (2) donne :  $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{O}-\text{CH}_3$ , qui s'explique par le mécanisme suivant (fig. 65)

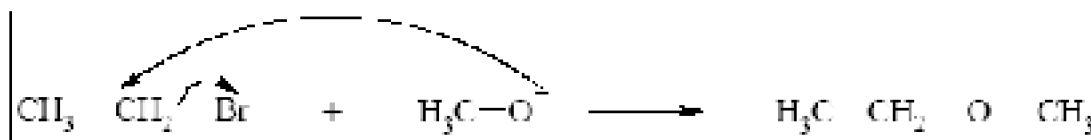


Figure 65

Réponse à la question d)

La réaction (2) permet d'avoir un seul produit, alors que la première conduit à 3 produits.

Réponse à la question e)

Un bon rendement est obtenu par la réaction (2), et le mécanisme correspondant (fig. 66)



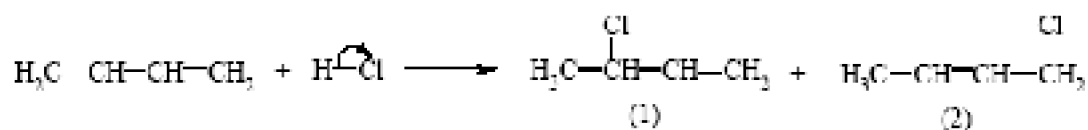
Figure 66

Exercice 6

1.

Enoncé

**L'addition de HCl sur le butadiène conduit à deux produits :**



**Expliquer la formation de (1) et (2).**

- Une réponse à l'exercice :

La première étape est l'attaque de l'atome d'hydrogène par la double liaison et la formation d'un carbocation (fig. 67)



Figure 67

La molécule formée renferme une charge positive et une double liaison conjuguées, elle admet deux formes mésomères (fig. 68) :

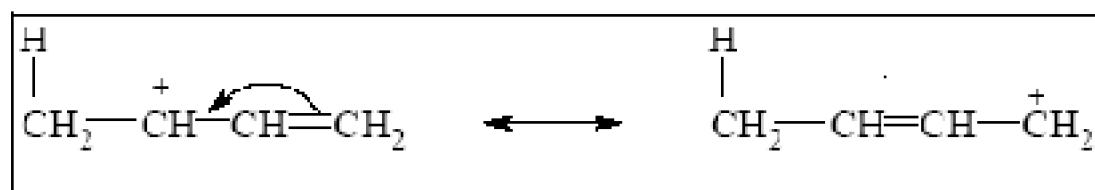


Figure 68

$\text{Cl}^-$  peut se fixer sur l'un des carbocations (fig. 68) selon le mécanisme (fig. 69) :

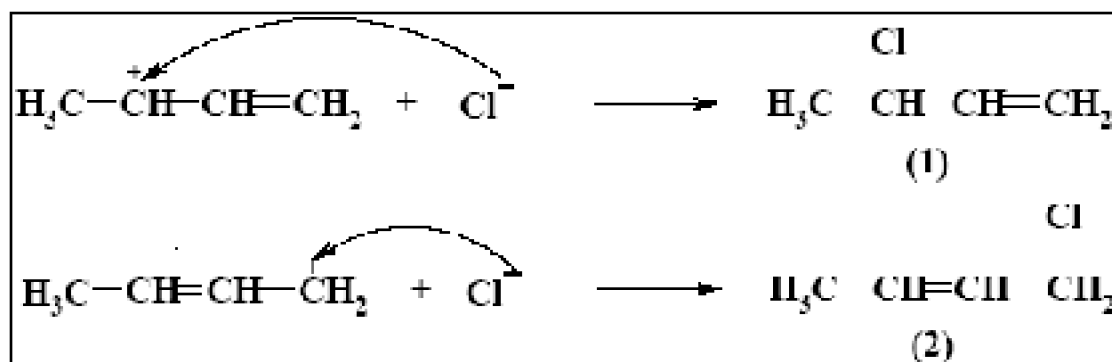


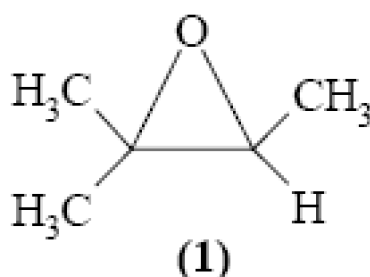
Figure 69

Exercice 7

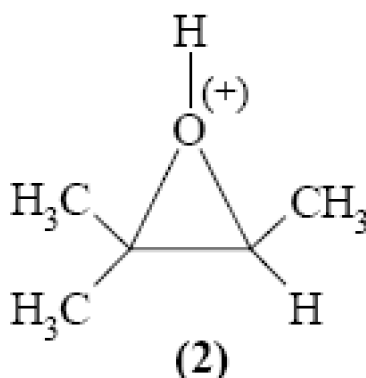
1.

- Enoncé

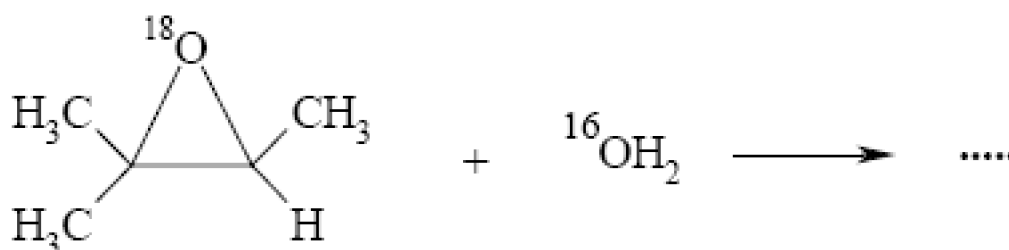
**On réalise l'hydrolyse de l'époxyde (1) dans différentes conditions de pH.**



a) *Condition acide Expliquer la formation de (2)*



*Montrer que l'on peut former deux carbocations différents à partir de (2). Quel est le carbocation le plus stable ? Qu'obtient-on quand on ajoute H<sub>2</sub>O sur le carbocation le plus stable ? b) Condition basique On postule que l'ouverture est telle que l'approche de l'ion HO<sup>-</sup> s'effectue du côté le moins encombré de l'époxyde Proposer un mécanisme pour l'hydrolyse en milieu basique. Quelle différence y'a-t-il entre l'hydrolyse acide et l'hydrolyse basique ? Montrer que cette différence peut être mise en évidence expérimentalement par la réaction :*



- Une réponse à l'exercice

Réponse à la question a)

Addition en milieu acide

- la formation de (2) peut s'expliquer par le milieu acide, riche en H<sup>+</sup>, et addition d'un proton H<sup>+</sup> sur l'époxyde. Un des doublets de l'oxygène va attaquer le proton (fig. 70)

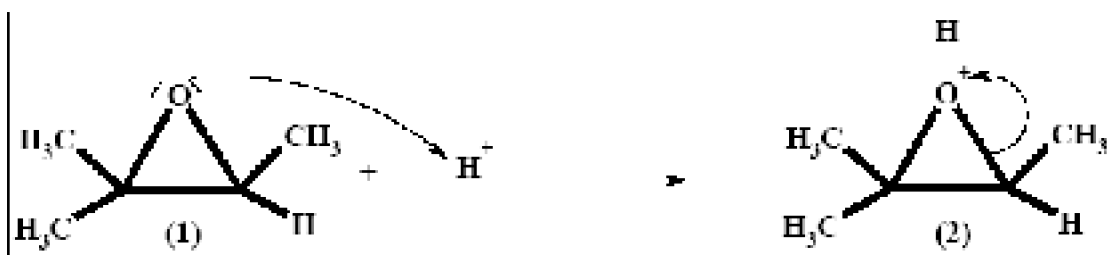


Figure 70

- Formation de deux carbocations à partir de (2) :  
l'ouverture du cycle de l'époxyde peut se faire de part et d'autre de l'oxygène :
- soit du côté le moins encombré (CH) avec obtention du carbocation (1') (fig. 71)

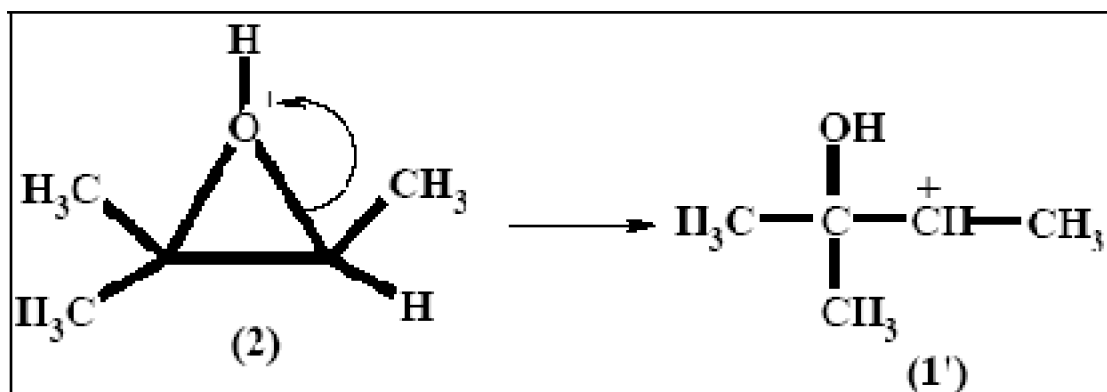


Figure 71

- soit du côté le plus encombré (C) avec obtention du carbocation (2') (fig. 72)

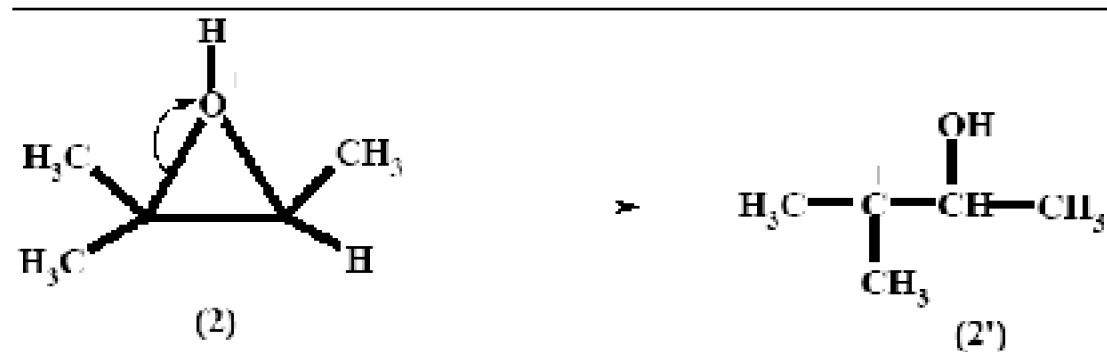


Figure 72

Le carbocation (2') (fig. 72), plus substitué, est le plus stable.

- Addition de  $H_2O$  sur le carbocation (2) (fig. 73)

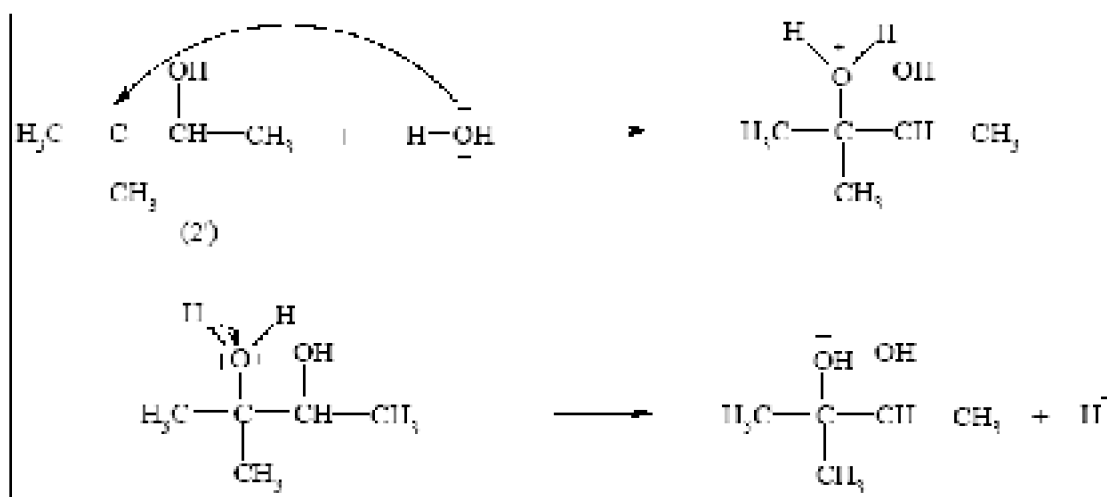


Figure 73

Réponse à la question b)

Addition en milieu basique, l'ouverture est telle que l'approche de l'ion  $\text{HO}^-$  s'effectue du côté le moins encombré de l'époxyde (information donnée dans l'énoncé)

- Hydrolyse en milieu basique (fig. 74)

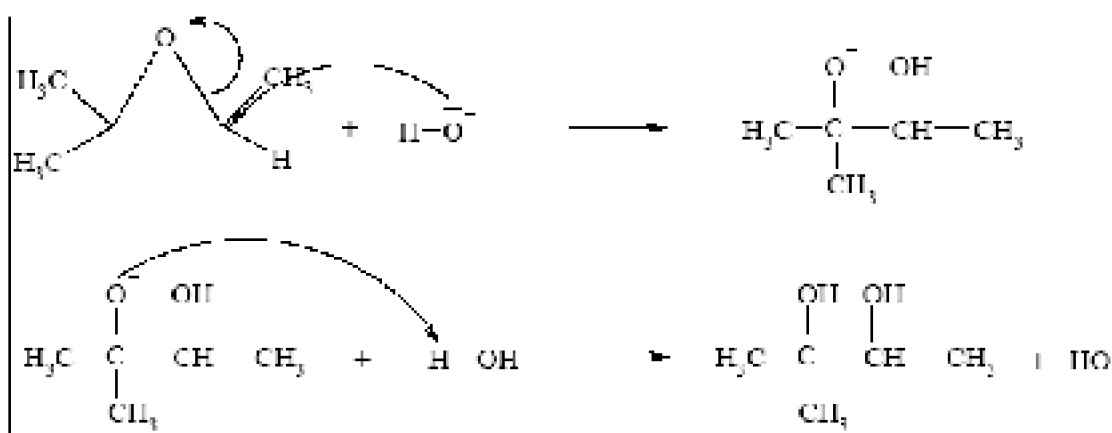
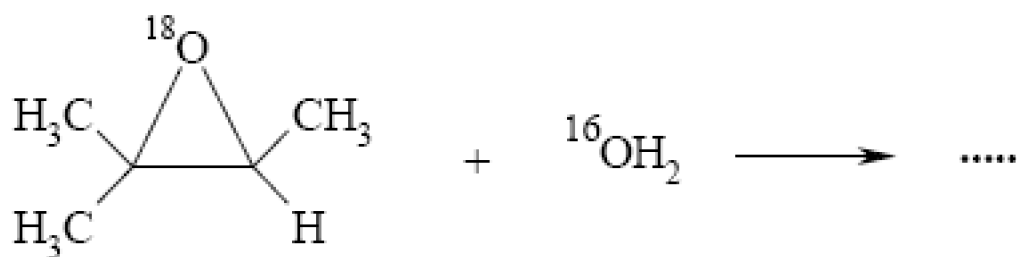


Figure 74

- Différence entre l'hydrolyse acide et l'hydrolyse basique

Dans l'hydrolyse acide, OH porté par le carbone 1 vient de l'eau, et OH porté par le carbone 2 vient de l'époxyde. Inversement dans l'hydrolyse basique, OH porté par le carbone 1 provient de l'époxyde et OH portée par le carbone 2 provient de l'eau.

- Mécanisme de la réaction



- Hydrolyse en milieu acide

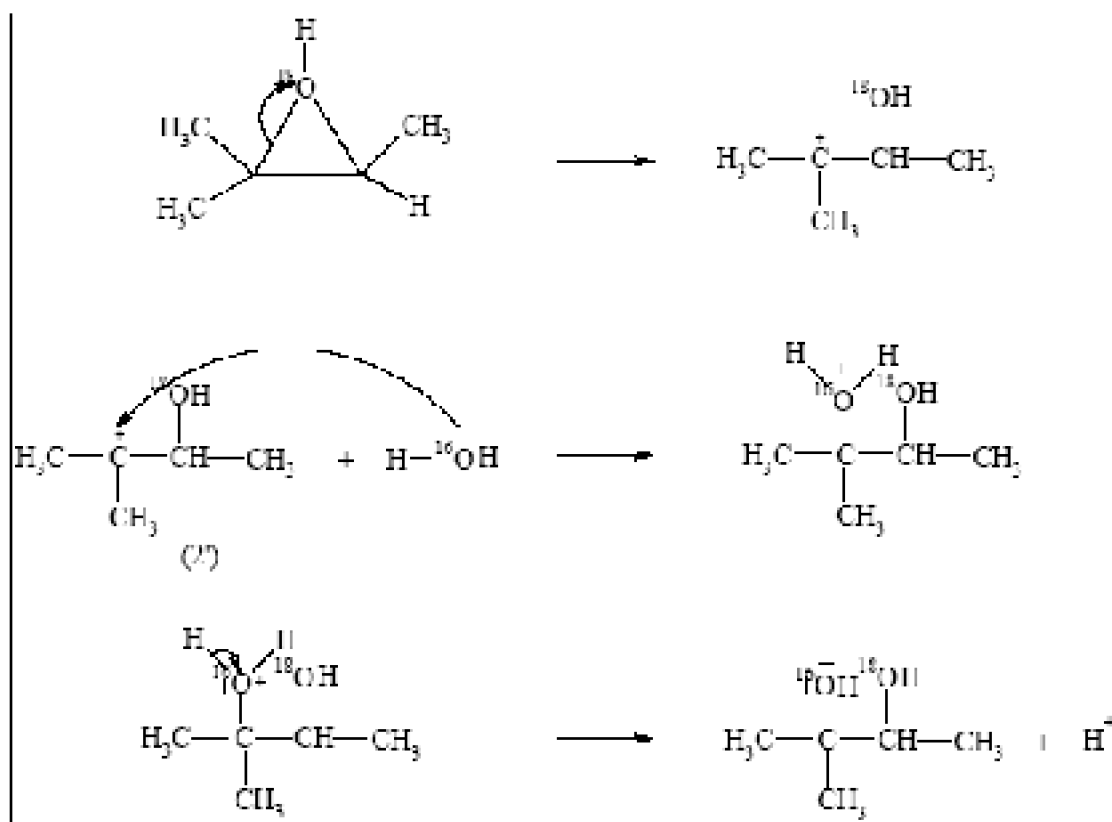


Figure 75

- Hydrolyse en milieu basique (fig. 76)



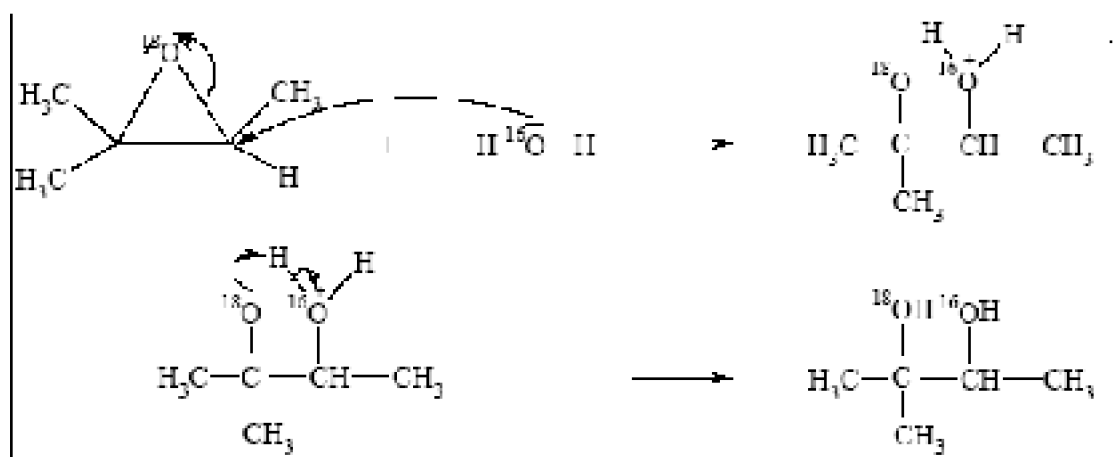


Figure 76

Ce mécanisme montre la différence entre l'hydrolyse en milieu acide (fig. 76) qui donne le produit (fig. 77) :

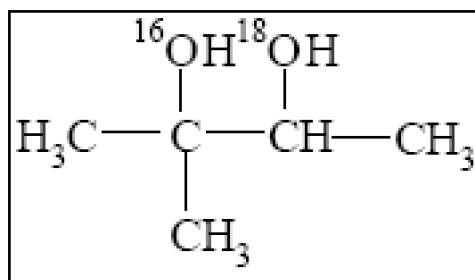


Figure 77

Et l'hydrolyse en milieu basique (fig. 76) qui donne le produit (fig. 78) :

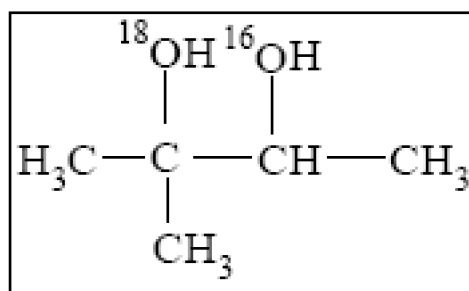


Figure 78

#### 5.2.4. Méthode de recueil de données

Au cours de l'expérimentation, les étudiants travaillent en binômes, et sont invités à résoudre les exercices en parlant à haute voix et en discutant entre eux. Les exercices sont présentés un à un.

L'expérimentation s'est déroulée en plusieurs séances. Le chercheur n'intervient que pour proposer les exercices. Au cours d'une même séance, le binôme peut résoudre un

ou plusieurs exercices. Parfois la résolution d'un même exercice se fait sur deux séances.

Lors de la résolution des exercices, les étudiants ont été enregistrés (audio). Puis leurs productions orales ont été transcrites.

### 5.2.5. Exploitation des données

Les grilles d'analyse, par niveau de savoir et par classification des verbes, qui ont servi pour analyser les productions orales des étudiants français, ont été utilisées pour les étudiants tunisiens. Seules les catégories de la concision et celle de la précision n'ont pas été utilisées, ces deux catégories n'étant pertinentes que pour la comparaison de phrases produites dans deux expérimentations.

Dans cette expérimentation, les étudiants parlent simultanément français et arabe tunisien, et changent souvent de code ; c'est le code switching. L'analyse linguistique a été affinée en tenant compte de la langue dans laquelle le verbe est exprimé.

### Analyse par niveau de savoir

Les productions des étudiants sont classées selon 5 catégories :

- Objets reconstruits : Lors de l'écriture du mécanisme, les étudiants font à la différence des étudiants français une lecture brute des symboles qu'ils représentent (flèche, signe plus, signe moins, etc.) et des objets reconstruits (les atomes, les molécules, etc.).

Exemple de production d'étudiant : « *demi-flèche hadhia wa h da tji minna wa demi-flèche minna bach twalli double liaison* » [une demi-flèche va se déplacer de ce côté et l'autre de ce côté pour former une double liaison] (Ex.5, série 1, tour de parole 86).

- Propriétés des objets reconstruits ou des événements qu'ils décrivent,

Exemple de production d'étudiant : « *hadhia el-forme acide hay el-conjugué mtacha* » [celle là c'est la forme acide voilà sa forme conjugué] (Ex.3, série 1, tour de parole 6)

- Théorie : Les termes (arabes) utilisés par les étudiants tunisiens pour exprimer l'argumentation (causalité) et qui sont reconnus dans cette recherche comme indicateur d'utilisation de la théorie (de la chimie ou de l'élève) sont : <sup>C</sup> *lajal*, <sup>C</sup> *lakhater*, *khater* (parce que),

Exemple de production d'étudiant : « *bach twalli C O avec signe plus clajal ctat hi normalement clajal el-H+ il y a manque d'électrons bach tacti lil bach tacmel liaison mca el-H ...* » [on aura C O avec signe plus parce qu'elle a donnée elle normalement parce que le H<sup>+</sup> il y a manque d'électrons elle va donner au elle va faire une liaison avec le H ...] (Ex.4, série 1, tour de parole 3). Les termes (français) utilisés par les étudiants tunisiens pour exprimer l'argumentation (causalité) et qui sont reconnus comme indicateur d'utilisation de la théorie (de la chimie ou de l'élève) sont : car, parce que, donc (conclusion), Vu que, etc.

Exemple de production d'étudiant : « *je pense qu'il n'y a pas qu'une forme limite car il n'y a pas de doubles liaisons sont toutes des simples liaisons* » (exercice 3, série 2, tour de parole 17)

- Doute : les indicateurs de doute utilisés par les étudiants sont : **ma netsawerch** (je ne pense pas), **netsawer** (je crois que), **ah la** (ah non), **momken** (c'est possible),

Exemple de production d'étudiant : « **momken t s ir cassure bach tabqa H<sup>+</sup> wa h adha / ma natsawerch** » [c'est possible qu'il y ait une cassure et il reste H<sup>+</sup> tout seul / je ne crois pas]

- Vision globale : les étudiants ont une vision globale du problème quand ils évoquent plus d'une étape du mécanisme.

