

## Table des matières

Liste des tableaux .....	iii
Liste des acronymes et des sigles .....	iv
INTRODUCTION.....	1
PREMIERE PARTIE PRESENTATION ET ANALYSE DE LA THESE-MERE.....	3
1. PRESENTATION GENERALE DE LA THESE MERE .....	4
2. QUESTIONS PRINCIPALES DE RECHERCHE.....	4
3. CADRE THEORIQUE ET CONCEPTUEL.....	5
3.1. Systèmes sémiotiques.....	6
3.2. Système de modelés moléculaires .....	7
3.3. Analyse de programmes .....	8
3.4. Analyse des manuels scolaires .....	9
3.5. Analyse du programme par objectifs.....	10
3.6. Présentation du programme et son commentaire.....	10
3.7. PCK et connaissances du contenu disciplinaire des enseignants.....	10
4. METHODOLOGIE .....	12
4.1. Raisonnements et difficultés des élèves .....	12
4.2. PCK et connaissances du contenu disciplinaire des enseignants.....	13
5. DISCUSSION DES RESULTATS .....	14
5.1. Discussion des résultats relatif aux « raisonnements et difficultés des élèves » .....	14
5.2. Discussion des résultats relatif aux « connaissances pédagogiques de contenu (PCK) » ....	16
5.3. Discussion des résultats relatif aux « connaissances du contenu disciplinaire ».....	17
6. CONCLUSION DE LA THESE-MERE.....	17
7. ANALYSE CRITIQUE.....	19
DEUXIEME PARTIE REPLICATION .....	21
1. PROBLEMATIQUE .....	22
2. CADRE THEORIQUE ET CONCEPTUEL DE LA REPLICATION .....	23
2.1. Visualisation mentale : .....	23
2.2. Obstacle : .....	23
3. METHODOLOGIE .....	23
3.1. Instruments de collecte de données .....	24
3.2. Collecte des données .....	27
4. ANALYSE DES REPONSES D'ELEVES.....	28
4.1. Analyse des réponses d'élèves à la question 1 .....	28
4.2. Analyse des réponses d'élèves à question 2 .....	32
4.3. Analyse des réponses d'élèves à la question 3 .....	37

4.4. Analyse des réponses d'élèves à la question 4 .....	46
5. CONCLUSION DE LA DEUXIEME PARTIE .....	54
CONCLUSION .....	56
REFERENCES.....	58
ANNEXES .....	60

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Fonctions cognitives assurées par des systèmes sémiotiques (Mangane, 2014) .....	7
Tableau 2 : Répartition de la population d'élèves par établissement .....	27
Tableau 3 : Répartition des réponses des élèves à la question 1.a.....	29
Tableau 4 : Répartition des justifications des élèves à la question 1.b.....	31
Tableau 5 : Répartition des réponses à la question 2.....	34
Tableau 6 : Répartition des réponses à la question 3.a.....	40
Tableau 7 : Répartition des réponses à la question 3.b.....	43
Tableau 8 : Répartition des réponses et justifications des élèves .....	45
Tableau 9 : Répartition des réponses des élèves à la question 4.a.....	49
Tableau 10 : Répartition des réponses d'élèves des catégories (C1a) et (C1b1) à la question 4.b .....	51
Tableau 11 : Répartition des explications des élèves ayant dessiné les spatiale et de Newman .....	53

## Liste des acronymes et des sigles