**Exemple de production d'étudiant** : « **linna<sup>C</sup> malna chtetsamma élimination rahi hadhia** » (ici on fait comment elle s'appelle c'est une élimination celle là).

### Analyse par classification des verbes

Les verbes employés par les étudiants sont classés selon les structures verbales et existentielles suivantes :

- verbes de mouvement exprimés en **français**, attaquer, se déplacer, se rabattre, etc.
- verbes de mouvement exprimés en **arabe**, **ja'a** (venir), **kharaja** (sortir), **macha** (marcher), etc.
- verbes exprimant la transformation et le changement d'état exprimés en **français**, devenir, se transformer, se lier, etc.
- verbes exprimant la transformation et le changement d'état exprimés en **arabe**, **walla** (devenir), **tabaddala** (changer, se substituer par), **tana hh a** (s'enlever), etc.
- verbes qualifiant l'état exprimés en **français**, respecter, capter, céder, etc.
- verbes qualifiant l'état exprimés en **arabe**, **'akhdha** (prendre), **'a<sup>C</sup> ta** (donner), **baqa** (rester), etc.
- existentielles exprimées en français, *on a* et *il y a*.
- existentielle exprimées en **arabe**, **'anna<sup>C</sup>** (on a), **famma** (il y a), **waqa<sup>C</sup> a** (avoir lieu)

## 6. Analyse et résultats

L'analyse des réponses des deux échantillons et les résultats déduits sont présentés pour chaque expérimentation.

### 6.1. Expérimentation 1

L'objectif de cette expérimentation est de répondre à la deuxième question de recherche (QR2) : « Comment décrire le fonctionnement des étudiants lors de la verbalisation d'un mécanisme ? », et d'élaborer une grille d'analyse qui permet de décrire l'apprentissage et qui servira par la suite pour décrire le fonctionnement des étudiants lors de résolution de problèmes de chimie organique

### **6.1.1. Rappel de l'expérimentation**

12 étudiants, préparant l'agrégation de chimie à l'ENS de Lyon, ont été interviewés en septembre et en mai. Il s'agit d'entretiens semi directifs. Les productions orales des étudiants ont été enregistrées, puis transcrites et analysées.

### **6.1.2. Hypothèses de travail**

- **Hypothèse 1 (H1)** : Pendant la période de la préparation de l'agrégation de chimie (septembre – mai) il y a eu un apprentissage effectif dans le domaine de la connaissance des mécanismes en chimie organique.
- **Hypothèse 2 (H2)** : La production orale des étudiants lors de la verbalisation d'un mécanisme est structurée par les étapes du mécanisme décrit.

### **6.1.3. Analyse des réponses**

Une seule tâche proposée, lors de l'entretien, a été analysée. Il s'agit de celle où les étudiants sont invités à commenter un mécanisme fourni (méthodologie, tâches (T2) et (T'2) p. 68 - 70).

Les productions orales des étudiants lors de la verbalisation de ce mécanisme, transcrites, ont été analysées selon les deux grilles d'analyse par niveau de savoir et linguistique (cadre théorique, p. 49 – 54 et p. 57 - 61).

### **Analyse par niveaux de savoirs**

Les phrases énoncées par les étudiants, lors de la lecture du mécanisme, sont classées selon les 7 catégories de la grille d'analyse par niveaux de savoir. La notion de phrase n'existe pas dans la production orale, les transcriptions ont donc été découpées selon les étapes du mécanisme.

Découpage des productions des étudiants par étape 1.

Le mécanisme de la tâche T2 tel qu'il a été proposé aux étudiants est représenté par un bilan et par des équations montrant toutes les étapes de ce mécanisme (annexe F, p. 37). Dans leurs verbalisations, les étudiants commentent ce bilan et ces étapes.

L'analyse a permis de découper les transcriptions des productions de tous les étudiants, tâches (T2) et (T'2), en respectant le découpage des étapes du mécanisme (annexe H, p. 43). Ceci confirme la deuxième hypothèse (H2) et permet une comparaison des productions pour un étudiant donné.

Exemple de découpage par étapes des transcriptions des productions de E8 1.

Les exemples ci-après concernent la production d'un étudiant représentatif. Les étapes du mécanisme proposé sont reliées aux commentaires de l'étudiant E8 (tableau 1).

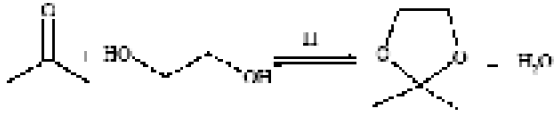
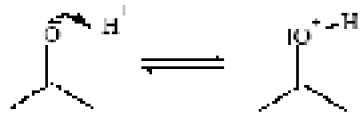
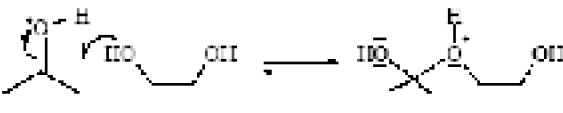
Transcription de la verbalisation du mécanisme par E8 (E.M.)	Mécanisme T <sub>2</sub> découpé par étapes
<p>(1) Nous allons donc étudier le mécanisme de la protection d'une cétone par un diol avec une catalyse acide par le proton (2) tout d'abord il faut un il faut donc activer la cétone puisque puis pour que le diol puisse ensuite attaquer celle-ci pour la protection donc le proton <math>H^+</math> un des doublets de l'oxygène va sauter le proton <math>H^+</math> pour former après équilibre acide basique à cette molécule sur laquelle le diol va pouvoir réagir (3) donc un doublet d'oxygène d'une des fonctions alcools du diol va attaquer sur le carbone un des doublets de la double liaison on va se rabattre sur l'atome d'oxygène ce qui va conduire toujours après une réaction équilibrée à cette molécule (4)</p>	 <p>Figure 79 : représentation du bilan</p>  <p>Figure 80 - : représentation de l'étape 1</p>  <p>Figure 81 - représentation de l'étape 2</p>

Tableau 1 – Transcription de la verbalisation d'une partie du mécanisme T<sub>2</sub> par E<sub>8</sub> avec la représentation symbolique des étapes correspondantes

**De (1) à (2) :** l'extrait est considéré comme commentaire du bilan du mécanisme, parce que l'étudiant parle de «mécanisme de la protection d'une cétone par un diol», c'est le mécanisme proposé aux étudiants. Dans la figure a1, sont représentées une cétone, le premier réactif et un diol, le deuxième réactif. L'étudiant dit «avec une catalyse acide par le proton», dans cette même figure a1, le catalyseur est un proton  $H^+$ , représenté sur la double flèche de réaction.

**De (2) à (3) :** l'extrait est le commentaire de la première étape du mécanisme. Dans ce passage l'étudiant évoque la cétone «il faut donc activer la cétone», et dans la figure

a2 le réactif est une cétone. Ensuite il ajoute «*un des doublets de l'oxygène va capter le proton  $H^+$*  » ce qui est conforme à la figure a2, la flèche part du doublet de l'oxygène vers le  $H^+$ .

**De (3) à (4)** : l'extrait est le commentaire de la deuxième étape du mécanisme. L'étudiant cite les fonctions alcools, diol et carbone «*un doublet d'oxygène d'une des fonctions alcools du diol va attaquer sur le carbone*» qui sont les constituants de la deuxième molécule représentée dans la figure a3 (deuxième étape) : ceci est représenté sur la figure a3 par une flèche courbe, deuxième flèche de cette étape, qui part du doublet de l'oxygène, l'oxygène de OH du deuxième réactif, et arrive entre cet atome d'oxygène et le carbone du carbonyle, le carbone lié à l'oxygène par une double liaison et appartenant au premier réactif. Ensuite il évoque la double liaison et l'atome d'oxygène qui sont les constituants du premier réactif : «*un des doublets de la double liaison ici va se rabattre sur l'atome d'oxygène*», ce ci pour commenter la flèche courbe qui part de la double liaison entre le carbone du carbonyle et arrive sur le  $O^+$  de la première molécule.

Catégorisation des productions par niveaux de savoir

1.

Les productions des étudiants ont été catégorisées, en septembre et en mai, comme prévu dans la méthodologie d'analyse, en : Objet reconstruit, Propriété, Théorie, Concision, Précision, Doute et Vision globale (Annexe H, p. 43). Ensuite une comparaison par étape a été effectuée.

- Exemple de catégorisation des productions de E8

L'exemple ci-après explicitera cette catégorisation.

- Catégorie 1 : **Objet reconstruit**

Cette catégorie regroupe tous les objets énoncés par les étudiants lors de la verbalisation du mécanisme en septembre et en mai (tableau 2)

Catégorie	T2	T'2
Objet reconstruit	un des doublets de l'oxygène va capter le proton $H^+$ (étape 1)	un des doublets de l'atome d'oxygène de la propanone capte donc un atome d'oxygène (étape 1)
	doublet d'oxygène d'une des fonctions alcools du diol va attaquer sur le carbone (étape 2)	un doublet se rabat sur l'atome d'oxygène (étape 2)
	un des doublets de la double liaison ici va se rabattre sur l'atome d'oxygène (étape 2)	
	le doublet de l'oxygène va se rabattre (étape 4)	
	si on rabat le doublet de l'oxygène ici c'est l'oxygène qui va alors prendre la charge positive (étape 4)	

Tableau 2 - catégorie des objets reconstruits extraite des transcriptions de  $E_8$

Les expressions  $H^+$  et doublet sont considérés comme appartenant à la catégorie Objet reconstruit étant donné que  $H^+$  est un symbole d'objet, l'atome d'hydrogène, et le doublet est le nom d'un objet, le doublet d'électron. Dans les deux cas l'étudiant fait une lecture brute des symboles des objets fournis dans le mécanisme.

### Catégorie 2 : Niveau des propriétés

Cette catégorie comprend les propriétés des objets (ou de leurs représentations symboliques) et des événements évoqués par l'étudiant lors de la verbalisation du mécanisme (tableau 3).

Catégorie	T1	T2
Propriété	<p>formation d'un groupe <math>\text{H}_2\text{O}^+</math> très <b>nucléophile</b> (étape 3)</p> <p>il y a formation de ce cycle <b>qui protège l'acétone</b> que nous avons formée (étape 5)</p> <p>il reste un proton <math>\text{H}^+</math> qui va ensuite être régénéré dans le milieu grâce à un <math>\text{H}_2\text{O}^+</math> dernier <b>équilibre acido-basique</b> (étape 6)</p>	<p>un des atomes d'oxygène donc du diol qui est donc <b>nucléophile</b> (étape 2)</p> <p>qui par <b>prototropie</b> donc échange de proton au sein de la même molécule conduit à une molécule (étape 3)</p> <p>conduit à une molécule avec un groupe <math>\text{H}_2\text{O}^+</math> qui est un bon <b>nucléophile</b> (étape 3)</p> <p>qui va donc partir pour former un carbocation tertiaire relativement <b>stable</b> (étape 4)</p> <p>ce carbocation va alors subir une attaque <b>nucléophile</b> de l'autre atome d'oxygène du diol (étape 5)</p> <p>après une réaction <b>acido-basique</b> (étape 6)</p>

Tableau 3 - catégorie des propriétés extraites des transcriptions de  $E_8$

Ces énoncés relèvent du niveau des propriétés, en effet «*nucléophile*», signifiant un bon groupement partant, est une propriété du groupement  $\text{H}_2\text{O}^+$ , de même les expressions «*qui protège l'acétone*», propriété du cycle, «*équilibre acido-basique*», «*nucléophile*», «*prototropie*», propriété d'une réaction, «*stable*», propriété du carbocation.

### Catégorie 3 : Niveau des théories

Dans cette catégorie apparaissent les énoncés de niveau théorique utilisés par les étudiants pour expliquer certaines étapes du mécanisme (tableau 4).



Catégorie	T1	T'1
Théorie	il faut un il faut donc <b>activer l'acétone</b> puisque puis pour que l'acétone puisse ensuite attaquer celle-ci (étape1)	le mécanisme d'une réaction d'acétalisation qui peut être <b>une méthode de protection</b> donc pour les cétones (bilan)  l'acétone <b>va être activée</b> (étape1)  va donc partir pour <b>former un carbocation tertiaire relativement stable</b> (étape 4)

Tableau 4 - catégorie des théories extraites des transcriptions de  $E_8$

La première phrase (étape 1, T2) est une justification théorique d'une étape. La deuxième (bilan, T'2) est une généralisation de la propriété de la « réaction d'acétalisation » comme « réaction de protection des cétones ». La dernière phrase (étape 4) est une argumentation d'une étape.

#### Catégorie 4 : Concision

Cette catégorie permet de comparer deux phrases d'une même étape du mécanisme, et de préciser laquelle est la plus concise (tableau 5).

Catégories	T1	T2
Concision	il y a ensuite un la fonction alcool que nous avons formée à partir de la cétone va ensuite capter l'atome d'hydrogène qui était cet atome d'hydrogène et donc après un équilibre encore acido basique va conduire ici à la formation d'un groupe $H_3O^+$ très nucléophile il y a donc fixation d'une des branches du diol sur la molécule de la même façon (étape 3)	qui par prototropie donc échange de proton au sein de la même molécule conduit à une molécule avec un groupe $H_2O^+$ qui est un bon nucléophile (étape 3)

Tableau 5 - catégories de concision extraites des transcriptions de  $E_8$

Pour décrire la même étape, l'étudiant emploie un seul mot « *prototropie* » (étape 3) en mai, alors qu'en septembre il utilise toute une phrase « *il y a ensuite un la fonction alcool que nous avons formée à partir de la cétone va ensuite capter l'atome d'hydrogène qui était cet atome d'hydrogène* » pour dire la même chose.

• **Catégorie 5 : Précision**

Cette catégorie permet de comparer deux phrases d'une même étape du mécanisme, et d'indiquer laquelle est la plus précise (tableau 6).

Catégories	T2	T'2
Précision	mécanisme de la protection d'une cétone par un diol (bilan)	le mécanisme suivant est le mécanisme d'une réaction d'acétalisation (Bilan)
	tout d'abord il faut un il faut donc activer l'acétone puisque puis pour que le diol puisse ensuite attaquer celle-ci (étape 1)	tout d'abord l'acétone va être activée pour pouvoir subir une addition nucléophile du diol et donc cela se fait par catalyse acide (étape 1)
	on observe ensuite l'attaque du second groupe OH du diol sur le carbocation tertiaire (étape 5)	ce carbocation va alors subir une attaque nucléophile (étape 5)

Tableau 6 - catégorie des précisions extraites des transcriptions de  $E_8$ 

Dans la catégorie précision, l'étudiant fournit le nom de la réaction « *réaction d'acétalisation* » alors qu'en septembre il se limite de parler du type de mécanisme « *mécanisme de la protection d'une cétone par un diol* » (bilan du mécanisme). De même pour commenter la première étape, en mai l'étudiant précise le nom de la réaction « *addition nucléophile* » alors qu'en septembre il se contente d'employer le verbe « *attaquer* ». Dans l'étape 5, il caractérise l'attaque « *attaque nucléophile* », mais en septembre il ne le signale même pas.

#### Catégorie 6 : Indicateur de doute

Dans cette catégorie sont rassemblées les expressions indiquant que l'étudiant n'est pas sûr de ce qu'il dit, en se reprenant, par exemple, pour modifier son point de vue. Lorsqu'un doute est détecté en septembre, la phrase correspondante donnée en mai par le même étudiant est mise en opposition, ce qui met en valeur le doute du début de l'année (tableau 7).

T2	T'2
c'est l'oxygène qui va non en fait ce on peut d'ailleurs écrire une forme mésomère	carbocation possède une forme mésomère pour ce carbocation

Tableau 7 - catégories des indicateurs de doute extraites des transcriptions de  $E_8$

Le fait que l'étudiant dise non et qu'il reprenne la phrase autrement, montre qu'il n'est pas sûr de lui et doute. Dans la phrase énoncée en mai, le doute ne subsiste plus.

· **Catégorie 7 : Vision globale**

L'étudiant globalise si, dans sa verbalisation, il évoque plus d'une étape du mécanisme (tableau 8).

Catégorie	T2	T'2
vision globale	le mécanisme de la protection d'une cétone par un diol avec une catalyse acide par le proton (bilan)	le mécanisme suivant est le mécanisme d'une réaction d'acétalisation qui peut être une méthode de protection donc pour les cétones (bilan)  il va donc y avoir réaction du diol sur la cétone avec une catalyse acide (bilan)

Tableau 8 - catégories de vision globale extraites des transcriptions de E<sub>8</sub>

Ces extraits révèlent la vision globale, l'étudiant décrit le bilan du mécanisme, qui n'est pas une étape.

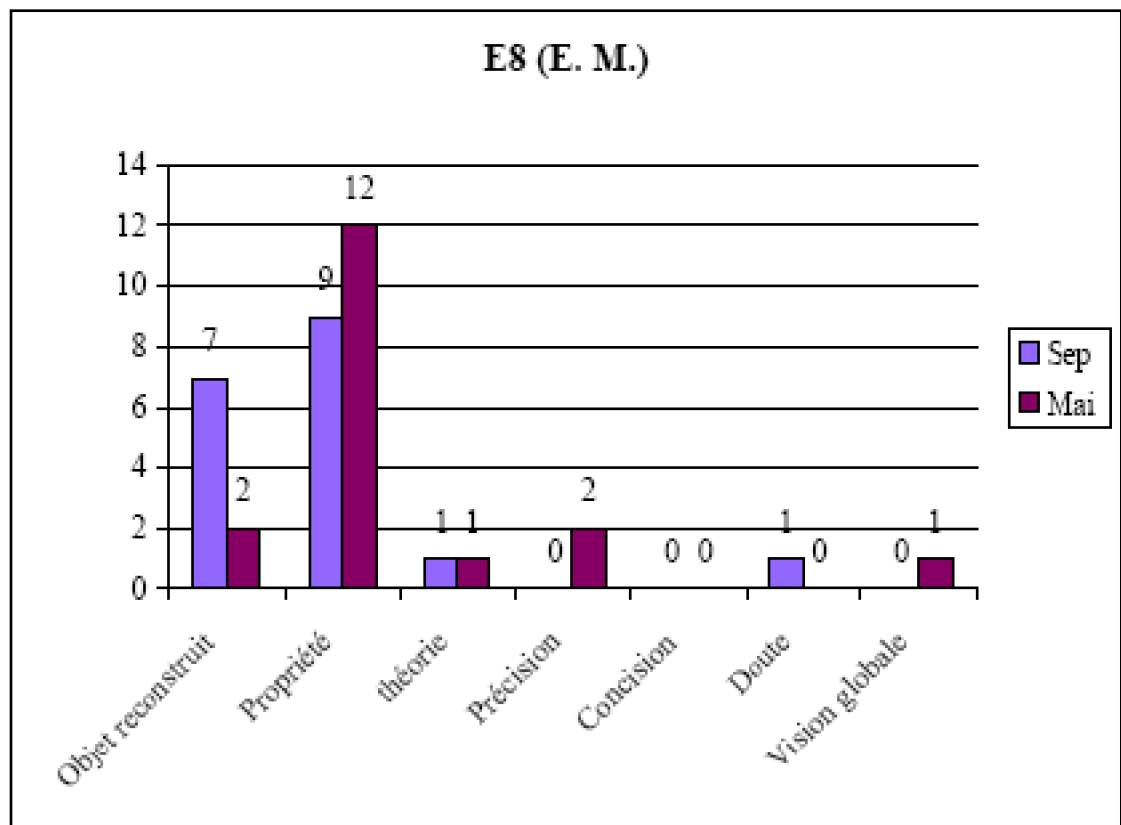
Les catégories utilisées par l'étudiant en septembre (T2) et en mai (T'2) ont été dénombrées et présentées dans le tableau 9.

Tableau 9 - évolution de l'apprentissage de l'étudiant E<sub>8</sub>

Catégories	T2	T'2	Δ
Objets reconstruits	7	2	-5
Propriété	9	12	3
théorie	1	1	0
Précision	0	2	2
Concision	0	0	0
Doute	1	0	-1
Vision globale	0	1	1

La colonne Δ est la différence entre Sep (T2) et mai (T'2) ; elle traduit l'apprentissage des étudiants à travers la formation reçue.

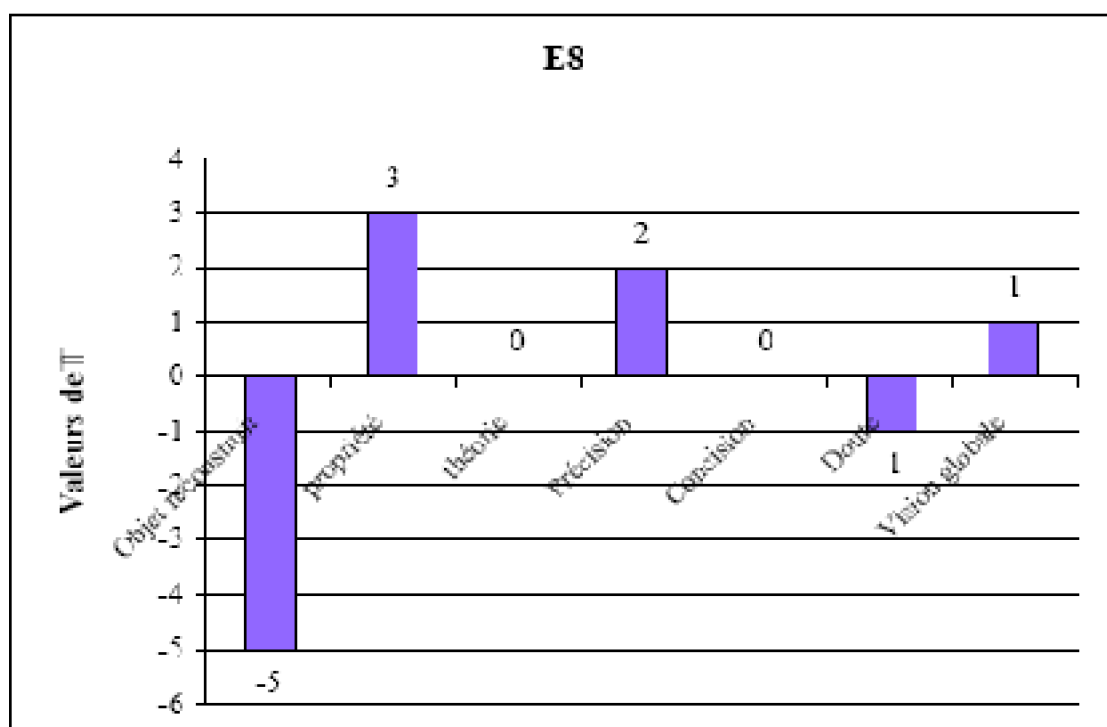
L'histogramme 1 est déduit du tableau 9.



*Histogramme 1- évolution de l'apprentissage de l'étudiant E<sub>8</sub>*

A partir du tableau 9 il apparaît que le nombre d'objets reconstruits et le doute diminuent, les nombres de propriétés, de visions globales et de précisions augmentent, le nombre de théories et de concisions est le même.

Les valeurs de  $\Delta$ , caractérisant l'évolution de l'apprentissage de l'étudiant E8, extraites du tableau 9, sont présentées dans l'histogramme 2.



Histogramme 2- Evolution des connaissances de l'étudiant  $E_8$ .

Les valeurs de  $\Delta$  sont négatives, positives ou nulle. Pour les objets reconstruits et l'indicateur de doute, ces valeurs sont négatives ce qui traduit une diminution du nombre de ces deux catégories. Il y a augmentation des propriétés, de la précision, de la concision et de la vision globale. Le nombre de catégories théories et de concision est le même.

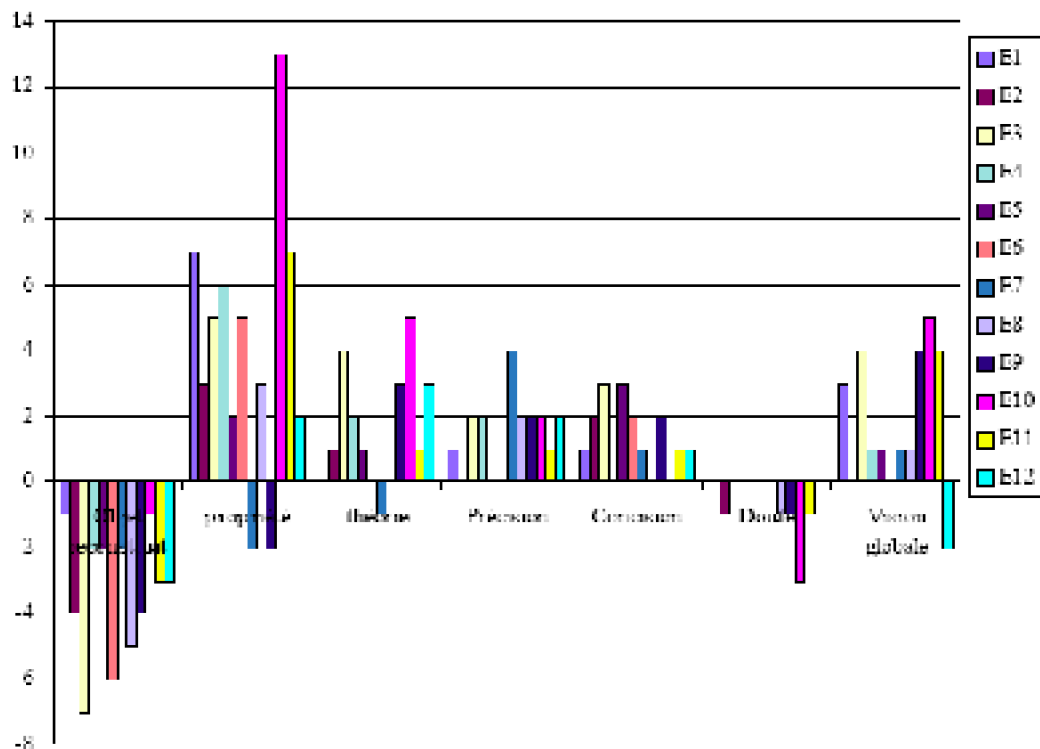
#### 4. catégorisation par niveaux de savoir des productions orales de tous les étudiants

Les productions orales, des 12 étudiants lors de la verbalisation du mécanisme, ont été catégorisées, les différences ( $\Delta$ ) entre mai et septembre sont représentées dans le tableau 10.

Tableau 10 - évolution des fréquences des catégories entre septembre et mai

Catégories	$\Delta$ ( $E_1$ )	$\Delta$ ( $E_2$ )	$\Delta$ ( $E_3$ )	$\Delta$ ( $E_4$ )	$\Delta$ ( $E_5$ )	$\Delta$ ( $E_6$ )	$\Delta$ ( $E_7$ )	$\Delta$ ( $E_8$ )	$\Delta$ ( $E_9$ )	$\Delta$ ( $E_{10}$ )	$\Delta$ ( $E_{11}$ )	$\Delta$ ( $E_{12}$ )
Objet reconstruit	-1	-4	-7	-2	-2	-6	-2	-5	-4	-1	-3	-3
propriété	7	3	5	6	2	5	-2	3	-2	13	7	2
théorie	0	1	4	2	1	0	-1	0	3	5	1	3
Précision	1	0	2	2	0	0	4	2	2	2	1	2
Concision	1	2	3	0	3	2	1	0	2	0	1	1
Doute	0	-1	0	0	0	0	0	-1	-1	-3	-1	0
Vision globale	3	0	4	1	1	0	1	1	4	5	4	-2

- $E_i$  : symbolise l'étudiant i
- $\square$  indique la différence des fréquences des catégories entre mai et septembre.

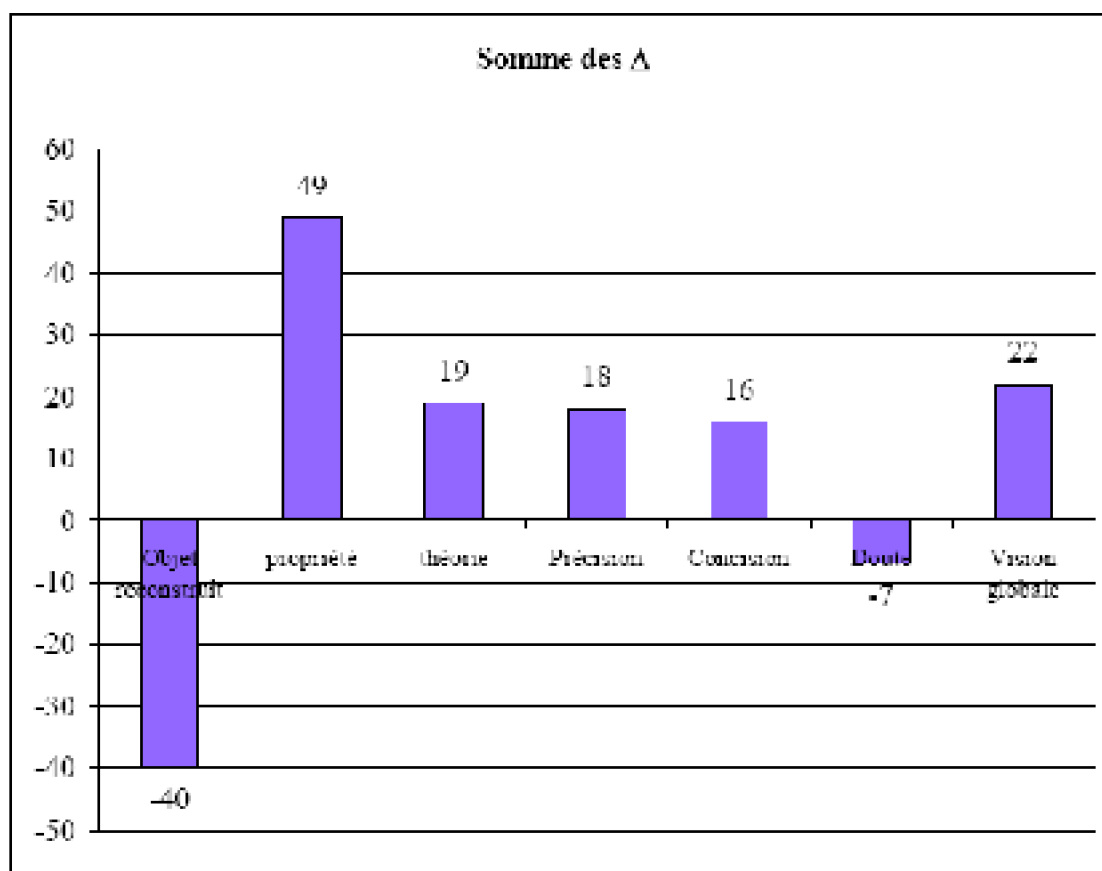


Histogramme 3 - évolution des fréquences des catégories entre septembre et mai

- Les fréquences des catégories *Objet reconstruit* et *Doute* diminuent ( $\Delta < 0$ ),
- Les fréquences des autres catégories augmentent ( $\Delta > 0$ ).

Ce résultat est valable pour tous les étudiants sauf  $E_7$ ,  $E_9$  et  $E_{12}$ . Pour  $E_7$  le nombre de *propriétés* et de *théories* diminue entre les mois de mai et de septembre, par contre pour  $E_9$  les *propriétés* diminuent, pour  $E_{12}$  la *vision globale* diminue.

Les sommes de toutes les différences des catégories ( $\square$ ) entre les mois de mai et de septembre ont été regroupées (tableau 11).



Histogramme 4 – évolution de la fréquence des catégories (□).

- les nombres des *objets reconstruits* et de *doute* diminuent ( $\square < 0$ )
- Les nombres de *visions globales*, de *précisions*, de *concisions*, de *théories* et de *propriétés* augmentent ( $\square > 0$ )
- Exploitation des données

En mai (histogramme 4), les étudiants :

- impliquent plus d'arguments de nature théoriques et de propriétés,
- utilisent moins d'*objets reconstruits* et de *doute*,
- sont plus concis et plus précis.

Ces résultats seront analysés (paragraphe Analyse didactique, p. 143).



## Analyse linguistique

A partir de certains exemples de transcription, les verbes employés par les étudiants sont classés et les transcriptions catégorisées.

### Extraits de transcription :

- Exemple 1 : "le doublet de l'oxygène va pouvoir **se déplacer** pour former la double liaison qui est ici" (E<sub>10</sub>, septembre 2001)
- Exemple 2 : "il y'a une double liaison et un C<sup>+</sup> c'est pas stable donc la double liaison va **se casser** et on va retrouver donc un oxygène avec deux doublets non liants et un carbocation" (E<sub>6</sub>, septembre 2001)
- Exemple 3 : "le futur OH<sub>2</sub><sup>+</sup> **est** un bon groupement partant ..." (E<sub>1</sub>, mai 2002)
- Exemple 4 : "**on a** migration d'un doublet électronique" (E<sub>12</sub>, septembre 2001)

### Classification de verbes

Tous ces extraits contiennent des structures verbales et existentielles qui expriment l'évolution de processus, mis à part l'exemple 3 dont le processus n'évolue pas.

Dans le 1<sup>er</sup> exemple, le verbe **se déplacer** exprime l'évolution d'un processus dans un cadre spatio-temporel, il s'agit d'un changement de lieu d'un objet : c'est un verbe de mouvement. En effet, le doublet d'électrons qui était sur l'atome d'oxygène se déplace entre cet atome d'oxygène et l'atome voisin pour former une double liaison.

Dans le 2<sup>ème</sup> exemple, le verbe **se casser** exprime l'évolution d'un processus dans un cadre temporel, c'est un verbe de transformation et de changement d'état : en effet, la double liaison se casse, se transforme et change d'état puisqu'elle devient une simple liaison.

Dans le 3<sup>ème</sup> exemple, le verbe **être** est un verbe d'état. Il décrit l'état de la molécule d'eau (*objet*) qui part facilement.

Dans le 4<sup>ème</sup> exemple, la structure utilisée (*on a*) est une structure impersonnelle, absence de sujet, et le terme *migration* indique l'existence d'une action : c'est une structure existentielle.

A partir de ces exemples, les structures verbales et existentielles utilisées par les étudiants peuvent être classées en :

- verbes de mouvement (se rabattre, aller, sauter, migrer etc.)
- verbes exprimant la transformation et le changement d'état (devenir, paraître, disparaître, etc.)
- verbes exprimant l'état (être, rester etc.)
- on a et il y a sont des structures existentielles.

Lors de l'analyse des transcriptions tous les verbes utilisés par les étudiants pour

## De la représentation symbolique au langage lors de l'apprentissage des mécanismes en chimie organique dans l'enseignement supérieur

commenter un mécanisme ont été catégorisés avec ces quatre types de structures verbales et existentielles. Cependant quelques verbes n'expriment aucune des 4 catégories, comme par exemple : dire, écrire, représenter, comprendre, etc. Les verbes utilisés dans le para-discours et le méta-discours ne sont pas pris en compte ; ils ne sont pas employés pour la description du mécanisme. Le para-discours représente le point de vue du lecteur sur le mécanisme et le méta-discours est utilisé par l'étudiant pour organiser son commentaire (cadre théorique, p. 71 - 76).

### Catégorisation des transcriptions

Dans cette analyse, les structures verbales et existentielles utilisées par les étudiants, lors du commentaire des mécanismes, sont catégorisées selon 4 structures verbales et existentielles, *Mouvement*, *Transformation* et *Changement d'état*, *Etat* et *Existentielles*.

Nous avons trouvé la liste de verbes que nous avons représentée dans le tableau suivant (Tableau 11)

Tableau 11 - Listes des structures verbales et existentielles utilisées par les étudiants

Mouvement	Transformation	Etat	Existentielles
Aller / s'en aller	Accentuer Accepter	Apparaître Attirer	Il va pouvoir y avoir Il
Attaquer / Ré-attaquer	Activer Additionné	Avoir Avoir tendance	va y avoir Il y a Il y
Attirer Attraper	Augmenter Changer	d'attirer Bénéficiaire	aura On a On aura
Bouger Capter	Charger Comblé	Catalyser Céder	On aurait On avait
Ejecter Fixer	Conduire Créer	Charger Compenser	On peut avoir On va
Interagir Laisser	Devenir Disparaître	Constituer Donner	avoir On va pouvoir
Mener Migrer Partir	Donner Eliminer Etre	Ecrire Être Faciliter	avoir
Réagir Retrouver Se	Exalter Faire	Manquer permettre	
déplacer Se fixer Se	Favoriser Fixer	permettre Porter	
mettre Se placer Se	Former / Reformé	Posséder préférer	
rabattre Se refermer	Induire Libérer	Présenter Protéger	
Se retrouver Tirer	Obtenir / Réobtenir	Relier Respecter	
	Partager Perdre	Rester S'écrire	
	prendre Récupérer	S'effectuer S'appeler	
	Redevenir Redonner	Se comporter Se	
	Regénérer Se casser	faire Servir Stabiliser	
	Se charger Se		
	déprotonner Se		
	produire Se protonner		
	Se retrouver		
	Stabiliser Subir		
	Trouver / Retrouver		

- Définition de quelques verbes dans le contexte de la chimie

Les verbes dont le sens courant n'est pas le même que celui reconnu en chimie ont été définis. Exemple : dans le sens courant, respecter signifie « porter une profonde estime à

en vertu de la loi du droit d'auteur.

quelqu'un, le traiter avec égards en raison de son âge, sa position sociale, sa valeur morale ou intellectuelle. Synonyme : honorer, révéler » (Dictionnaire ATILF),

En chimie, dans cette classification, ce verbe exprime *l'état* d'une molécule ; elle respecte ou non la règle de l'octet, elle obéit ou elle n'obéit pas à la règle de l'octet, etc.

- **Apparaître** : arriver, se montrer, être vu de manière inattendue. Synonyme paraître, surgir, survenir (catégorie état)
- **Attaquer** est un verbe d'action, en chimie il signifie aller vers, il exprime donc le mouvement.
- **Attirer** signifie : exercer une force sur un objet en le déplaçant vers un lieu déterminé
- **Attraper** : saisir rapidement, d'un mouvement brusque
- **Capter** : prendre, s'emparer (posséder) par des moyens concrets de différente nature (à décider s'il s'agit de verbe de mouvement ou de changement d'état)
- **Comblé** : remplir une mesure, un récipient au maximum de sa capacité avec un surplus qui dépasse
- **Conduire** : mener, animer, pousser, inspirer la façon d'agir
- **Consister** : avoir son essence, ses propriétés dans... ; être équivalent à..., reposer sur quelque chose ; avoir pour nature ou pour origine, se réduire à, se manifester par tel ou tel effet (catégorie état)
- **Constituer** : en parlant d'un élément unique ou d'une seule espèce, former l'essence de quelque chose, être l'élément essentiel qui compose quelque chose (catégorie état)
- **Laisser** : quitter momentanément, quitter délibérément et définitivement, abandonner -une activité, une opinion- ; cesser de s'occuper de, de parler de. Synonyme de *renoncer* à, abandonner -une direction-.
- **Libérer** : dégager, détacher quelque chose; mettre un mécanisme en position de fonctionnement. Essentiellement utilisé dans le domaine de la biologie, de la chimie. Faire apparaître ce qui existe à l'état latent.
- **Manquer** : faire défaut; être absent là où on devrait être, ou être en quantité insuffisante; être en moins dans un ensemble. (catégorie état)
- **Paraître** : se présenter à la vue soudainement ou progressivement ; commencer à exister, venir au jour. Synonyme éclore, naître ; être manifeste, être mis en évidence. Synonyme éclater, surgir, ressortir. Être visible, être vu ; se voir (catégorie état)
- **Prendre** : mettre avec soi ; saisir quelque chose ou quelqu'un, généralement avec une partie du corps ou avec un instrument, à des fins diverses. Saisir quelque chose et l'emporter avec soi ou le mettre sur soi
- **Protéger** : être, constituer quelque chose qui empêche que quelqu'un ou quelque chose ne soit soumis à une agression, à un risque quelconque. Être ce qui favorise le développement, la poursuite de certaines activités ou de certains comportements. Synonyme de *favorise*, antonyme de *entraver*, *gêner*.

- **Protéger** : synonyme défendre, favoriser; antonyme entraver.
- **Retrouver** : savoir à nouveau, après avoir cherché, où est quelque chose ou quelqu'un, perdu ou disparu. (catégorie transformation et changement d'état), être à nouveau dans un lieu, un milieu (catégorie état)
- **S'effectuer** : Être mis à exécution,
- **Se retrouver** : être à nouveau, dans un lieu ; ne pas avoir progressé ; être à nouveau dans la position quittée ; être à nouveau dans une situation connue ; après une expérience, un événement se trouver dans des dispositions nouvelles, (catégorie mouvement)
- **Se servir** : utiliser quelque chose, employer pour.
- **Servir** : être d'une grande utilité (verbe d'état)
- **Subir** : synonyme accepter, se résigner; antonyme agir.
- **Traduire** : transposer la réalité, la représenter par les arts graphiques ou plastiques, représenter par un graphique, par une carte, transposer un projet dans la réalité, le concrétiser.
  
- Exemples de phrases avec des structures verbales et existentielles utilisées par les étudiants lors de la verbalisation du mécanisme T2 et T'2

Exemples des verbes de mouvement :

1.

- **Aller / s'en aller** «  $H_2O^+$  s'en va »  $E'_6$
- **Attaquer** « l'oxygène du glycol peut attaquer sur le carbone »
- **Attirer** : « la molécule d'alcool ... va attirer l'atome de / l'atome pardon d'hydrogène placé sur l'atome d'oxygène adjacent »  $E_5$
- **Attraper** « les doublets libres qui peuvent attraper capter les protons »
- **Laisser** « quand l'oxygène part il laisse une lacune sur le carbone ici »  $E_{11}$
- **Mener** « on aura une sorte de mécanisme qui est facilité par concertation en fait des mouvements d'électrons donc qui mène à cet intermédiaire ici » ( $E_5$ )
- **Migrer** « le proton a migré »
- **Placer** « on a une forme mésomère de ce carbocation qui place la charge positive sur l'oxygène »  $E_{12}$
- **Réagir** « un autre groupement carbonyle doit pouvoir réagir de manière spécifique »
- **Retrouver** « une fois qu'on est arrivé à cette étape là donc a molécule on la retrouve là » ( $E_2$ )
- **Se mettre** « le proton va se mettre sur l'édifice le plus stable »  $E_7$
- **Se placer / venir se placer** « va venir se placer sur le carbone qui... »
- **Se rabattre** « la double liaison du carbonyle se rabat sur l'oxygène »
- **Se refermer** « le cycle se referme il y a formation de ce cycle »  $E_8$

- **Se retrouver** « ce proton va subir une migration et se retrouver sur la fonction hydroxyle » (E' <sub>12</sub>)

Exemple de phrases avec de verbes de transformation et de changement d'état : 1.

- **Accentuer** « ça va accentuer l'électrophilie de ce carbone » E<sub>10</sub>
- **Activer** : « il va donc être activé par un proton H<sup>+</sup> »
- **Additionner** « on commence par en fait additionner un proton » E<sub>10</sub>
- **Attirer** « qui va avoir tendance à attirer vers lui ses électrons »
- **Augmenter** « cela va augmenter le attend que je réfléchie euh l'électrophilie voilà du carbone » E<sub>10</sub>
- **Casser** « l'hydroxyde formé avec les deux doublets non liants de l'oxygène va encore avoir un nom d'un doublet pour former pour casser et former une nouvelle liaison » E<sub>6</sub>
- **Comblé** : « ... que l'oxygène va combler en formant une double liaison en l'oxygène » / « le doublet de l'oxygène qui va aller combler le doublet de l'hydrogène » E<sub>11</sub>
- **Créer** : (c'est le futur qui exprime le changement d'état) « le doublet non liant du groupe OH qui va créer une nouvelle liaison en donnant son doublet d'électrons ... »
- **Devenir** « il partage un de ces électrons il devient positif »
- **Disparaître** « un déplacement de doublet permet de faire disparaître ce carbocation » « le nucléophile H<sub>2</sub>O qui va ensuite donc disparaître pour former un carbocation très actif » (E<sub>5</sub>)
- **Donner** « c'est l'oxygène qui peut donner son doublet non liant pour faire une double liaison » « on arrive à ce composé là donc avec une charge positive sur l'oxygène puisqu'il a donné un doublet non liant » E<sub>6</sub>
- **Éliminer** : « ce groupe partant est éliminé »
- **Être** : (c'est le futur qui exprime le changement d'état : va être, sera) « va être électropositif, va être orange, va être un bon groupement partant, ... »
- **Exalter** « grâce à l'acide qui va donc exalter l'électrophilie de la fonction carbonyle »
- **Faire** « utilisation de la propriété toujours nucléophile de l'alcool ici qui va attaquer le carbocation pour faire un cycle » E<sub>5</sub>
- **Favoriser** « on va favoriser l'attaque en fait du nucléophile OH<sup>-</sup> sur le carbone du carbonyle » E'<sub>6</sub>
- **Former** : « le doublet non liant de l'oxygène en fait va former une liaison avec le carbone »
- **Libérer** « H<sub>2</sub>O nucléophile va être libérée » E<sub>8</sub>
- **Obtenir** « H<sub>2</sub>O<sup>+</sup> s'en va donc on obtient un carbocation » E'<sub>6</sub>
- **Partager** « celui ci comme il a donné un de ces électrons enfin il partage un de ces

- électrons il devient positif* »  $E_9$
- **Perdre** : « *là en fait oui on va perdre l'eau étant un bon groupe partant* »  $E_{10}$
  - **prendre** « *on a donc attaque de l'ion  $H^+$  par un des doublets libres de l'oxygène qui donc prend alors une charge positive* »  $E_3$
  - **Récupérer** « *...aussi par hydrolyse pour récupérer notre fonction cétone* »  $E_5$
  - **Redevenir** « *avec rabattement de la double liaison sur l'oxygène qui redevient neutre* »  $E_9$
  - **Redonner** « *... avec déplacement de la double liaison qui va nous redonner donc OH notre oxygène qui...* »  $E'_6$
  - **Reformer** « *on va reformer les cations les protons  $H^+$*  »  $E'_{11}$
  - **régénérer** : « *le  $H^+$  est bien un catalyseur puisqu'il est régénéré en fin de réaction* »
  - **Réobtenir** « *ainsi activé il va être un bon groupe partant donc on réobtient ici notre carbone carbocation* »  $E_9$
  - **Retrouver** « *on va retrouver un oxygène avec ces doublets non liants* »  $E_6$  (3) / *on retrouve un intermédiaire* »
  - **Se casser** : « *la double liaison va se casser* »
  - **Se charger** « *on a attaque de ce carbocation tertiaire par le doublet de l'oxygène qui donc se charge positivement* »  $E_3$
  - **Se protonner** « *donc le proton de cet oxygène va aller se fixer sur le OH libre et puis en fait ... donc il se protonne* »  $E_9$
  - **Se retrouver** « *on se retrouve avec un une sorte de fonction carbonyle* »  $E_{12}$
  - **Stabiliser** « *le carbocation ainsi crée va être stabilisé par mésomérie* »  $E'_{12}$
  - **Subir** : « *un atome de carbone électrophile qui va subir l'attaque d'un doublet de l'oxygène* » « *ce carbocation est plus stable et ce carbocation va lui subir donc une addition nucléophile de la part de...* »  $E'_4$

Exemple de phrases avec de verbes d'état :

1.

- **Apparaître** : « *le bilan ne fait pas apparaître ces ions  $H^+$*  »
- **Attirer** « *charge plutôt négative sur l'oxygène puisque ce ci a tendance d'attirer les électrons* »  $E_1$
- **Avoir** : « *un carbocation peut avoir une forme mésomère* »
- **Bénéficier** « *attaque d'une des fonctions alcool du diol sur le carbone □ + du carbonyle qui en plus dans ce cas là bénéficie d'une assistance électrophile* »  $E'_{12}$
- **Céder** « *l'acide cède des hydrogènes* »
- **Charger** « *le carbone ici il est disons chargé plus* »  $E_9$
- **Compenser** « *la double liaison du carbonyle se rabat sur l'oxygène et compense alors la charge positive* »  $E_3$

- **Compenser** « le doublet donc qui relie l'hydrogène à l'autre oxygène se rabat sur l'oxygène donc compense la charge positive »
- **Constituer** : « un groupement  $H_2O^+$  qui va constituer un bon groupe partant »  $E'_{11}$
- **Manquer** « il manque une double liaison ici non (?) »  $E_3$
- **Porter** « va venir se placer sur le carbone qui porte cette charge plus » / « ... avec un oxygène protonné qui porte une charge plus »  $E'_{11}$
- **Posséder** « ce carbocation possède une forme mésomère »  $E_8$
- **Protéger** : « il y a formation de ce cycle qui protège l'acétone que nous avons formée »  $E_8$
- **Relier** « il attaque l'hydrogène et le doublet donc qui relie l'hydrogène à l'autre oxygène se rabat... »  $E_3$
- **Respecter** « pour créer notre oxygène qui respecte la règle de l'octet »  $E_6$
- **S'effectuer** « c'est un mécanisme qui s'effectue avec une catalyse acide »
- **Se comporter** « l'oxygène qui avec ses doublets peut se comporter comme une base »
- **Se faire** « cette protection se fait pareil avec hydrolyse acide »  $E_4$ , « le bilan entropique est plus favorable donc la réaction se fait mieux »  $E'_{10}$
- **Servir** : « dans ce mécanisme le proton sert de catalyseur de la réaction »  $E_5$
- **Stabiliser** : « c'est toujours pour cet oxygène qui est assez stabilisé en proton »  $E_7$

Phrases avec des structures existentielles, exemple :

1.

- Cas où les existentielles sont suivies d'un événement
  - « On va avoir libération d'eau » ( $E_4$ )
  - « Il y a formation de cet intermédiaire »
- cas où les existentielles sont employées pour indiquer un ou plusieurs objets
  - on a
    - \* « on a un groupement  $OH_2^+$  »
    - \* « on a une forme mésomère »
    - \* « on avait une forme héli-acétal »
    - \* « on a un acétal cyclique »
    - \* « on va avoir les différentes étapes »
    - \* « on a ici une liaison OH »
    - \* « comme on avait au début »
    - \* « on a deux doublets non liants » ( $E_6$ )

\* « on peut avoir deux substituants » ( $E_2$ )

\* « on a simplement deux formes »

· il y a

– « il y a une suite là non (?) » ( $E_6$ )

– « il y a une double liaison »

– « il y a un plus »

– « il y a existence de deux formes mésomères »

· Cas où les existentielles sont suivies d'une phrase contenant un verbe

– « *On a c'est en fait c'est une réaction qui est catalysée par les acides* » ( $E_5$ )

– « *On a le proton qui va être l'une des deux doubles liaisons non liantes de l'oxygène qui va capter le proton ...* » ( $E_5$ )

– « *On aura une sorte de mécanisme qui est facilité par concertation en fait des mouvements d'électrons* »

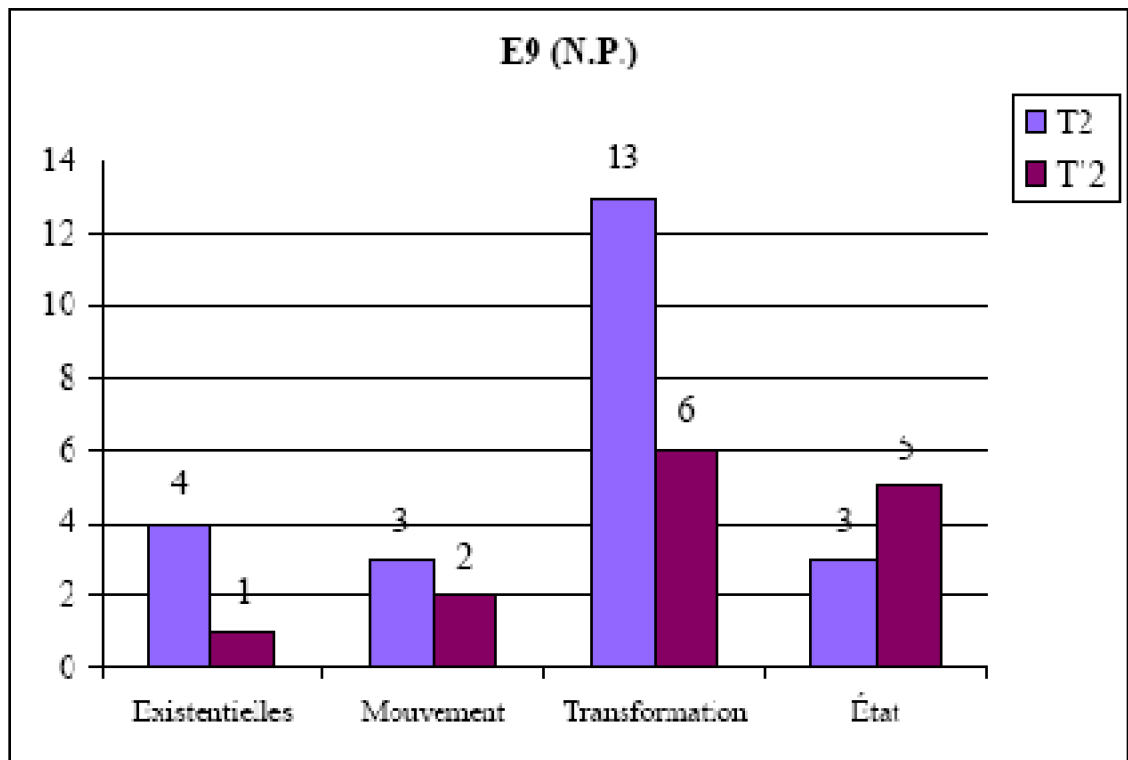
### Exemple de catégorisation de $E_9$

L'étudiant  $E_9$  est représentatif de tout l'échantillon pour la catégorisation des structures verbales et existentielles (tableau 12 –histogramme 5).

Tableau 12 - Fréquence des structures verbales et existentielles, E9 en septembre (T2) et en mai (T'2)

Verbes	T2	T'2
Existentielles	4	1
Mouvement	3	2
Transformation	13	6
État	3	5





Histogramme 5 - Fréquence des structures verbales et existentielles,  $E_9$  en septembre (T2) et en mai (T'2)

Le nombre de verbes d'état augmente, et le nombre des autres types de structures verbales -mouvement, transformations et existentielles- diminuent.

### Catégorisation des transcriptions de tous les étudiants

Les transcriptions ont été catégorisées pour la totalité des étudiants, selon les structures verbales et existentielles, (tableau 13).

Tableau 13 - fréquence des structures verbales et existentielles utilisées par tous les étudiants en septembre (T2) et en mai (T'2)

	E <sub>1</sub>		E <sub>2</sub>		E <sub>3</sub>		E <sub>4</sub>		E <sub>5</sub>		E <sub>6</sub>		E <sub>7</sub>		E <sub>8</sub>		E <sub>9</sub>		E <sub>10</sub>		E <sub>11</sub>		E <sub>12</sub>	
Verbes	T <sub>1</sub>	T' <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T' <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T' <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T' <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T' <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T' <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T' <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T' <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T' <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>	T' <sub>10</sub>	T <sub>11</sub>	T' <sub>11</sub>	T <sub>12</sub>	T' <sub>12</sub>
Existentielles	7	11	6	3	6	4	5	5	6	2	8	4	2	2	6	3	4	1	3	7	8	6	6	5
Mouvement	3	1	7	2	5	0	5	0	5	1	3	2	6	2	8	4	3	2	2	4	7	5	4	4
Transformation	5	3	9	6	7	5	1	6	7	3	14	10	4	6	10	5	13	6	10	11	9	11	9	8
État	6	9	7	5	2	5	1	4	5	3	7	5	10	2	2	6	3	5	0	10	3	7	6	3

- La plupart des étudiants, utilisent moins de verbes de mouvement en mai, à l'exception de l'étudiant  $E_{10}$  pour lequel la fréquence passe de 2 à 4. Pour  $E_{12}$  ce nombre (4) reste constant et de façon générale, il n'y a pas d'évolution palpable.
- Le nombre de verbes de transformation et de changement d'état diminue en mai à l'exception de l'étudiant  $E_4$  pour lequel ce nombre passe de 1 à 6. et l'étudiant  $E_{10}$

en vertu de la loi du droit d'auteur.

pour lequel ce nombre passe de 10 à 13.

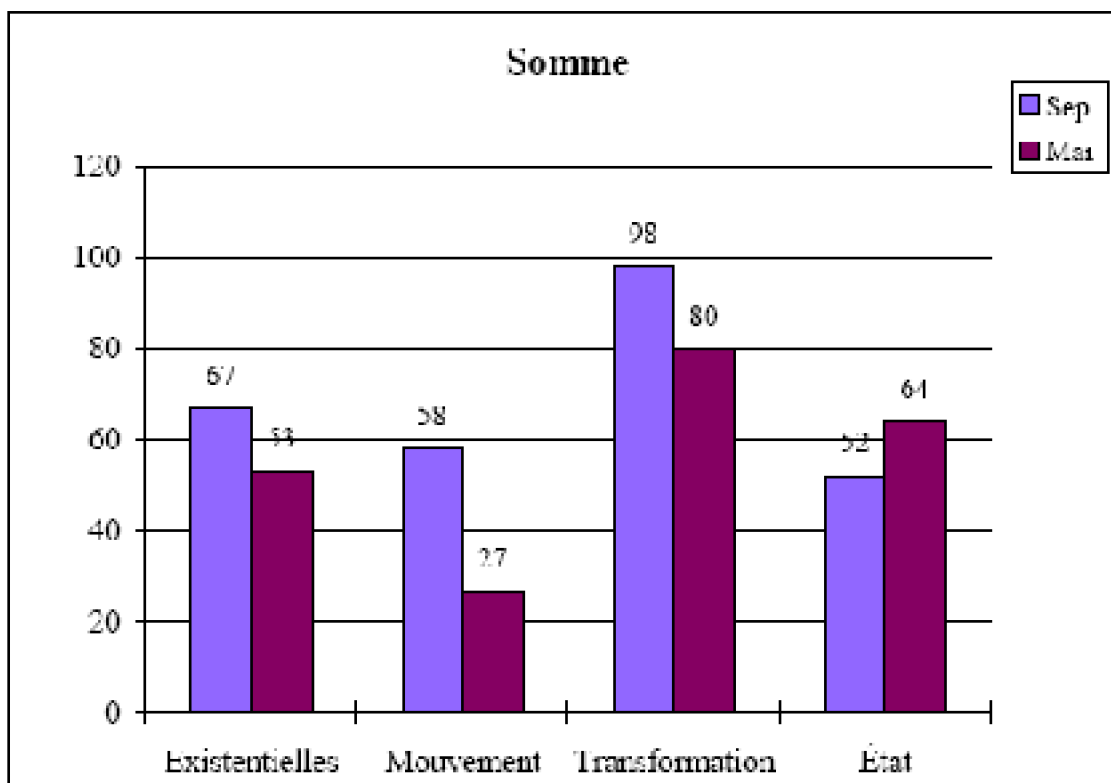
- Les verbes d'état, en revanche, sont plus nombreux en mai pour la moitié des étudiants. Pour 4 étudiants, la diminution est faible (2 à 3 verbes).  $E_2$  pour lequel ce nombre passe de 8 à 5,  $E_5$  de 5 à 3,  $E_7$  de 5 à 4 et pour  $E_{12}$  de 6 à 4. Pour les deux autres étudiants  $E_6$  (5 verbes) et  $E_8$  (4 verbes), le nombre de verbes d'états reste constant.
- Le nombre des existentielles est variable, diminue pour 8 étudiants, augmente pour 2 et reste constant pour 2 autres. certains étudiants emploient beaucoup les structures existentielles et d'autres moins.
- Sommes des verbes de tous les étudiants

La somme de chaque catégorie de verbes a permis de généraliser le résultat précédent, (tableau 14, histogramme 6).

**Tableau 14 - somme des fréquences des structures verbales et existentielles**

Verbes	T2	T'2
Existentielles	67	53
Mouvement	58	27
Transformation	98	80
État	52	64

Le résultat trouvé pour chaque étudiant se généralise pour tous les étudiants. (Histogramme 6) : diminution des existentielles (67 - 53), des verbes de mouvement (58 - 27) et des verbes de transformation et de changement d'état (98 - 80) et augmentation des verbes d'état (52 - 64).



Histogramme 6 -Somme de tous les verbes utilisés par tous les étudiants en mai et en septembre

#### 6.1.4. Interprétation des résultats et discussion

Dans une première étape, les résultats des analyses didactique et linguistique sont interprétés séparément

##### Analyse didactique

L'analyse par niveaux de savoir montre qu'entre septembre et mai :

- les catégories *Objet reconstruit* et *Doute* diminuent
- les catégories *Vision globale*, *Précision*, *Concision*, *Théorie* et *Propriété* augmentent.

La diminution de l'utilisation des *objets reconstruits* prouve que les étudiants ne se limitent plus à la lecture brute des symboles. Nous déduisons qu'ils ont appris, au cours de leur année de préparation de l'agrégation, un langage leur permettant de décrire *les objets* différemment que par leurs représentations symboliques. En effet dans leurs transcriptions, ils remplacent la simple lecture des symboles (carbone, hydrogène, doublet, etc.) par les propriétés des objets et des événements (attaque nucléophile, groupement protecteur, carbone électropositif, etc.). Ceci pourrait expliquer l'augmentation de la fréquence de la catégorie *propriété*.

Exemple : pour E<sub>12</sub> qui décrit une même étape de mécanisme :

- en septembre, « on va avoir attaque d'un **doublet** de la fonction **OH** généré sur le **proton** issu du **diol** qui est encore fixé pour obtenir donc une autre espèce chargée toujours »,
- en mai, « *ce **proton** va subir une migration et se retrouver sur la **fonction hydroxyle** qui va devenir donc un **bon groupe partant*** »

En mai, les étudiants sont capables de décrire les propriétés des systèmes chimiques (objets ou leurs représentations, événements ou leurs représentations, ...) et ceci pourrait être dû d'une part au remplacement de certains objets par leurs propriétés, comme illustré au paragraphe précédent, d'autre part à une utilisation plus abondante des propriétés. En effet dans certains extraits de productions des étudiants, se trouvent en mai des phrases qui n'ont pas d'équivalent en septembre. Ces expressions sont riches en propriétés (extrait 16) :

**« on va étudier aujourd'hui le mécanisme d'acétalisation puisqu'on part d'une cétone ici la propanone ... on obtient un composé qui s'appelle un acétal ... un acétal est un composé de ce type avec un carbone relié à deux liaisons portant deux liaisons C O simple donc ici on a un acétal cyclique mais peut être non cyclique ... c'est une réaction qui est équilibré ici en milieu basique ... cet acétal qui est une entité qu'on utilise souvent en tant que groupement protecteur pour les composés carbonylés » (E<sub>1</sub>) Extrait 16**

Cet extrait, sur le bilan du mécanisme, est issu d'un commentaire fait en mai. Cet étudiant, en septembre, est passé directement à la description des étapes du mécanisme sans faire de commentaires sur le bilan.

Les étudiants emploient plus de théorie en mai qu'en septembre. Ce résultat est en accord avec l'hypothèse d'apprentissage reçu pendant cette année de préparation ; Ils ont acquis de nouvelles théories, appris à les utiliser pour l'argumentation des passages entre les étapes d'un mécanisme. Dans certains extraits, les phrases employées pour commenter une même étape sont riches en théorie et propriété en mai, alors que les phrases de références employées en septembre n'en contiennent pas ou contiennent des éléments appartenants à la catégorie des objets reconstruits, comme le montre l'exemple suivant :

- en septembre, « puis on a libération d'une **molécule** de **H<sup>+</sup>** pour retrouver l'électroneutralité de l'**oxygène** on obtient enfin une un **acétal** » (E<sub>1</sub>)
- en mai, « suivie d'une **réaction acido-basique** puisque l'**acétal protoné est relativement instable** dans l'eau on peut avoir la formation de l'**acétal** » (E'<sub>1</sub>)

La première phrase comprend des objets reconstruits (*molécule de H<sup>+</sup>, oxygène et acétal*) ; c'est une simple lecture des symboles de la réaction. Alors que la deuxième phrase contient des éléments du niveau des propriétés (*réaction acido-basique, l'acétal protoné est relativement instable*) et d'autres du niveau de la théorie (*puisque l'acétal est relativement instable dans l'eau on peut avoir la formation de l'acétal*). L'étudiant décrit les systèmes chimiques par leurs propriétés et argumente cette étape à l'aide d'une théorie.

Nous pouvons conclure que les trois niveaux de savoir (*objets reconstruits, propriétés*

et théorie) sont liés, la diminution des *objets reconstruits* est accompagnée par une augmentation des *propriétés* et de la *théorie*. Dans les exemples précédents, la simple lecture des symboles de l'équation d'une ou plusieurs étapes du mécanisme est remplacée par une description des objets et des événements ainsi qu'une argumentation, une justification théorique ou une explication de l'étape de ce mécanisme.

L'augmentation de la catégorie de la **vision globale du problème** prouve que les étudiants ne se limitent plus à l'étape en cours. En fin de leur année de préparation, lors de la description du mécanisme, les étudiants ont une vision du passé des molécules et font de la méta lecture. Ceci justifie l'hypothèse d'apprentissage (H1, p. 115).

A partir des transcriptions, il apparaît que les étudiants commentent le bilan du mécanisme, et font un commentaire spécial sur tout le mécanisme à la fin. Ces commentaires sont généralement du niveau de la *vision globale*, puisqu'il ne s'agit pas de la description d'une étape. Deux étudiants ( $E_1$  et  $E_{10}$ ) ne font pas de commentaire du bilan en septembre alors qu'en mai tous les étudiants le font. Certains commentaires du bilan donnés en septembre, ne sont pas du niveau de la globalisation, alors que les extraits équivalents fournis en mai montrent une globalisation.

- Exemple
- en septembre : « alors pour le premier mécanisme on a c'est en fait c'est une réaction qui est catalysée par les acides » ( $E_5$ )
- en mai : « Bain c'est le mécanisme ... donc l'acétalisation ... donc c'est une réaction équilibrée donc réversible donc catalysé par des acides et **l'intérêt d'utiliser du diéthylène glycol en fait que leur action elle va être favorisée entropiquement par rapport à l'utilisation de deux alcools par exemple** / donc le mécanisme radi » ( $E'_5$ )

La première phrase est une lecture du bilan, l'étudiant a devant lui une équation avec un  $H^+$  sur la double flèche de l'équation. Cet étudiant n'évoque donc qu'une seule étape ; ce n'est pas de la *vision globale*.

Dans la deuxième phrase en plus de la description du bilan, cet étudiant donne l'intérêt de l'utilisation de l'un des réactifs dans ce mécanisme et le compare à l'utilisation d'un autre réactif qui n'existe pas dans cette équation ; c'est de la *vision globale*. Cette phrase est riche en *propriété* et en *théories*, par rapport à la phrase de référence donnée en septembre.

Les analyses précédentes montrent que les catégories *Concision* et *Précision* augmentent entre septembre et mai, cela signifie que les étudiants ont appris à commenter leurs mécanismes en moins de mots pour une étape donnée, mais avec plus de précision et de détails pour les mêmes éléments chimiques. Ceci peut être considéré comme un indicateur d'apprentissage.

Les étudiants sont plus sûrs de leurs connaissances en chimie à la fin de l'année, ceci se traduit dans les analyses par une diminution des indicateurs de doutes.

## Analyse Linguistique

Le nombre de verbes de *mouvement*, de verbes qualifiant un *changement d'état* et les *structures existentielles* diminuent, alors que le nombre de verbes qualifiant un *état* augmente.

- Les étudiants utilisent des verbes de mouvement pour décrire le déplacement d'un objet reconstruit (les doublets, les liaisons, etc.). Dans le cas de la verbalisation d'un mécanisme déjà représenté, l'utilisation de ces verbes montre que les étudiants font une simple lecture des étapes de ce mécanisme. La diminution du nombre de verbes de mouvement est souvent accompagnée d'une augmentation du nombre de verbes d'état. Cela pourrait renseigner sur l'origine de cette diminution. La description du déplacement des objets faite en septembre, exprimée à l'aide de verbe de mouvement, est remplacé en mai par une description des propriétés de ces objets ainsi que les événements formulée à l'aide de verbes d'états. Les étudiants ne sont plus au niveau de la simple lecture du mécanisme.
- Les verbes de transformation et de changement d'état expriment le changement de l'état des objets ou de leurs représentations. Leur diminution suppose l'évolution des étudiants. Leur utilisation suppose que les étudiants sont collés aux symboles qu'ils ont sous les yeux.
- Les verbes d'état sont employés pour décrire l'état d'un système, cette description concerne des propriétés qui ne sont pas observables (stabilité d'une molécule etc.). L'emploi de ces propriétés nécessite des connaissances théoriques et expérimentales de la chimie. L'augmentation des verbes d'état de septembre à mai prouve que les étudiants ont acquis ces connaissances. Ce qui est cohérent avec l'hypothèse d'apprentissage (H1, p. 115).
- Les existentielles étant majoritaires aussi bien en mai qu'en septembre, il est possible de déduire que ces structures ne constituent pas un critère d'apprentissage de l'étudiant.

### 6.1.5. Conclusion partielle

Ces grilles montrent l'évolution de la verbalisation des étudiants du début à la fin de l'année. Elles décrivent le fonctionnement des étudiants lors de la verbalisation de mécanismes réactionnels.

Ces grilles seront-elles efficaces pour décrire l'apprentissage des étudiants lors de résolution de problèmes de chimie organique mettant en jeu la production de mécanismes ?

## 6.2. Expérimentation avec des étudiants tunisiens du 1<sup>er</sup> cycle

---

L'objectif de cette partie est de répondre à la première question de recherche (QR1).

QR1 : « Comment décrire le fonctionnement des étudiants lors de résolutions de

---

en vertu de la loi du droit d'auteur.

problèmes de chimie organique ? ».

Les grilles utilisées sont celles qui ont servi pour analyser les productions orales des étudiants préparant l'agrégation de chimie lors de verbalisation (ou de commentaire) de mécanismes en chimie organique.

Il s'agit de vérifier si les grilles élaborées dans le but de montrer l'évolution des étudiants préparant l'agrégation peuvent être efficaces dans l'analyse des productions des étudiants au début de leur apprentissage des mécanismes.

Cet apprentissage a été sondé en mettant deux étudiants tunisiens de premier cycle universitaire en situation de résolution de problèmes de chimie organique. Ces problèmes mettent en jeu la production, l'écriture et la verbalisation de mécanismes.

Il est intéressant de relier le résultat d'une telle analyse aux difficultés rencontrées par les élèves dans la résolution de chaque exercice.

### 6.2.1. Expérimentation et analyses des productions orales

Une série de problèmes de chimie organique ont été soumis à des étudiants du 1<sup>er</sup> cycle universitaire de la Faculté des Sciences de Monastir (Tunisie). Les étudiants ont travaillé par binôme dans des situations hors classe. Il s'agissait de tâches collaboratrices papier-crayon, de résolution d'exercices de chimie organique d'un niveau adapté aux travaux dirigés de leur enseignement. Les dialogues issus de ces situations ont été enregistrés, transcrits et analysés.

Afin de répondre à la question de recherche (QR1) sur le fonctionnement des élèves, l'analyse des transcriptions des productions orales des étudiants lors de résolution de problèmes de chimie organique a été réalisée. Cette analyse porte sur les niveaux de savoirs et sur la classification des verbes.

#### Analyses par niveaux de savoirs

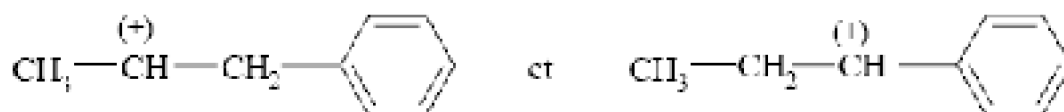
Comme pour l'analyse des réponses des étudiants préparant l'agrégation de chimie, les réponses des étudiants tunisiens ont été catégorisé : *Objet reconstruit*, *Propriété et Théorie*. Ont été également relevé les indices qui montrent que les étudiants doutent et ceux qui traduisent une vision globale du mécanisme.

Exemple : exercice 1, série 1, binôme 1 1.

Résultat de la catégorisation d'un exercice représentatif.

Enoncé :

**Comparer la stabilité des deux carbocations suivants :**



L'analyse a priori de cet exercice a montré qu'il faut représenter des formes mésomères à l'aide de représentations symboliques. Lors de la résolution de cet exercice, les étudiants se limitent à une lecture de ces symboles.

La catégorie la plus utilisée par les étudiants c'est la catégorie *Objet reconstruit*. Dans cette catégorie ont été regroupées : les objets reconstruits qui sont exprimés soit par leurs symboles, soit par leurs noms, soit par des formes compliquées (cadre théorique, p. 48). Or les étudiants emploient souvent la représentation symbolique des *objets reconstruits* (*flèche, point, les symboles des atomes, ...*) (tableau 15).

**Tableau 15 - Extrait de la transcription des productions orales, exercice 1, série 1, binôme 1**

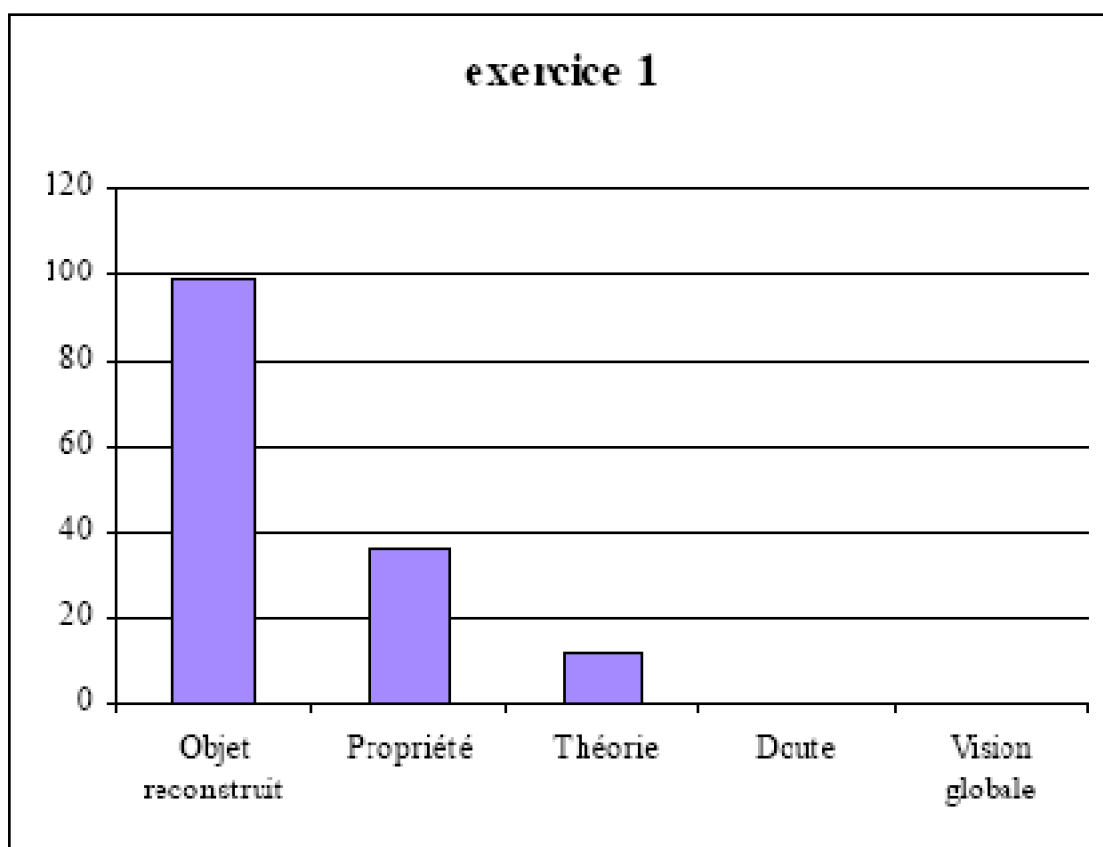
	Intervenants	Dialogue	Catégorisation
53	A	plusH+	Objet reconstruit
54	H	chnia (quoi) (?)	
55	A	<b>el - H illi tna hh at hadhia</b> (ce H là qui a été enlevé)	Objet reconstruit
56	H	<b>plus H<sup>+</sup> / deuxième étape double liaison hadhia bach temchi lkollha hna</b> (deuxième étape cette double liaison là va arriver ici)	Objet reconstruit
57	A	<b>eih</b> (oui)	
58	H	<b>twallilna CH double liaison CH</b> (on aura CH double liaison CH) <b>w - cycle yabqa huwa nafsu</b> (et le cycle reste le même) <b>wa hna CH<sub>3</sub></b> (et iciCH <sub>3</sub> )	Objet reconstruit Objet reconstruit Objet reconstruit
59	A	<b>yoq<sup>c</sup> od le point hakka</b> (le point reste comme ça) (?)	Objet reconstruit
60	H	<b>eih</b> (oui)	
61	A	<b>ma ya<sup>c</sup> melch liaison m<sup>c</sup> a el - H le point hadhaya</b> (ce point là ne fait pas de liaison avec le H) (?)	Objet reconstruit Objet reconstruit

Le décompte des catégories sur l'ensemble de cet exercice (Tableau 16), montre que les étudiants utilisent beaucoup d'objets reconstruits (99 fois). Ce résultat montre que l'extrait précédent est caractéristique de l'ensemble de l'exercice.

**Tableau 16 - fréquence des catégories de l'exercice 1**

Catégories	Fréquences
Objet reconstruit	99
Propriété	36 *
Théorie	5+7
Doute	0
Vision globale	0
Sans * : énoncés qui relèvent de théories d'élèves	
avec * : énoncés conformes avec le savoir enseigné	





Histogramme 7 - fréquence des catégories de l'exercice 1, série 1, binôme 1

La fréquence des *objets reconstruits* est plus élevée que celles des *propriétés* et des *théories*. Les étudiants doutent assez peu lors de la résolution de cet exercice. Par ailleurs, l'histogramme montre qu'ils ont une vision locale du mécanisme, c'est-à-dire qu'ils n'en traitent les étapes que les unes après les autres. Le niveau débutant des étudiants est probablement responsable de cette vision. Ils n'ont pas de recul sur la façon d'aborder un tel exercice, ce qui se traduit par l'absence de vision globale.

L'abondance de la catégorie *Objet reconstruit* par rapport aux catégories *Propriété* et *Théorie* montre qu'en début d'apprentissage, ces étudiants utilisent leurs connaissances en se limitant à n'évoquer que les symboles chimiques et pas les entités qu'ils représentent, ici, les carbocations par exemple.

Analyse de tous les exercices (tableau 17 - histogramme 8)

1.

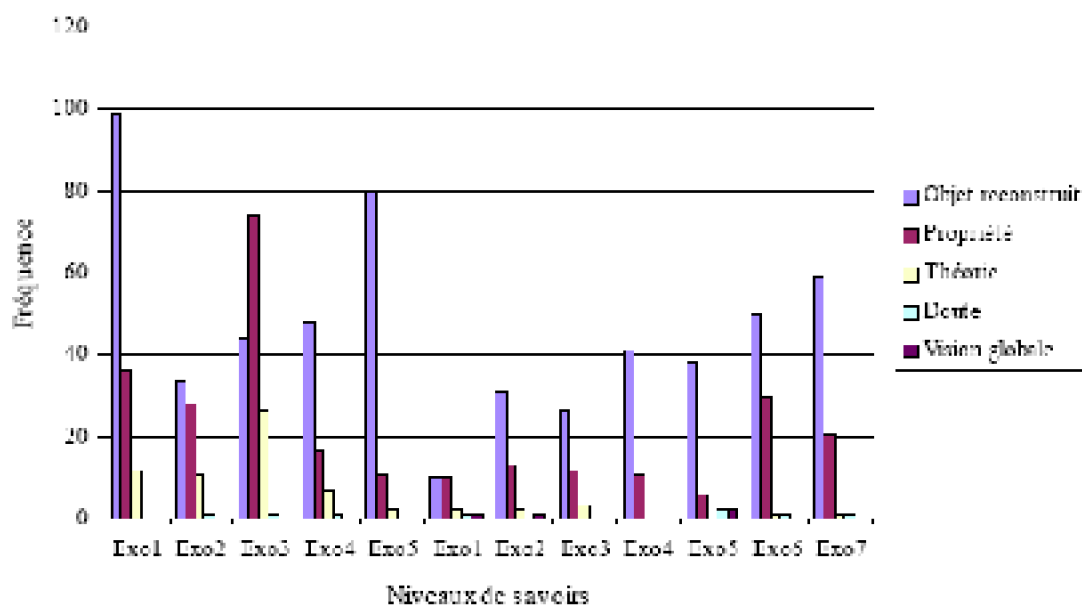
Tableau 17 - fréquence des niveaux de savoir, binôme 1

## De la représentation symbolique au langage lors de l'apprentissage des mécanismes en chimie organique dans l'enseignement supérieur

Catégories	Série 1					Série 2						
	Ex. 1	Ex. 2	Ex. 3	Ex. 4	Ex. 5	Ex. 1	Ex. 2	Ex. 3	Ex. 4	Ex. 5	Ex. 6	Ex. 7
Objet reconstruit	104	33	44	48	80	10	31	27	41	38	50	59
Propriété	14	28	74	17	11	10	13	12	11	6	30	21
Théorie	12	11	27	7	2	2	2	3	0	0	1	1
Doute	3	1	1	1	0	1	0	0	0	2	1	1
Vision globale	0	0	0	0	0	1	1	0	0	2	0	0

La fréquence de la catégorie *Objet reconstruit* est toujours la plus élevée, sauf pour l'exercice 3, série 1. le nombre de propriétés est supérieur au nombre de théorie ; la vision globale et le doute apparaissent rarement (histogramme 8)

Totalité des exercices



Histogramme 8 - fréquence des niveaux de savoir, binôme 1

Tableau 18 - Extraits de la transcription des productions orales, exercice 3, série 1, binôme 1

	Intervenants	Dialogue	Catégorisation
20	H	<b>hadhaya</b> l'acide wa <b>hadhia</b> el- base conjugué <b>mta<sup>c</sup> u</b> [celui-là l'acide et celle-là sa base conjuguée]	PropriétéPropriété
21	A	l'acide capte un hydrogène (?) <b>wala</b> [ou] <b>cède un hydrogène (?)</b> l'acide <b>takhu wel</b> -base <b>ta<sup>c</sup> ti</b> [l'acide reçoit et la base donne] (?)	Propriété Propriété Propriété
22	H	l'acide <b>ya<sup>c</sup> ti wel</b> - base <b>yakhu</b> [l'acide donne et la base reçoit]	Propriété Propriété
23	A	<b>eih ma<sup>c</sup> naha hadhaya</b> acide [oui ça veut dire celui-là c'est l'acide] <b>eih belhaq eih</b> [oui c'est vrai]	Propriété
24	H	<b>hadhia</b> el- base conjuguée [celle-là c'est la base conjuguée] / <i>petit b donner les formes mésomères de la forme basique du para-nitrophénol</i> (il lit l'énoncé)	Propriété
25	A	<i>Hammadi ezreb</i> [fait vite] +	
26	H	<b>bach na<sup>c</sup> mlu</b> les formes limites <b>mta<sup>c</sup> elli khrrajna</b> [on va faire les formes limites de la forme qu'on a déterminée]	Propriété
27	A	<b>hadhaya</b> [celui la] <i>donneur par effet mésomère (?)</i>	Propriété Théorie

La dominance de la catégorie des *objets reconstruits* est mise en défaut pour l'exercice 3 qu'il est intéressant d'analyser séparément.

Dans cet extrait les mots « *acide* » et « *base* » sont abondamment utilisés pour désigner les entités qui possèdent cette propriété. Au lieu de faire référence au symbole, les étudiants utilisent une propriété avec laquelle ils sont familiarisés. Ces notions s'étudient au lycée et en première année d'université.

Les étudiants n'évoquent pas les noms et les symboles des *objets reconstruits* qu'ils représentent mais emploient souvent les démonstratifs : ceci, cela, celle ci, celle là, ça,... (tableau 18) « **hadhaya** [celui-là], **hadhia** [celle-là] »

Dans l'exercice 1 (tableau 17), les objets reconstruits utilisés sont du type CH<sub>3</sub>, H, etc. ; les étudiants auraient pu évoquer le groupement méthyle ou l'atome d'hydrogène, ce qu'ils n'ont pas fait : \* Soit c'est une difficulté, \* soit une habitude en chimie organique. Le risque pris à laisser les étudiants utiliser abondamment *les objets reconstruits* pour désigner les objets utilisés, chaque fois est une occasion perdue pour donner du sens aux écritures utilisées en chimie.

#### Performance des étudiants

1.

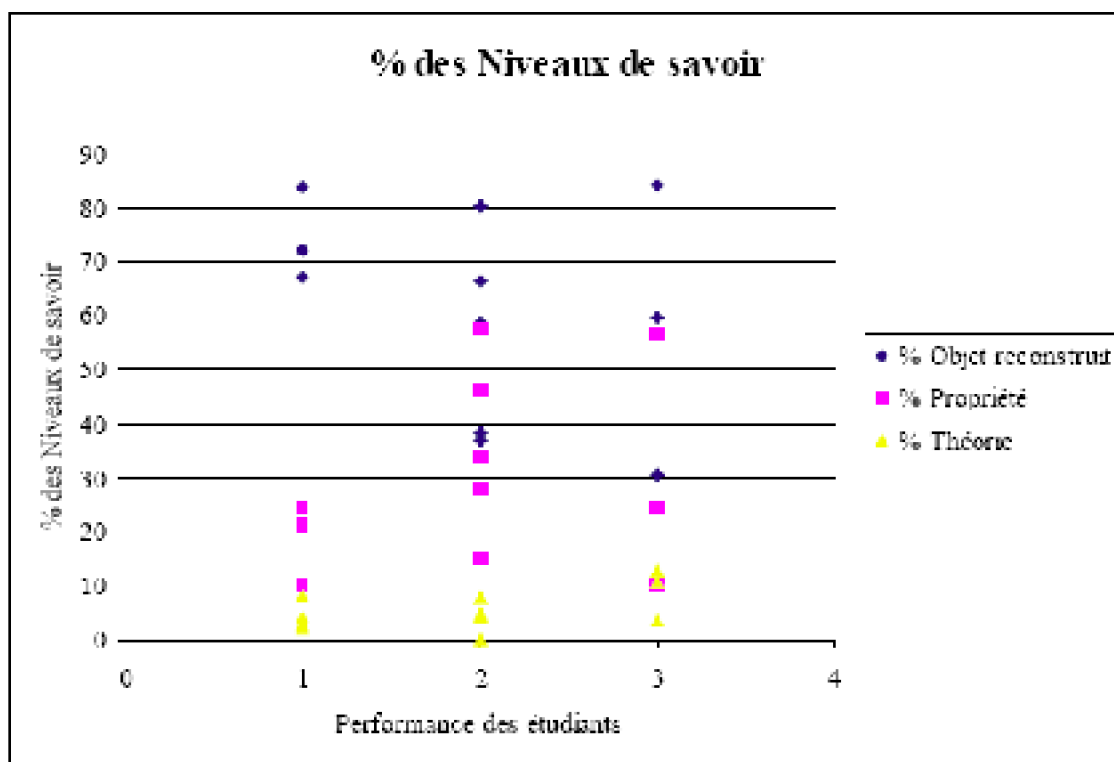
L'analyse des productions orales montre que le nombre d'objets reconstruits dépend de la performance des étudiants. Si les étudiants sont en difficulté, n'ont pas fini l'exercice, l'ont fini mais ne l'ont pas réussi ou l'ont réussi à moitié,..., ils emploient beaucoup d'objets reconstruits symboliques et moins de propriétés et de théories. Pour tous les exercices, le pourcentage de chaque catégorie a été relié à la performance des étudiants (tableau 19, histogramme 9). Seuls les *objets reconstruits*, le niveau de *propriété* et le niveau de *théorie*, ont été considérés, les catégories *Doute* et *Vision globale* apparaissent très peu

dans les productions des étudiants.

Pour le calcul de la performance, la valeur « 1 » est attribuée aux exercices faux, la valeur « 2 » aux exercices réussis à moitié et la valeur « 3 » aux exercices finis et réussis (tableau 19, histogramme 9).

**Tableau 19 - Pourcentage des niveaux de savoir en fonction de la performance des étudiants par exercice**

Exercices	Performance	% objets reconstruits	% Propriété	% Théorie
1	Faux (1)	78,2	10,53	9,0226
2	Réussi à moitié (2)	45,21	38,36	15,07
3	Réussi (3)	30,14	50,68	18,49
4	Réussi (3)	65,753	23,288	9,589
5	Faux (1)	86,022	11,828	2,1505
1	Réussi à moitié (2)	41,667	41,667	8,3333
2	Faux (1)	65,957	27,66	4,2553
3	Réussi à moitié (2)	64,29	28,57	7,1429
4	Faux (1)	78,85	21,15	0
5	Réussi à moitié (2)	79,167	12,5	0
6	Réussi (3)	60,976	36,585	1,2195
7	Réussi à moitié (2)	71,951	25,61	1,2195



*Histogramme 9 - Pourcentage des niveaux de savoir en fonction des niveaux de savoir*

- Le pourcentage d'objets reconstruits est toujours plus élevé que celui des propriétés et des théories.
- La fréquence des *objets reconstruits* augmente avec la difficulté de l'étudiant à résoudre les exercices. Les étudiants sont en difficultés quand ils ne savent pas résoudre le problème, donnent un résultat faux, ou bien quand ils réussissent à le résoudre à moitié, ils ne le finissent pas ou bien ils le finissent mais la moitié est fausse.
- La fréquence des propriétés diminue en fonction de la difficulté l'étudiant à résoudre les exercices, plus il est en difficulté moins ils emploient des *propriétés*.
- La fréquence des théories varie en fonction de la performance des étudiants, si les étudiants sont en difficultés ils utilisent moins de théorie.

## Analyse linguistique

L'analyse linguistique consiste à catégoriser les productions orales des étudiants en structures verbales et existentielles (cadre théorique, p. 56 - 60)

## Catégorisation des données

Dans cette analyse, la même grille a été utilisée que pour les transcriptions des productions des étudiants lors de la verbalisation de mécanismes (Méthodologie, p. 72). Les structures verbales et existentielles utilisées par les étudiants, lors de productions de mécanismes, ont été catégorisées selon les verbes de mouvement, ceux qualifiant un changement d'état ou un état et les structures existentielles. Les étudiants tunisiens parlent simultanément le français et l'arabe tunisien, il a été tenu compte de la langue dans laquelle le verbe est exprimé.

Dans ces conditions huit catégories ont émergé :

- verbes de mouvement Ar
- verbes de mouvement Fr
- verbes de transformation Ar
- verbes de transformation Fr
- verbes d'état Ar
- verbes d'état Fr
- Existentielles Ar
- existentielles Fr
- Exemples de verbes utilisés par les étudiants :
  - verbes de mouvements : **ja'a** (venir), **kharaja** (sortir, partir), **macha** (marcher),...
    - \* « flèche bach yokhroj mi-cycle » (la flèche part du cycle) (Ex.1, série 1, tour de parole 17)
  - verbes exprimant une transformation et un changement d'état : **walla** (devenir), **ar** (devenir), **'cta** (donner)
    - « hadhia bach twalli chargée positivement » (celle-ci va devenir chargée positivement) (Ex.1, série 1, tour de parole 18)
  - verbes qualifiant un état : **baqa** (rester), **andu** (avoir), **Mawjud** (exister, se trouver)
    - « camla trois liaisons mca l'hydrogène illi hia hadhi donc naqsa doublet libre » (elle fait trois liaisons avec l'hydrogène qui est celle-là donc il lui manque un doublet libre) (Ex. 2, série 1, tour de parole 48)

- existentielles : **<sup>C</sup>anna** (on a), **famma**, **thamma** (il y a)
  - « macnaha fama deux formes limites » (ça veut dire qu'il y a deux formes limites) (Ex. 3, série 1, tour de parole 133)
- Exemples de phrases avec des verbes arabes
  - Verbes de mouvement 1.
    - **ba<sup>C</sup>ada** [s'éloigner] : « **bach teb<sup>C</sup> ed<sup>C</sup> al-** oxygène » [elle va s'éloigner de l'oxygène]
    - **t<sup>C</sup>adda** [passer] : « **bach tet<sup>C</sup> adda twalli H** » [elle va passer elle devient H]
    - **dazza** [pousser] : « **lazem h aja tdezzha** » [il faut quelque chose pour le pousser]
    - **t a h** [tomber] : « **n h awlu na<sup>C</sup> mlu hakka trah chetti h hadhia** » [on essaye de faire comme ça attend celle là va tomber]
  - Verbes de transformation et de changement d'état 1.
    - **radda** [transformer ou rendre] : « **mani qotlok double liaison troddhom des électrons** » [mais je t'ai dit les doubles liaisons tu les rends des électrons]
    - **qasama** [se partager] : « **bach tetqsam<sup>C</sup> la thnin** » [elle va se partager en deux]
    - **'cta** [donner] : « **Br<sub>2</sub> bach ta<sup>C</sup> tina 2 Br<sup>-</sup>** » [Br<sub>2</sub> va nous donner 2 Br<sup>-</sup>]
  - Verbes d'état 1.
    - **baqa** [rester] : « **bach tabqa<sup>C</sup> andha** » [il va lui rester] un point
    - **naqa s a** [diminuer, manquer] : « **noq s et liaison hna** » [il manque une liaison ici]
    - **'akhadha** [prendre] : « **chtakhu el- H** » [elle va prendre le H]
    - **dh ahara** [apparaître] : « **liaison hydrogène tna hh at min hna dh ohrot fil- oxygène** » [la liaison hydrogène s'est enlevée d'ici et elle s'est apparue sur l'oxygène]
    - **qa ss a** [se couper] : « **wel- liaison hadhia bech tetqa ss** » [et cette liaison va se couper]
    - **la s aqa** [se lier, se coller] : « **doublet yelsaq el-H tel s aq fih** » [le doublet va se lier le H va s'y lier]
  - Existentielles 1.
    - **<sup>C</sup>anna** [on a] : « **fil- réaction 1<sup>C</sup> anna addition wa fi thaniya<sup>C</sup> anna substitution** » [dans la réaction 1 on a une addition et dans la deuxième on a une substitution]

## De la représentation symbolique au langage lors de l'apprentissage des mécanismes en chimie organique dans l'enseignement supérieur

En arabe, le verbe « être » n'est pas exprimé, il n'est pas comptabilisé. Ceci est pris en considération dans la discussion. Seuls les verbes exprimés sont comptabilisés (tableau 20)

Tableau 20 - Listes des verbes arabes utilisés par les étudiants tunisiens

Mouvement	Transformation	Eétat	Existentielles
ja'a [venir] kharaja [sortir] macha [marcher] raj <sup>c</sup> a [revenir] t <sup>c</sup> adda [passer] dar [tourner] taḥawala [bouger] ba <sup>c</sup> ada [s'éloigner] habaṭa [descendre] ta <sup>c</sup> a [monter] jabada [tirer] naggaza [sauter] dazza [pousser] taḥ [tomber]	walla [devenir] tabaddala [s'échanger, se substituer par] tanahha [s'enlever] radda [transformer, rendre] sar [devenir] qasama [se partager] baqa [rester] naqaṣa [manquer] naqaṣa [diminuer] 'akhadha [prendre] dhahara [apparaître] qassa [se couper] laṣaqa [se lier- se coller] yethall [s'ouvrir]	'akhdha [prendre] 'a <sup>c</sup> ta [donner] baqa [rester] kana [il était] qa <sup>c</sup> ada [rester] <sup>c</sup> andu [avoir] Mawjud [exister, se trouver] ḥabasa [s'arrêter] fih [contenir]	<sup>c</sup> anna [on a] famma [il y a]

- Le nombre de verbes français utilisés dans la verbalisation des mécanismes par les étudiants tunisiens (tableau 21) est moins important que celui des étudiants français

Tableau 21 - Listes des verbes arabes utilisés par les étudiants tunisiens

Mouvement	Transformation	Etat	Existentielles
Attaquer se déplacer se rabattre réagir aller capter se localiser	Remplacer être devenir se transformer se lier perdre s'additionner former neutraliser créer	Respecter Capter Céder Attirer Etre Présenter obéir	on a il y a

- Exemple de phrases avec des verbes français utilisées par les étudiants tunisiens :

verbes de mouvement 1.

- Aller : « les deux doublets libres ... vont aller au carbone qui présente ... »

Verbes de transformation et de changement d'état 1.



- Être remplacé : « elle est remplacée par un  $\text{CH}_3$  »
- Etre : « les deux doublets vont être substitués »
- Devenir : « l'oxygène devient plus »
- perdre : « l'oxygène va perdre deux électrons »
- s'additionner : « le  $\text{H}^+$  s'additionne au  $\text{CH}_2^-$  »

Verbes d'état

1.

- Etre : « il est chargé moins »
- Présenter, « l'oxygène présente deux doublets d'électrons »
- Obéir : « une liaison **ma<sup>C</sup> naha** [ça veut dire] n'obéit pas à la loi de euh la loi d'octet »

Existentielles

1.

- *On a* : « **ya<sup>C</sup> ni kima hadhia kima on a obtenu hadhia on obtient el -formule hadhia** » [ça veut dire comme celle-là comme on a obtenu celle-là on obtient cette formule là]
- Verbes français de terminaison arabe

Lors de l'analyse de la production orale des étudiants, il a été détecté la présence de verbes dont la racine française est juxtaposée une terminaison arabe (déclinaison)

Exemple :

- **t-attaqui** [elle attaque] (exercice 3, série 1) et **t'attaquiha** [elle l'attaque] (exercice 4, série 1, 113) provenant du verbe attaquer,
- **t-fixe** [elle se fixe] provenant du verbe fixer,
- **y-réagi-u** [ils réagissent] (exercice 2, série 2) provenant du verbe réagir,
- **t- neutralisi -hem** [elle les neutralisent] (exercice 2, série 2) provenant du verbe neutraliser

Lors de la classification, les verbes de ce type sont classés avec les verbes français

L'analyse d'un exercice représentatif (tableau 22), montre la fréquence des verbes utilisés par les étudiants.

- Exemple : Exercice 1, série 1, binôme 1

Nous rappelons que dans cet exercice, les étudiants sont invités à comparer la stabilité de deux carbocations (dont nous donnons leurs représentations symboliques) et que pour y parvenir, ils doivent en représenter les formes mésomères.

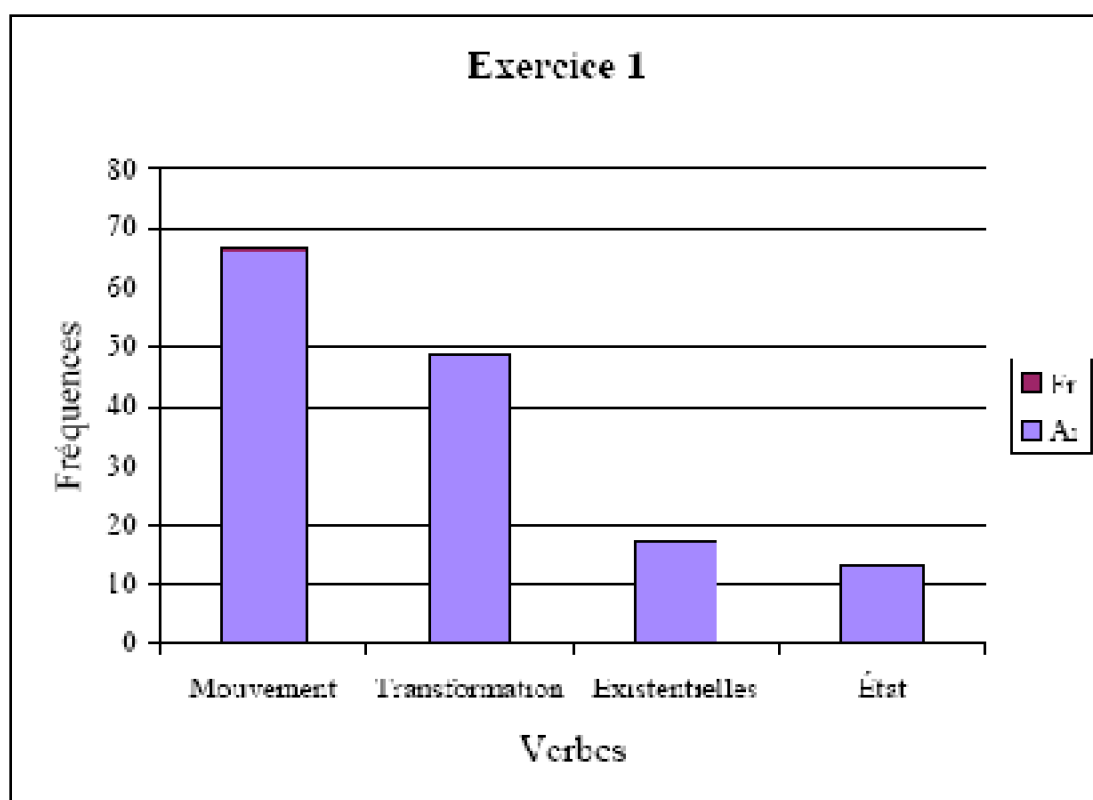
Exercice 1 : Comparer la stabilité des deux carbocations suivants



Lors de la résolution de l'exercice 1, (tableau 22, histogramme 10), la quasi-totalité des verbes utilisés par les étudiants sont en arabes.

Tableau 22 - fréquence des verbes, exercice 1, binôme 1

Verbes	Ar	Fr
Mouvement	66	1
Transformation	49	0
Existentielles	17	0
État	13	0



Histogramme 10 - Fréquence des verbes, exercice 1, binôme 1

Les verbes exprimés en arabe sont distingués des verbes exprimés en français.

Les verbes de mouvement sont plus nombreux que les verbes de transformation et de changement d'état, ces derniers sont plus nombreux que les existentielles. Les verbes d'état sont les moins utilisés.

L'analyse a priori montre que la réponse à cet exercice nécessite l'écriture de formes

mésomères, la représentation de ces derniers met en jeu des déplacements de doublets d'électrons que les étudiants expriment à l'aide de verbes de mouvement, d'où leur grand nombre. L'écriture de ces formes mésomères représente une transformation des doublets électroniques. Ces modifications sont exprimées à l'aide de verbes de transformation et de changement d'état qui sont également très utilisés par les élèves. La réponse à cet exercice nécessite la connaissance de certaines propriétés des carbocations que les étudiants doivent décrire à l'aide des verbes d'état. Cependant les étudiants en emploient très peu. Dans cet exercice, les étudiants se limitent à décrire le mouvement et les modifications des doublets électroniques.

### Analyse linguistique sans tenir compte de la langue dans laquelle les verbes sont exprimés

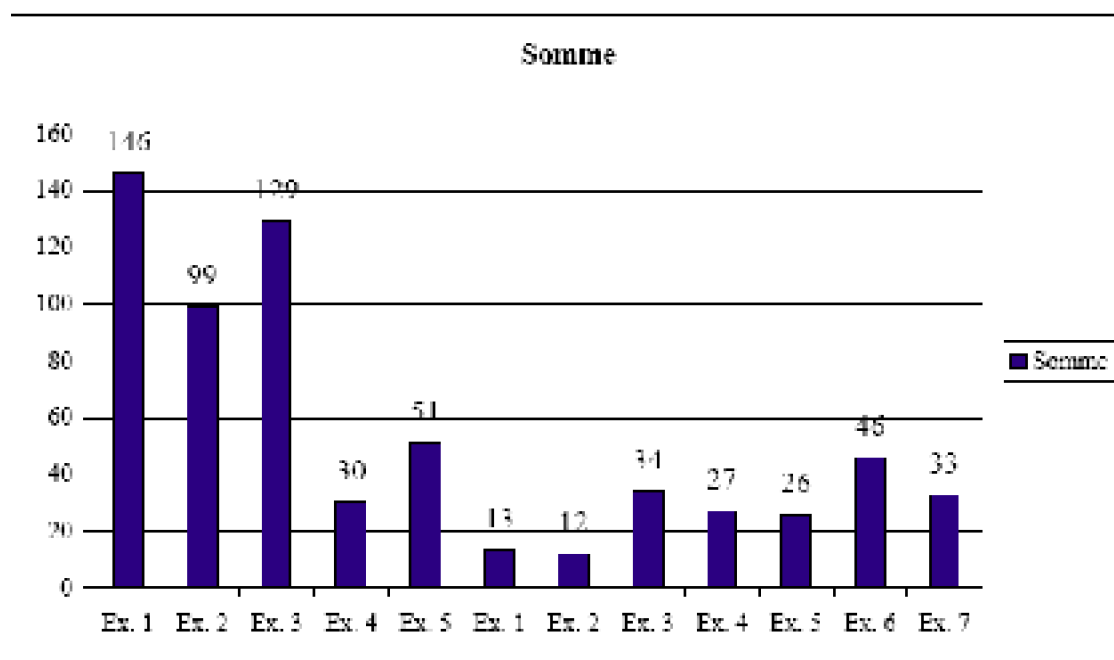
Deux types d'analyse linguistiques sont effectués en tenant compte ou non de la langue dans laquelle sont exprimés les verbes. L'analyse débute par une non prise en considération de la langue.

Analyse globale des exercices (sommés de tous les verbes) 1.

Les nombres de tous les verbes utilisés par les étudiants lors de la résolution de chaque exercice sont additionnés, pour chaque catégorie (tableau 23)

**Tableau 23 – sommation des fréquences des verbes utilisés pour chaque exercice**

Verbes	Série 1					Série 2						
	Ex. 1	Ex. 2	Ex. 3	Ex. 4	Ex. 5	Ex. 1	Ex. 2	Ex. 3	Ex. 4	Ex. 5	Ex. 6	Ex. 7
Mouvement	67	55	103	15	21	2	8	19	10	10	16	8
Transformation	49	25	14	13	24	5	4	11	9	14	21	19
État	13	19	12	1	2	3	0	4	8	2	8	5
Existentielles	17	0	0	1	4	3	0	0	0	0	1	1
Somme	146	99	129	30	51	13	12	34	27	26	46	33



Histogramme 11 - sommation des fréquences des verbes utilisés pour chaque exercice

Pour les exercices 1, 2 et 3 de la série 1, le nombre de verbes est très important, et varie entre 99 et 146. Ce nombre diminue pour l'exercice 4 de cette série.

La diminution du nombre de verbes peut être due au changement de type d'exercices, en effet les 3 premiers verbes concernent la représentation des formes mésomères de certaines molécules. Le reste des exercices est consacré à la production de mécanismes. Il semble que pour l'écriture des formes mésomères les étudiants emploient beaucoup de verbes alors que pour l'écritures des mécanismes ils en emploient peu.

Cette diminution peut aussi être liée à l'apprentissage. Au début de l'introduction de l'enseignement des mécanismes, les étudiants ne sont pas encore familiarisés à la résolution de problèmes de chimie organique. Ils emploient beaucoup de verbes et au fur et à mesure de leur apprentissage, ils apprennent un autre langage et utilisent moins de verbes.

Dans les trois premiers exercices, les étudiants sont invités à représenter les formes mésomères de certaines entités chimiques. Lors de cette représentation, les étudiants se contentent de les commenter à l'aide des verbes. Ces étudiants n'ont pas acquis assez de connaissances leur permettant de résoudre des problèmes. Ils sont en difficultés puisqu'ils sont en phase d'apprentissage. La conséquence est l'utilisation abondante des verbes.

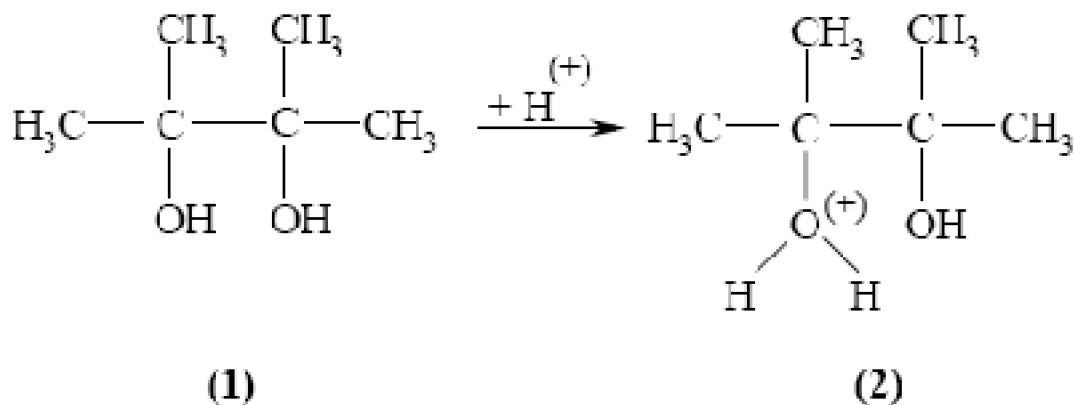
#### Exercice 4

A partir de l'exercice 4 qui est une initiation à l'écriture des mécanismes, les étudiants n'emploient pas beaucoup de verbes. Ils ont appris un autre langage pour décrire les déplacements des électrons et décrire les états des entités chimiques.

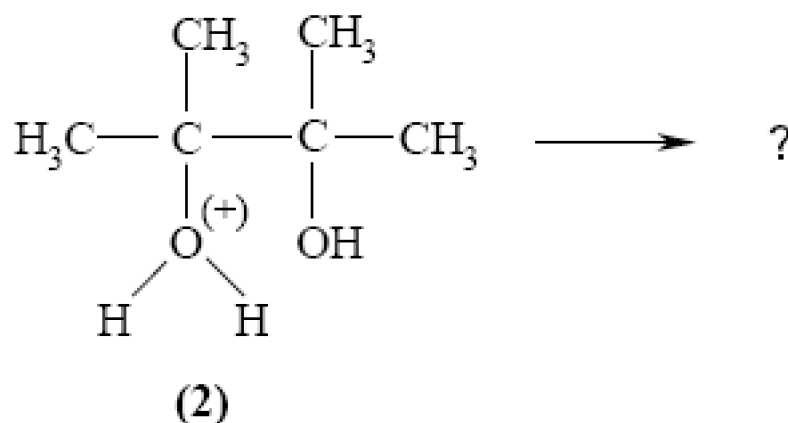
#### **Enoncé**

La réaction du 2,3-diméthylbutan-2,3-diol (1) se déroule en plusieurs étapes.

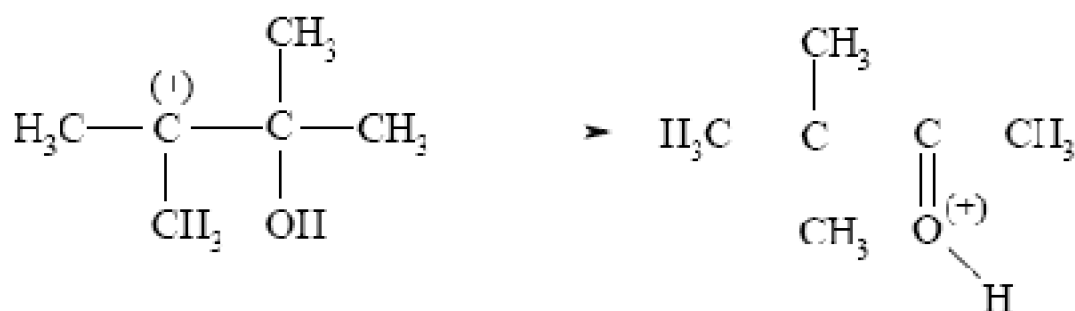
a) La première étape est donnée ci-dessous. Complétez-la en précisant le déplacement des doublets avec des flèches courbes.



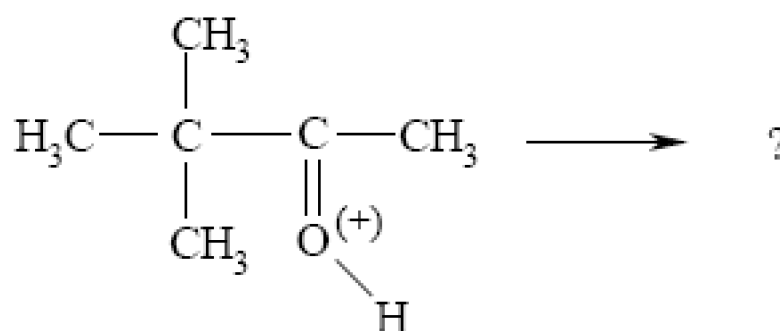
b) Trouver un carbocation (3) résultant de la réaction de (2) :



c) Proposer un mécanisme pour le réarrangement suivant :



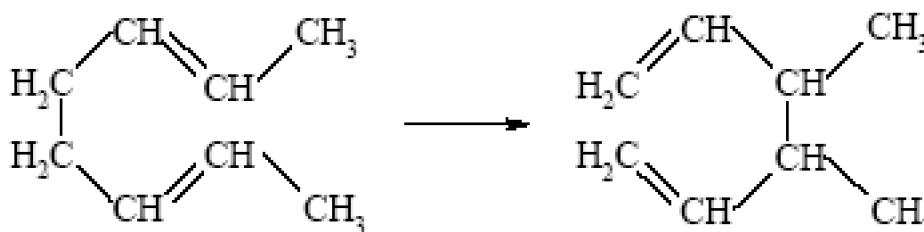
d) Qu'obtient-on sachant que le doublet liant se transforme en doublet libre



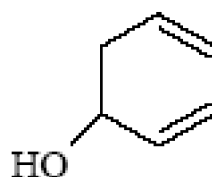
L'analyse a priori de cet exercice montre que les étudiants sont guidés pour la résolution du mécanisme par des questions. Dans chaque question les étudiants sont invités à produire une seule étape de mécanismes (énoncé de l'exercice 4), ce qui réduit la difficulté de l'exercice. De plus la plupart des molécules sont fournies aux étudiants, ces derniers n'ont à représenter qu'une flèche de déplacement d'électron ou le produit (méthodologie Ex.4)

#### Exercice 5

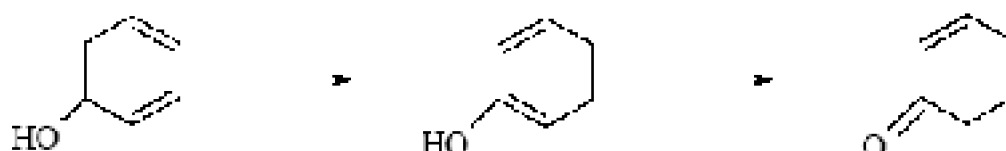
a) Proposer un mécanisme en une seule étape qui explique le réarrangement ci-dessous :



b) Écrire en formule développée, la molécule suivante :



c) Proposer un mécanisme qui explique le réarrangement ci-dessous :



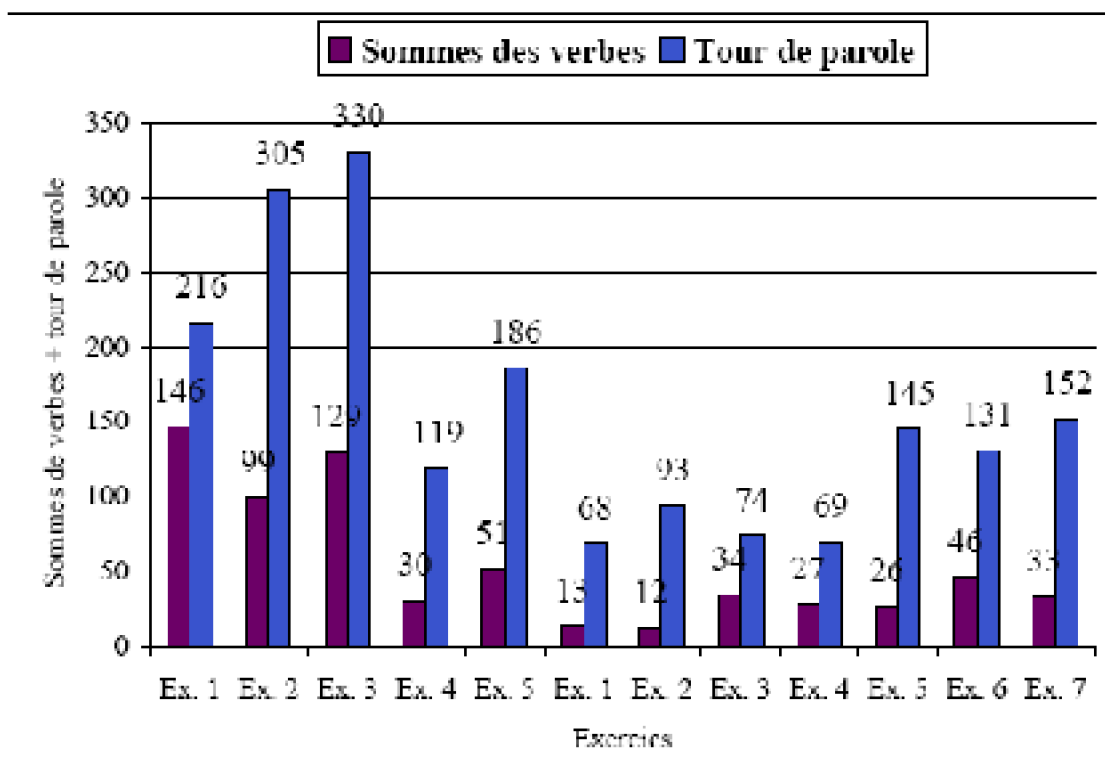
Les étudiants sont à nouveau en difficulté. Dans cet exercice les étudiants sont invités à proposer un mécanisme en une étape mais avec plusieurs flèches courbes et

avec rupture de certaines liaisons et création d'autres (question a). Ils doivent représenter un autre mécanisme (question c) alors qu'ils n'ont pas encore acquis les conventions d'écriture des mécanismes. Les étudiants ne sont pas familiarisés à ce type de problème puisqu'ils sont en début d'apprentissage des mécanismes.

### Exercice 6

L'augmentation du nombre des verbes lors de la résolution de cet exercice est due à l'augmentation des verbes de transformation et de changement d'état et des verbes d'état. Dans leurs productions orales, les étudiants décrivent les modifications des états des molécules ainsi que leurs états. Ils ne se limitent pas à la description du mouvement des symboles qu'ils représentent.

La diminution du nombre de verbes peut être liée à la longueur de la réponse. Le nombre de verbes est une fonction de la longueur des tours des paroles de chaque exercice (histogramme 12).



Histogramme 12 – Somme de la fréquence des verbes en fonctions des tours de paroles

Dans les transcriptions des trois premiers exercices, le nombre de tour de parole est compris entre 220 et 330 ; à partir du 4<sup>ème</sup> exercice les tours de paroles diminuent, leur nombre est compris entre 60 et 150, à part quelques exceptions, exercice 5 (186), exercice 7 (152). Ces exceptions sont proportionnelles aux nombres de verbes.

Le nombre de verbes est-il lié aux performances des étudiants (tableau 24).

Les résultats montrent qu'il n'y a pas de lien entre le nombre de verbes utilisés par les étudiants lors de la résolution de chaque exercice et leurs performances.

**Tableau 24 – Sommation des nombres de verbes en fonction de la performance des étudiants**

Exercice	Performance	Somme des verbes
Exercice 1	Faux(1)	146
Exercice 2	Réussi à moitié (2)	99
Exercice 3	Réussi(3)	129
Exercice 4	Réussi (3)	30
Exercice 5	Faux(1)	51
Exercice 1	Réussi à moitié (2)	13
Exercice 2	Faux(1)	12
Exercice 3	Réussi à moitié (2)	34
Exercice 4	Faux(1)	27
Exercice 5	Réussi à moitié (2)	26
Exercice 6	Réussi(3)	46
Exercice 7	Réussi à moitié (2)	33

Analyse des catégories

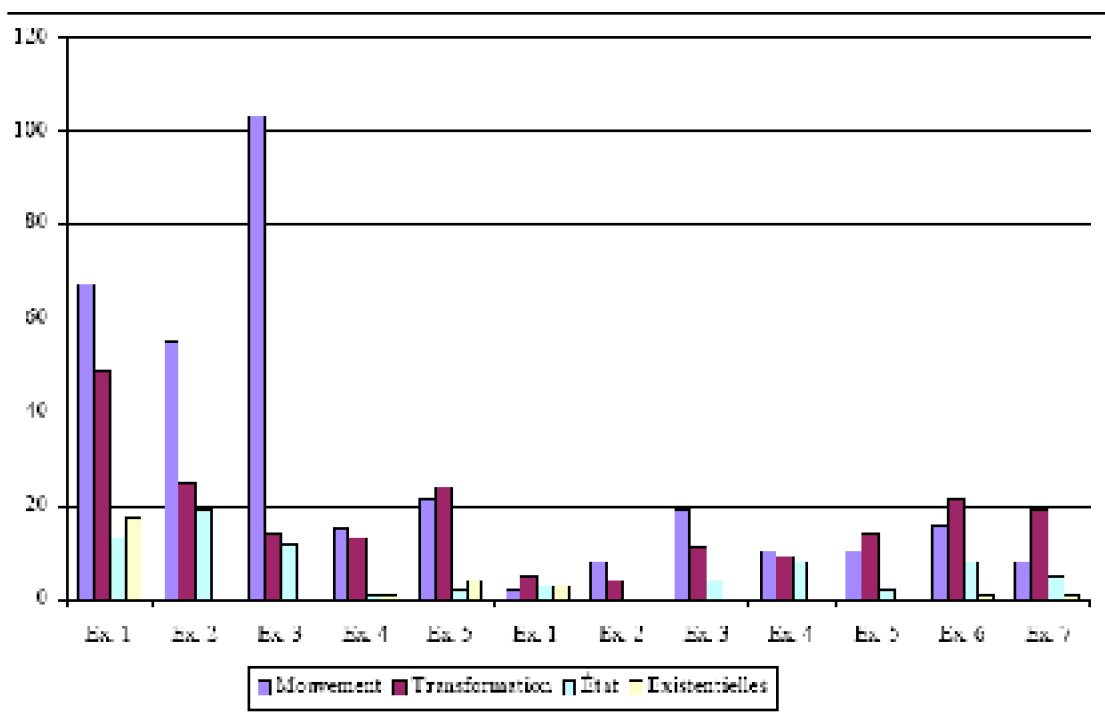
1.

Les valeurs ont permis de représenter les fréquences de toutes les catégories de verbes utilisés par les étudiants dans chaque exercice (tableau 25 – histogramme 13).

**Tableau 25 - fréquence des différentes catégories de verbes**

Verbes	Série 1					Série 2						
	Ex. 1	Ex. 2	Ex. 3	Ex. 4	Ex. 5	Ex. 1	Ex. 2	Ex. 3	Ex. 4	Ex. 5	Ex. 6	Ex. 7
Mouvement	67	55	103	15	21	2	8	19	10	10	16	8
Transformation	49	25	14	13	24	5	4	11	9	14	21	19
État	13	19	12	1	2	3	0	4	8	2	8	5
Existentielles	17	0	0	1	4	3	0	0	0	0	1	1





*Histogramme 13 - Fréquences des différentes catégories de verbes*

- Les verbes de mouvement, les verbes de transformation et de changement d'état sont les plus utilisés.
- Les verbes d'états sont les moins utilisés, leur nombre ne dépasse pas 20 pour tous les exercices.
- Le nombre des existentielles est faible, et sont absentes dans la plupart des exercices. Elles n'apparaissent que dans les exercices 1, 4 et 5 de la série 1 et les exercices 1, 6 et 7 de la série 2.

Dans la série 1, les verbes de mouvement sont toujours nombreux par rapport aux verbes de transformation et de changement d'état, sauf pour l'exercice 5. Dans la série 2, le nombre de verbes de transformation et de changement d'état est supérieur au nombre de verbes de mouvement à l'exception des exercices 2, 3 et 4.

Dans l'exercice 5 de la série 1, le nombre de verbe de mouvement est inférieur au

## De la représentation symbolique au langage lors de l'apprentissage des mécanismes en chimie organique dans l'enseignement supérieur

nombre de verbes de transformation. L'analyse a priori montre que la réponse de cet exercice nécessite la représentation d'un mécanisme en une seule étape, et un autre de 3 étapes. Il n'y a pas beaucoup de représentation symbolique d'objets. Les étudiants n'emploient pas beaucoup de verbes de mouvement, et n'ont pas réussi cet exercice.

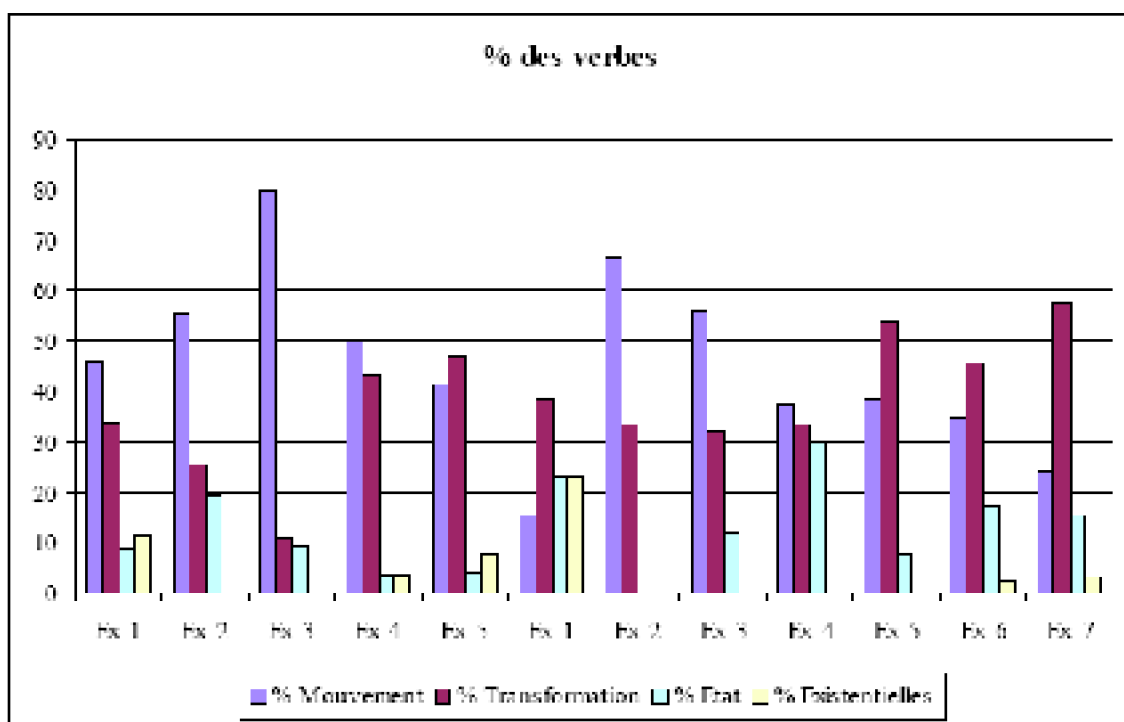
Les existentielles sont employées aux débuts et à la fin de chaque série (série 1 Ex. 1 et 5, et série 2 Ex. 1, 6 et 7).

Le nombre de verbes de mouvement dans l'exercice 3 est très important.

Pour mieux comparer, les pourcentages des verbes ont été calculés (tableau 26)

Tableau 26 - pourcentage de verbes utilisés par les étudiants

	Série 1					Série 2						
% Verbes	Ex. 1	Ex. 2	Ex. 3	Ex. 4	Ex. 5	Ex. 1	Ex. 2	Ex. 3	Ex. 4	Ex. 5	Ex. 6	Ex.7
% Mouvement	46	56	80	50	41	15	67	56	37	38	35	24
% Transformation	34	25	11	43	47	38	33	32	33	54	46	58
% Etat	8,9	19	9,3	3,3	3,9	23	0	12	30	7,7	17	15
% Existentielles	12	0	0	3,3	7,8	23	0	0	0	0	2,2	3



Histogramme 14 - pourcentage des catégories de verbes

Le nombre de verbes d'état diminue entre la première et la deuxième série, mais le pourcentage augmente, à l'exception du cas de l'exercice 5.

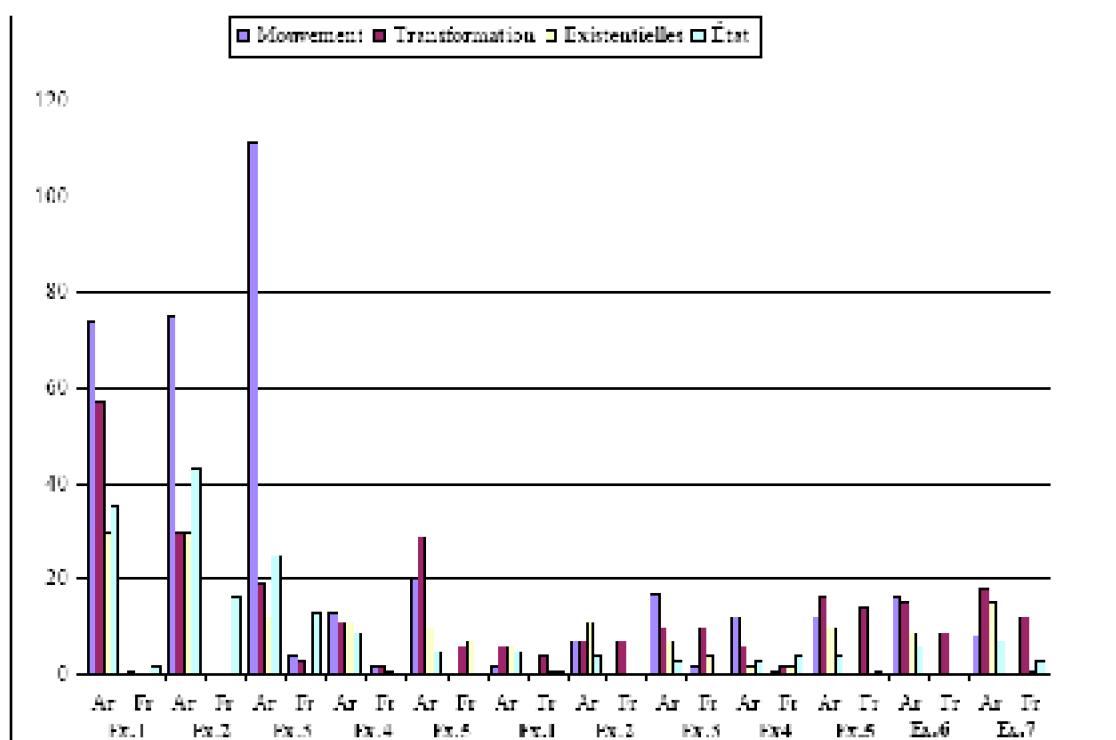
### Analyse des verbes en tenant compte de la langue

Comme prévue dans le cadre théorique les verbes exprimés en langue arabe (dialecte

tunisien) ont été distingués des verbes exprimés en français. Lors de la catégorisation des verbes, la langue d'expression est notée (tableau 27 – histogramme 15).

Tableau 27 - Fréquence de l'emploi de la langue

Verbes	Série 1										Série 2													
	Ex1		Ex2		Ex3		Ex4		Ex5		Ex1		Ex2		Ex3		Ex4		Ex5		Ex6		Ex7	
	Ar	Fr	Ar	Fr	Ar	Fr	Ar	Fr	Ar	Fr	Ar	Fr	Ar	Fr	Ar	Fr	Ar	Fr	Ar	Fr	Ar	Fr	Ar	Fr
Mouvement	74	1	75	0	111	4	13	2	20	0	2	0	7	0	17	2	12	1	12	0	16	0	8	0
Transformation	57	0	30	0	19	3	11	2	29	6	6	4	7	7	10	10	6	2	16	14	15	9	18	12
Existentielles	30	0	30	0	12	0	11	1	10	7	6	1	11	0	7	4	2	2	10	0	9	0	15	1
État	35	2	43	16	25	13	9	0	5	0	5	1	4	0	3	0	3	4	4	1	6	0	7	3



Histogramme 15 - Fréquence de l'emploi de la langue

Les résultats trouvés sans tenir compte de la langue, se retrouvent pour les verbes

exprimés en arabe : pour la série 1, les verbes de mouvement sont plus utilisés que les verbes de changement d'état et les verbes d'état. Les existentielles sont très peu utilisées.

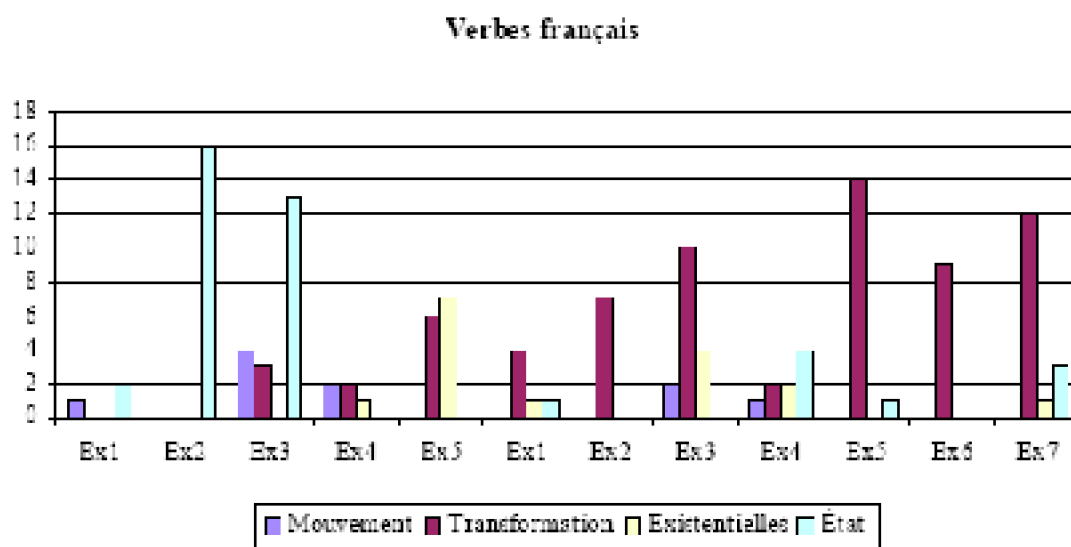
Pour la série 2, la catégorie de verbes de transformation et de changement d'état et la catégorie de verbe de mouvement sont les plus abondantes et ont presque le même nombre. Le nombre de verbes d'état est inférieur à la fréquence de deux catégories précédentes. Les existentielles sont presque absentes.

Les verbes français sont très peu utilisés, leur nombre est très faible par rapport au nombre de verbes arabes.

- Analyse des verbes français utilisés par les étudiants (tableau 28 – histogramme 16)

**Tableau 28 – fréquence des catégories des verbes français**

Verbes	Ex1	Ex2	Ex3	Ex4	Ex5	Ex1	Ex2	Ex3	Ex4	Ex5	Ex6	Ex7
Mouvement	1	0	4	2	0	0	0	2	1	0	0	0
Transformation	0	0	3	2	6	4	7	10	2	14	9	12
Existentielles	0	0	0	1	7	1	0	4	2	0	0	1
État	2	16	13	0	0	1	0	0	4	1	0	3



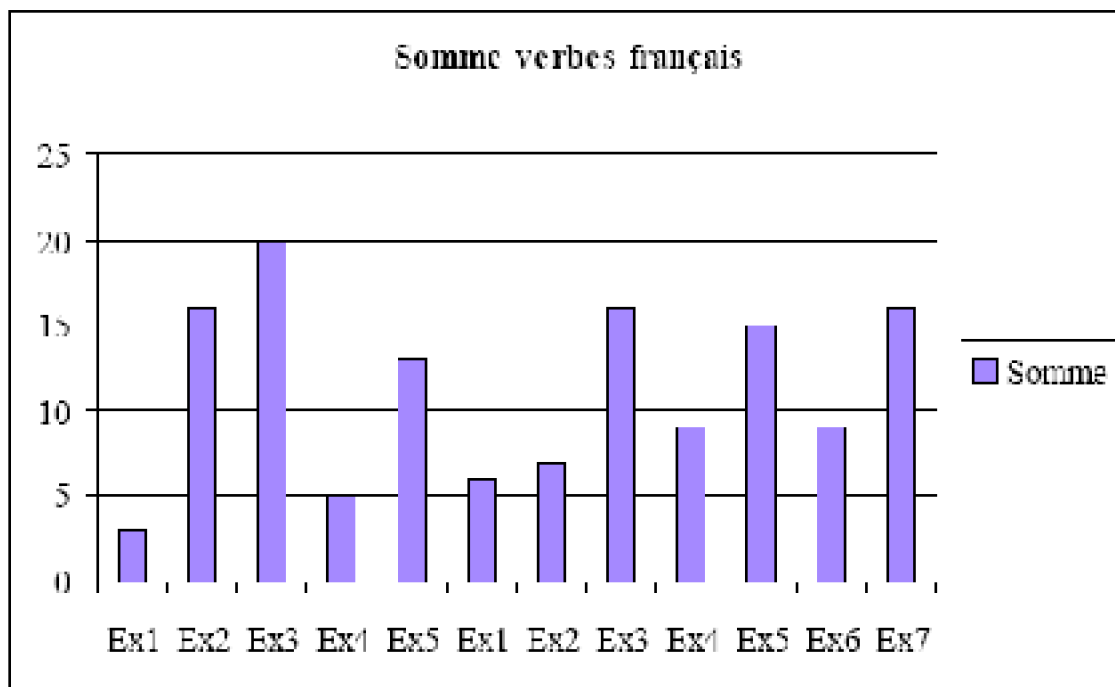
*Histogramme 16 - fréquence des catégories des verbes français*

Le nombre de verbes français est très faible pour chaque catégorie, et ne peut être comparé pour tous les exercices puisqu'il y a des catégories absentes pour certains exercices. De même la comparaison pour un même exercice est difficile en raison de l'absence de certaines catégories.

La somme des fréquences de chaque catégorie a été étudiée pour tous les verbes (tableau 29 – histogramme 17)

**Tableau 29 - Sommes des verbes français utilisés pour chaque exercice**

	Ex1	Ex2	Ex3	Ex4	Ex5	Ex1	Ex2	Ex3	Ex4	Ex5	Ex6	Ex7	□
Somme des verbes Fr	3	16	20	5	13	6	7	16	9	15	9	16	135

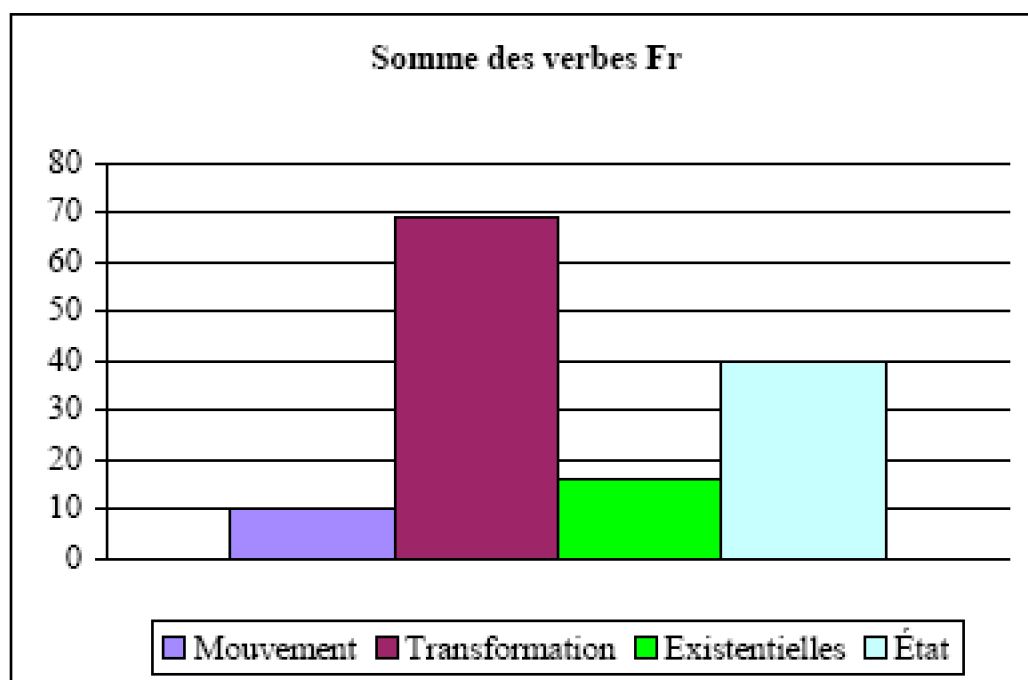


*Histogramme 17 - Sommes des verbes français utilisés pour chaque exercice*

La sommation de la fréquence des verbes français de chaque catégorie a été étudiée pour tous les exercices (tableau 30).

**Tableau 30 - Somme des verbes français de chaque catégorie pour tous les exercices**

Verbes français	Somme verbes français
Mouvement	10
Transformation	69
Existentielles	16
État	40



Histogramme 18 - Somme des verbes français de chaque catégorie pour tous les exercices

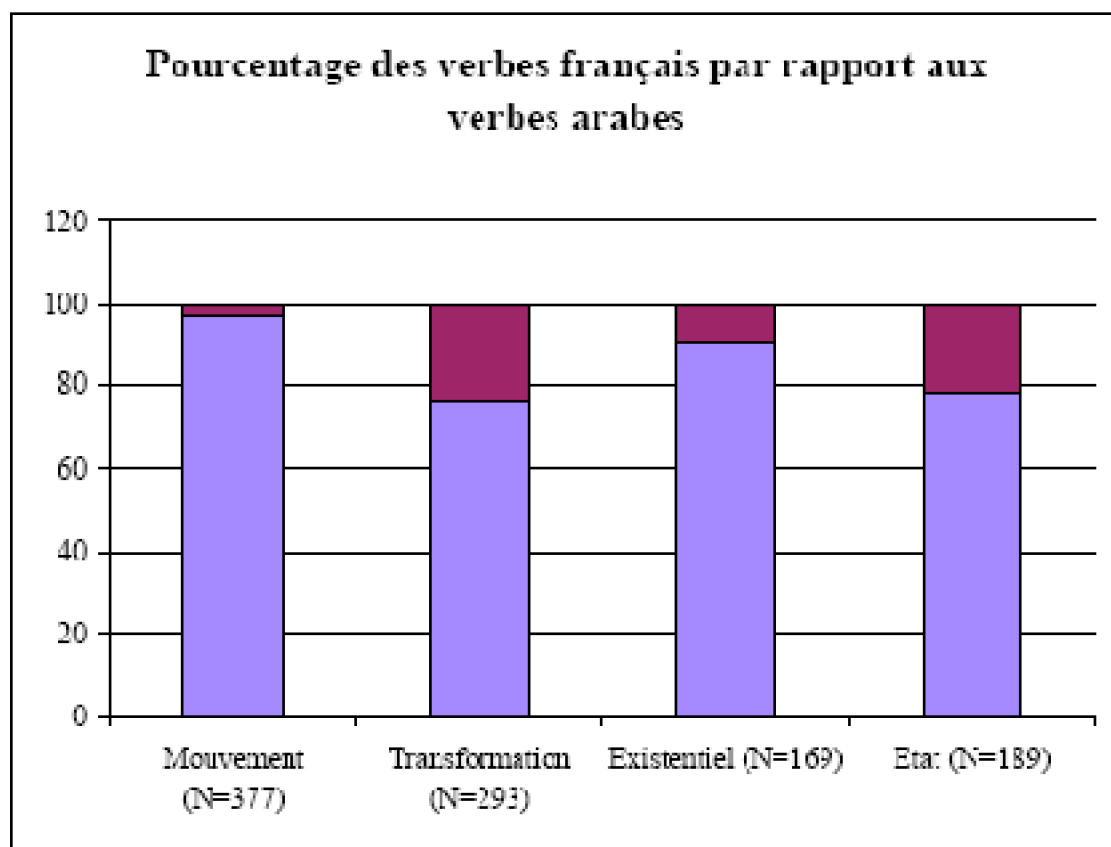
La catégorie de verbes transformation et de changement d'état (69) et celle des verbes d'état (40) sont plus utilisées que la catégorie des existentielles (16) et celle des verbes de mouvement (10)

Les verbes français sont peu utilisés par rapport aux verbes arabes. Leur nombre total est de 135, pour un exercice leur somme varie entre 3 et 20 (tableau 29), et pour une catégorie de verbe leur nombre ne dépasse pas 16 (tableau 28).

Le pourcentage des verbes français par rapport aux verbes arabes a été calculé (tableau 31- histogramme 19) :

Tableau 31 - Pourcentage des verbes français par rapport aux verbes arabes.

Verbes	Total	%Ar	%Fr
Mouvement	377	97,3	2,7
Transformation	293	76,5	23,5
Existentiel	169	90,5	9,5
Etat	189	78,8	21,2



*Histogramme 19 - Pourcentage des verbes français par rapport aux verbes arabe*

les verbes de mouvement en français représentent le plus faible pourcentage (2,7 %) par rapport aux verbes de transformation et de changement d'état en français (8,7 %), par rapport aux structures existentielles français (11,1 %) et aux verbes d'état Fr (26 %) qui sont les plus importants.

## 6.2.2. Interprétation des résultats et discussion

### Analyse Didactique

A partir de l'analyse, il a été observé que la catégorie la plus utilisée par les étudiants est celle des objets reconstruits. Toutefois, l'analyse du pourcentage des niveaux de savoir en fonction de la performance des étudiants pour la résolution de l'exercice, a montré que l'utilisation des objets reconstruits est proportionnelle aux difficultés des étudiants. L'abondance de leur utilisation pour les premiers exercices, montre les difficultés des étudiants qui n'ont pas encore appris un langage leur permettant de décrire les mécanismes mis à part la lecture brute des symboles. Une diminution de l'utilisation des objets reconstruits au fur et à mesure de l'avancement dans la résolution des exercices (sauf pour quelques exceptions) a été remarquée. L'introduction des mécanismes à partir de l'exercice 5, remet les étudiants de nouveau en situation de difficulté et à nouveau beaucoup d'utilisation d'objets reconstruits (histogramme 8).

Plus les étudiants réussissent la résolution des problèmes, plus le nombre de propriétés augmente. Leur augmentation indique l'apprentissage des étudiants dans la description des propriétés des objets et des événements manipulés lors de production de mécanismes. L'apprentissage est accompagné d'une augmentation du nombre de propriété.

Ce résultat se retrouve avec les théories. Plus les étudiants réussissent les exercices plus le nombre d'utilisation du niveau théorique augmente. Les étudiants ont alors appris les connaissances théoriques nécessaires à la justification et à l'explication de leurs mécanismes.

Les catégories de doute et de vision globale sont presque absentes dans tous les exercices, elles ne constituent pas un indicateur d'apprentissage pour ce binôme malgré leurs efficacités prouvées pour les étudiants français préparant l'agrégation.

### **Analyse Linguistique**

La catégorisation des verbes utilisés par les étudiants selon la grille par classification de verbes, a montré que les étudiants emploient beaucoup de verbes de mouvement et de verbes de changement d'état, très peu de verbes d'états et presque pas d'existentielle. Résultat conforme avec l'analyse par niveaux de savoir.

En tenant compte de la langue dans laquelle le verbe est exprimé, il a été observé que les verbes de mouvement sont exprimés à 98,5 % en arabe tunisien malgré la langue d'enseignement. Les verbes d'état sont à 26 % exprimés en français. Il est possible que les verbes de mouvement couramment exprimée en tunisien dans la vie de tous les jours se transfère facilement, alors que décrire l'état d'un système (objet ou événement) n'est pas une idée qui se transfère directement depuis la vie quotidienne.

Les étudiants qui abordent un nouveau domaine, doivent faire fonctionner un processus de transfert de connaissances soit depuis la vie quotidienne, soit depuis les connaissances scientifiques.

Ce phénomène ne peut pas être observé avec des élèves monolingues ; le code switching pourrait être un indicateur.

### **6.2.3. Comparaison analyse didactique et analyse linguistique**

Les grilles d'analyse par niveaux de savoir et par classification des verbes (cadre théorique, p. 49 – 54 et 56 - 61) sont reliées du fait du rapport entre les verbes de mouvement et les objets reconstruits d'une part et du rapport entre les verbes d'état et les propriétés d'autre part.

- Lien entre les verbes de mouvement et les objets reconstruits

Les verbes de mouvement sont employés pour exprimer les déplacements des objets reconstruits. Les résultats précédents montrent que les fréquences des deux catégories diminuent entre septembre et mai. Dans les productions orales et dans une même phrase les étudiants emploient les verbes de mouvement et les objets reconstruits (tableau 32)



Tableau 32 – exemple de phrases contenant des objets reconstruits et des verbes de mouvement

	Intervenants	Dialogue	Commentaire
108	H	<i>bahi wa men ba<sup>C</sup> ed bach tji el- H</i> (d'accord et après le H va venir)	MouvementReprésentation
109	A	<i>bach t ahbet</i> (il va descendre)	Représentation Mouvement
110	H	<i>hadhia bach ta<sup>C</sup> mel kima hakka bach temchi lil- C</i> (celle-là va faire comme ça pour venir sur le C)	MouvementReprésentation
111	A	<i>eih</i> (oui)	
112	H	<i>wallatech hna CH</i> (est-elle devenue ici CH) (?)	TransformationReprésentation

#### · Lien entre les verbes d'état et les propriétés

Les verbes d'état sont utilisés pour qualifier l'état d'un système ou encore la propriété de ce système. Ce système peut être un objet ou sa représentation, un événement, ... ainsi les verbes d'état sont reliés aux propriétés. Ces deux catégories se trouvent toujours présentes dans les mêmes phrases (tableau 33)

Tableau 33 – phrases contenant des propriétés, des théories et des verbes d'état

	Intervenants	Dialogue	Commentaire
3	H	<i>el-stabilité l'effet mésomère</i> (la stabilité c'est l'effet mésomère)	Propriété
4	A	<i>l'effet mésomère hnaya</i> (ici) <i>les formes mésomères non plutôt / illi<sup>C</sup> andu akthar formes limites</i> (celui qui a plus de formes limites)	Propriété / état
5	H	<i>illi<sup>C</sup> andu akthar formes limites huwa hadhaka le plus stable</i> (celui qui a plus de formes limites c'est lui le plus stable) <i>thamti</i> (t'as compris) (?) ... <i>les cycles<sup>C</sup> andhom akthar stabilité<sup>C</sup> lach</i> (les cycles ont plus de stabilité pourquoi) (?)	Théorie / état Propriété / état
6	A	<i>chnuwa cycle hadhuma</i> (?) (c'est quoi le cycle c'est ça) (?)	

### 6.3. Conclusion partielle

L'enseignement des mécanismes, utilise un symbolisme implicite pour décrire à la fois les mouvements moléculaires et l'état des systèmes, et ne prend pas en compte cette double origine des connaissances nécessaires à l'apprentissage des mécanismes. Ces derniers sont décrits avec un niveau de formalisme abstrait qui pourrait s'appuyer en partie sur des connaissances de la vie quotidienne.



## Conclusion générale

L'objectif de ce travail est de comprendre la verbalisation de systèmes symboliques complexes qui peuvent se rencontrer en chimie pour représenter les mécanismes réactionnels, et en lien avec leur apprentissage au niveau universitaire. Passer de ce qui est écrit et ce qui est lu nécessite en soi une large variété de niveaux de connaissances qui sont apparus révélateurs du fonctionnement cognitif de l'individu. L'étude de cette verbalisation a nécessité deux types d'analyses, l'une par niveaux de savoir (objet, propriétés, théorie) auxquels nous avons ajouté la concision dans la formulation, la possibilité d'avoir un point de vue global et celle d'exprimer le doute sur sa compréhension du système étudié. L'autre a mis en œuvre l'analyse des verbes utilisés dans la verbalisation du système symbolique : verbes de mouvement, catégorie liée aux objets représentés, verbes de transformation et de changement d'état liés à la description de la modification de l'état des systèmes et des entités chimiques, verbes d'état qui sont fréquemment liés aux niveaux des propriétés et de la théorie et les structures existentielles on a et il y a. Il a été intéressant de comparer l'usage de ces verbes chez des étudiants n'utilisant qu'un seul code ; le Français, et ceux qui en changent régulièrement ; nos étudiants tunisiens, qui passent du Français à l'Arabe tunisien. Une hypothèse sur l'origine de ce code switching a permis une description de l'activité cognitive des apprenants.

L'analyse par niveaux de savoir a montré que l'apprentissage se traduit par une augmentation du nombre d'utilisation des théories, des propriétés et par un point de vue globalisant, en même temps qu'une diminution du nombre d'objets reconstruits convoqués dans la lecture d'un mécanisme ainsi qu'une diminution du doute. L'analyse

linguistique montre que cet apprentissage conduit à une réduction de l'usage des verbes de mouvement et de changement d'état et à un accroissement du nombre de verbes qualifiant l'état des éléments du système chimique symbolisé.

Il a été intéressant de se référer à l'émergence, dans la communauté scientifique, des connaissances liées aux mécanismes. Celles-ci sont apparues immédiatement après l'avènement de la première théorie sur la liaison chimique par Lewis en 1916. Bien qu'au niveau symbolique il n'y ait eu que peu d'évolution dans le système de représentation mis au point par Lapworth et par Robinson, nous ne pouvons qu'être frappé par l'absence d'explicitation du sens donné aux symboles utilisés. Il en est de même dans l'enseignement et une enquête que nous avons conduite a permis de montrer que ce système symbolique s'apprend à l'occasion de son utilisation par le professeur, sans qu'en soient explicitées les règles de son fonctionnement. Les apprenants doivent donc, pour lire un tel ensemble de symboles, élaborer leur propre système lexical qui se limite apparemment à une énonciation des objets représentés jusqu'à un niveau élevé d'étude. Tardivement, c'est-à-dire au niveau de la préparation à l'agrégation, nous constatons une évolution dans le langage qui se traduit à la fois par une modification des verbes utilisés, et par les niveaux de connaissances mis en œuvre lors de la lecture.

Notre travail doit pouvoir inspirer les enseignants de chimie organique puisque à moindre frais, il est possible d'explicitier les conventions liées au système de représentation symbolique utilisé pour traduire les mécanismes réactionnels. Nous avons proposé des éléments allant dans ce sens. Bien que l'étude de l'impact sur l'apprentissage de nos propositions de catégorisation des types de flèches courbes utilisées dans ce domaine dépasse le cadre de notre travail, nous pouvons considérer qu'il s'agit d'un outil pédagogique utilisable lors d'une première approche de l'enseignement.

Sur le plan de la description de l'activité cognitive des apprenants qui utilisent les concepts liés aux mécanismes réactionnels, l'outil d'analyse que nous avons élaboré doit pouvoir servir de point de départ pour d'autres recherches dans ce domaine. L'utilisation des niveaux de savoir, des catégories de verbes ou du code switching comme outil d'analyse, n'avaient à notre connaissance pas été envisagées en recherche.

Notre travail pourrait être mis à profit pour repenser le début de l'apprentissage de la chimie organique. Un appel aux nouvelles technologies qui permettrait, via des animations, de décrire les mouvements tridimensionnels des molécules sans utiliser une symbolique sophistiquée devrait engendrer une plus grande motivation et moins d'échec aux examens. En effet, les résultats de l'étude impliquant le code switching comme celle de verbes semble indiquer que les étudiants sont plus à l'aise, pour traduire un mécanisme, avec des verbes de mouvement et des connaissances d'origine de la vie quotidienne. De tels outils existent mais leur utilisation dans l'enseignement reste l'apanage d'innovation non fondée sur des travaux de recherche, et peu diffusés.

---

## Bibliographie

- Agrebi S., LeMaréchal J. F. et TRABELSI-AYADI M. (2003). Décrire l'évolution de l'aptitude à lexicaliser un système symbolique : cas des mécanismes en chimie organique, in *Journées de l'ARDIST*, Toulouse, octobre 2003.
- AGREBI S., LE MARECHAL J.F. et TRABELSI-AYADI M. (2001). Used of Curved Arrows to Represent Organic Reaction Mechanism: a let Without Saying Fundamental Knowledge, in *troisième Conférence du Congrès européen de l'ESERA*, Thessalonique (Grèce), août 2001.
- AGREBI S., LE MARECHAL J.F. et TRABELSI-AYADI M. (2002). Role and Difficulties of symbolic representations in organic chemistry, in *ESERA Summer School*. Radovljica (Slovénie), August 2002
- Allan J., Oxford A.E, Robinson R. et Smith J.C. (1926). The relative directive powers of groups of the forms RO and RR'N in aromatic substitution. Part IV. A discussion of the observation recorded in parts I, II, and III, in *Journal of Chemical Society* N°1, pp.400 - 411.
- BARLET R. (1996). *Obstacles didactiques dans l'enseignement de la chimie*, communication personnelle.
- BODNER G. M., HERRON J. D; (2002). problem-solving in chemistry, in GILBERT J.K. (eds.) *Chemical Education : Towards Research-based Practice*, Kluwer Academic Publisher, Netherlands, pp. 235-266.
- Bradely W. et Robinson R. (1928). The interaction of benzoyl chloride and

- diazomethane together with a discussion of the reaction of the diazers, in *Journal of Chemical Society* N°1, pp.1310 - 1318.
- Brown, T.M., Dronsfield, A.T., et Morris, P., J., T. (2001). Who really invented the curly arrow ? in *Education in Chemistry July 2001*, pp. 102 - 107.
- Burton H et Ingold C.K. (1928). "Mobil-anion tautomerism part I. A preliminary study of the condition of activation of the three-carbon system, and a discussion of the results in relation to the mode of addition to conjugated systems", in *Journal of Chemical Society* N°1, pp.904 - 921.
- CHARAUDEAU P. (1992). *Grammaire du sens et de l'expression*, Hachette, Paris.
- DELOACHE, J.S., UTTAL, D.H. et SOPHIA L. PIERROUTSAKOS, S.L. (1998). The development of early symbolization: educational implications. *Learning and Instruction*. **8**, 325 - 339.
- Eistert B. (1949). *Tautomérie et mésomérie*, P.U.F, Paris.
- Fieser L. F. et Fieser M. (1961). *Advanced organic chemistry*, Reinold Publishing corporation, U.S.A.
- Fieser L. F. et Fieser M. (1963). *Topics in organic chemistry*, Reinold Publishing corporation, U.S.A.
- Fieser L.F et Fieser M. (1959). *Basic organic chemistry*, Health and company, U.S.A.
- Fieser L.F et Fieser M. (1964). *Current topics in organic chemistry*, Reinold Publishing corporation, U.S.A.
- Fieser, L.F. & Fieser, M. (1968). *Advanced organic chemistry*. 6<sup>th</sup> ed., New York: Reinhold Book Corporation.
- Geissman T.A. (1965). *Principe de chimie organique*, Dunod, Paris.
- Ingold C.K. et Shoppee C.W (1928). On the possibility of Ging-chain valency tautomerism and of a type of mobil-hydrogen tautomerism analogous to the wagner-Meerwein re-arrangement. Part I. Some derivations of the phorane, in *Journal of Chemical Society* N°1, pp. 365 - 410.
- Ingold C.K., Shoppee C.W et Thorpe J.F. (1926). The mechanism of tautomeric interchange and the effect of structure on mobility and equilibrium. Part I. The three-carbon system, in *Journal of Chemical Society* N°1, pp. 1477 - 1488.
- JAMOUSSE S. E. (1986). *Vers une théorie du « code-switching » en Tunisie*, troisième colloque international de linguistique, Université de Tunis, Centre d'études et de recherches économiques et sociales de Tunis.
- Lapworth, A. (1922). A Theoretical Derivation of the Principle of Induced Alternate Polarities, in *Journal of Chemical Society* N°121, pp. 416 - 427.
- LAROUSSE F. (1993). L'alternance de langue : une stratégie stylistique. Cahiers de Praxématique N°20 « *le bien dire* »
- LE MARECHAL J. F. (1999 a). Modelling Students' Cognitive Activity During the Resolution of Problems Based on Experimental Facts in Chemical Education. In *Practical Work in Science Education*, Copenhagen conference Proceeding May 1998, pp. 195-205.
- LE MARECHAL J. F., (1999 b). Design of Chemical Labwork Activities Aiming at

- Teaching Basic Chemical Concepts, in *Fourth European Science Education Summer School*, Marly le Roi, France, pp. 68-80.
- LERAT P. (1983). *Sémantique descriptive*, Hachette, Paris.
- Lewis, G. (1916). The atom and the molecule, in *Journal of the American Chemical Society*, 38, 762-785.
- MARCH J. (1977). *Advanced Organic Chemistry Reactions, Mechanisms, and Structure*. Mc Graw-Hill 2<sup>nd</sup> Ed, Tokyo.
- Normant H. (1963). *Chimie organique*, Masson et C<sup>IE</sup>, Paris.
- Pauling, L. (1948). *The nature of the chemical bond and the structure of molecules and crystals*, Cornell University Press, London.
- Pavlov B. et Terentiev A. (1967). *Chimie organique*, Mir, Moscou.
- PEKDAG B. et LE MARECHAL J. F. (2002). *Influence of the Relations Between Picture and Text of Chemical Education Films on Conceptual Change*, in ESERA Summer School, Radovlica (Slovénie), August 2002.
- Plantin C. (1996). *L'argumentation*, Seuil, Paris.
- Prévost Ch. (1960). *Précis de chimie organique générale*, Dunod, Paris.
- Prévost Ch. (1967). *Traité de chimie organique générale*, Dunod, Paris.
- RAFF L. M. (1974). Illustration of Reaction Mechanism in Polyatomic Systems via Computer Movies, in *Journal of Chemical Education*, volume 51, N°11, pp. 712-716.
- RIEGEL M. et PELLAT J. C. et RIOUL R. (1994). *Grammaire méthodique du français*, PUF, Paris.
- Roberts J.D. et Caserio M.C. (1964). *Basic principle of organic chemistry*, W. A. Benjamin Inc., New York.
- Robinson, R. (1925). Polarisation of nitrobenzene, *Chemistry and Industry* N° 1, vol. 44, 456 - 458.
- SALLABERRY J. C. (2000). Coordination des « représentations image » et des représentations rationnelles dans la construction du concept d'élément chimique, *Didaskalia* N°17, pp. 101-121.
- Tiberghien A. (1994). Modelling as a Basis for Analysing Teaching - Learning Situations. *Learning and instruction*. Vol. 4, N°1, pp. 71-87.
- TOCHON, F.V. (2000). When authentic experiences are enminded into disciplinary genres: crossing biographic and situated knowledge. *Learning and Instruction*. **10**, 331-359.
- VANDE KOPPLE W. J. (1985). Some exploratory discourse on metadiscourse. *Collège Composition and communication*, 36 (1), pp. 82-95.
- Vollhardt, K.P.C. et Schore, N.E. (1998). *Organic Chemistry Structure and Function*, 3<sup>rd</sup> ed. W.H. Freeman and Company, New-York
- WENTLAND S. H. (1994). A New Approach To Teaching Organic Chemical Mechanisms, in *Journal of Chemical Education*, volume 71, N°1? PP; 3-8.
- ZOLLER et URI (1990). Students' Misunderstandings and Misconceptions in College Freshman Chemistry (General and Organic), in *Journal of Research in Science*

*Teaching*, volume 27, N°10, pp. 1053 – 65.

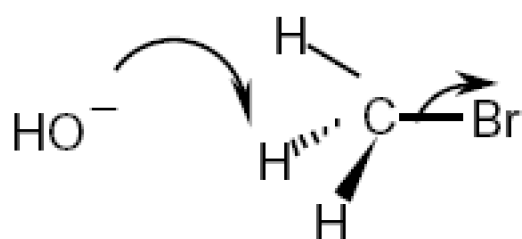


---

# Annexes

## Annexe A : Questionnaire étudiants.

- Question 1



Que représente ce type de flèches pour les chimistes ?

- Question 2

Dans quelles circonstances avez-vous compris les écritures des mécanismes en chimie

---

en vertu de la loi du droit d'auteur.

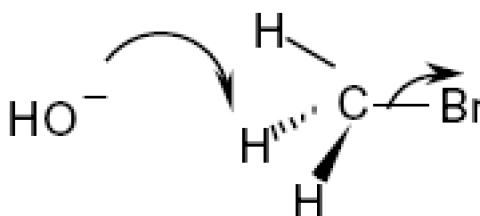
organique ?

- Question 3

Est-ce important d'avoir sous les yeux le mécanisme de la réaction que l'on réalise en TP ?

## Annexe B : Questionnaire enseignants et chercheurs

- Question 1



Que représente ce type de flèches pour les chimistes ?

- Question 2

Avez-vous remarqué des erreurs systématiques chez les étudiants lors de l'écriture des mécanismes ?

- Question 3

Comment peut-on introduire ces flèches aux étudiants qui commencent la chimie organique ?

- Questions 4 :

Est-ce important que l'étudiant ait sous les yeux le mécanisme de la réaction qu'il réalise lors d'un TP ?

## Annexe C : Codes de la transcription

- les noms des composés chimiques sont représentés par leurs symboles

–  $H^+$  : hache plus

- 
- Br<sup>-</sup> : bé er moins
  - H<sub>2</sub>O<sup>+</sup> : hache deux eaux plus
  
  - Les pauses
    - / : une pause de moins de 2 secondes
    - + : une pause d'environ 5 secondes
    - ++ : une pause d'environ 10 secondes
    - +++ : une longue pause
  
  - Style
    - *En italique* : ce qui est dit par le chercheur (moi-même)
    - Normal : ce qui est dit par l'interviewé
  
  - Para-verbal :
    - (?) : question
    - ( ) : interprétation
    - ... : phrase incomplète
    - (...) : passage inaudible
  
  - Les schémas explicatifs représentés par les interviewés sont repris avec les dialogues

## **Annexe D : Transcription des entretiens étudiants**

[agrebi\\_s\\_annexed.pdf](#)

## **Annexe E : Entretiens enseignants et chercheurs**

[agrebi\\_s\\_annexeE.pdf](#)

## **Annexe F : Entretiens étudiants ENS Lyon, septembre**

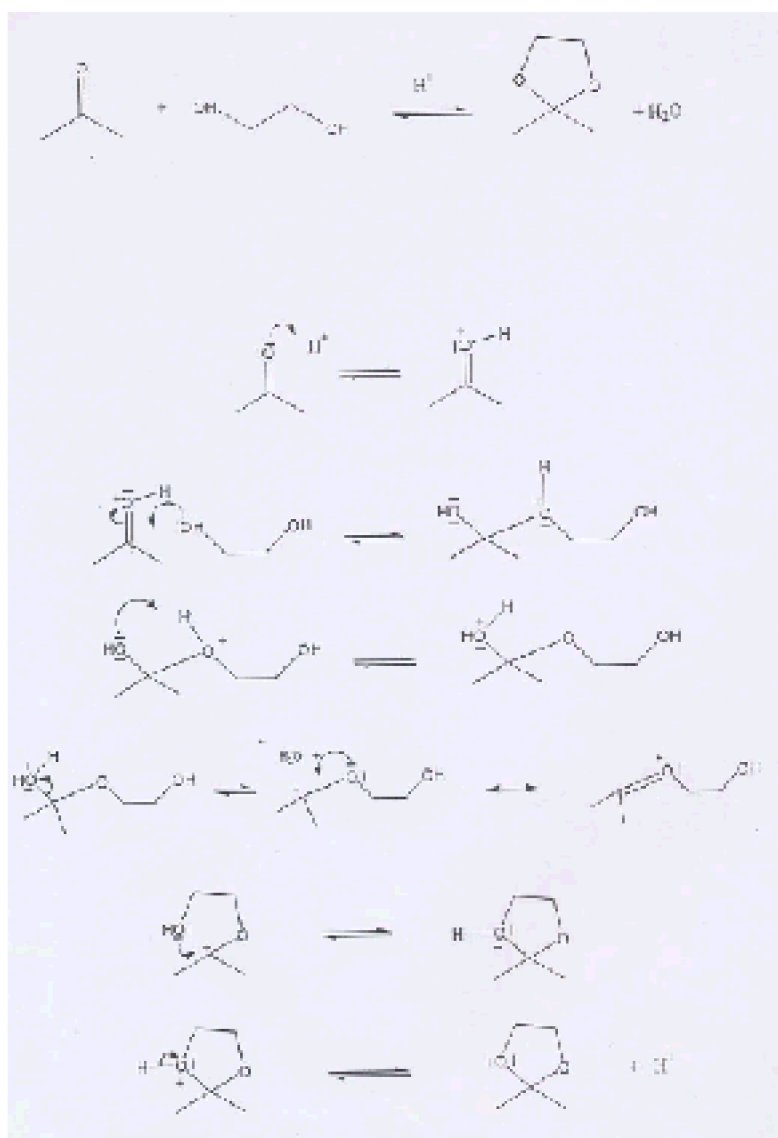
## 2001

• Question 1

Représenter un mécanisme en chimie organique en le commentant comme si vous vous adressiez à un étudiant de DEUG.

• Question 2 (T2)

Voilà un mécanisme vous allez le commenter comme si vous vous adressiez à un étudiant de DEUG.



- Question 3

Avez-vous des commentaires sur l'écriture de ce mécanisme ?

- Question 4

Est-ce que vous vous souvenez de la manière dont vous avez compris ce que signifiaient les flèches courbes utilisées pour représenter un mécanisme ?

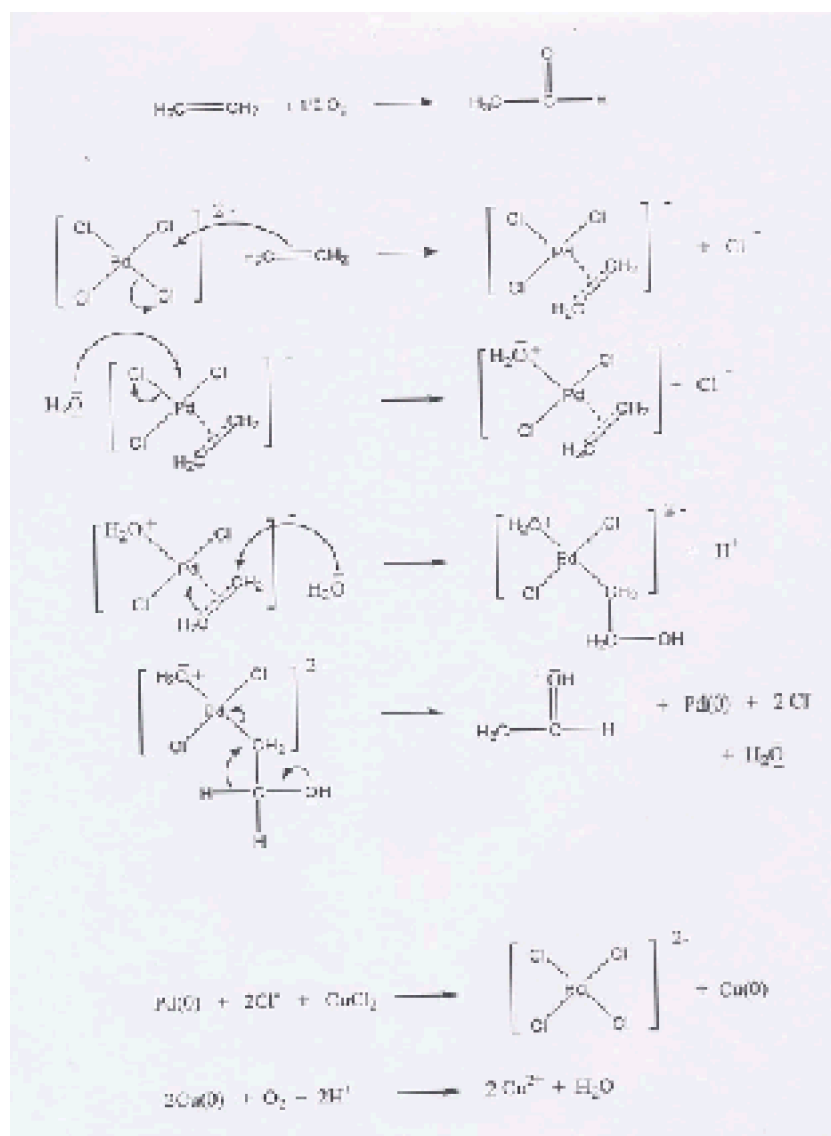
## **Annexe G : Entretiens étudiants ENS Lyon, mai 2002**

- Question N° 1

Représenter un mécanisme en chimie organique en le commentant comme si vous vous adressiez à un étudiant de DEUG.

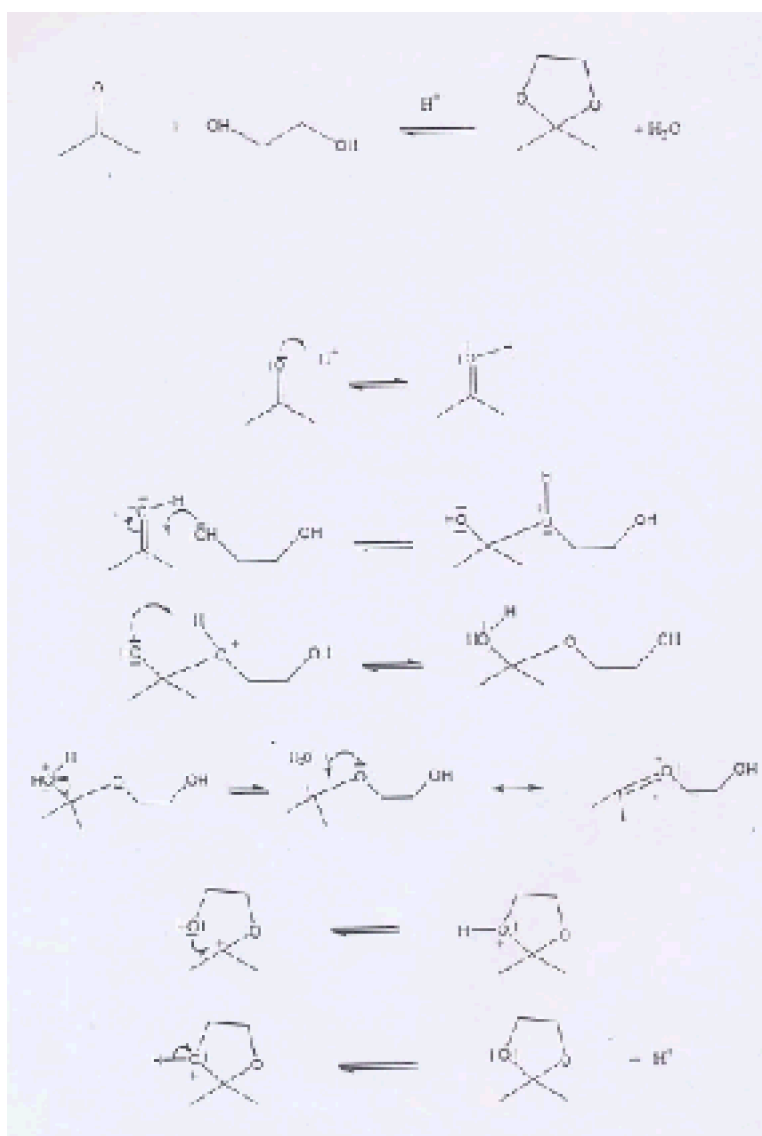
- Question N° 2 (T3)

Voilà un mécanisme vous allez le commenter comme si vous vous adressiez à un étudiant de DEUG.



Question 3 (T'2)

Voilà un mécanisme vous allez le commenter comme si vous vous adressiez à un étudiant de DEUG. (il s'agit du mécanisme de la question 2, septembre 2001)



## Annexe H : Découpage par étapes et catégorisation par niveaux de savoir

[agrebi\\_s\\_annexeH.pdf](#)

## Annexe I : Classification des verbes

[agrebi\\_s\\_annexel.pdf](#)

## **Annexe J : Textes des exercices, étudiants tunisiens**

[agrebi\\_s\\_annexeJ.pdf](#)

## **Annexe K : Réponses des étudiants**

[agrebi\\_s\\_annexeK.pdf](#)

## **Annexe L : Codes de la transcription**

[agrebi\\_s\\_annexeL.pdf](#)

## **Annexe M : Catégorisation des transcriptions**

[agrebi\\_s\\_annexeM.pdf](#)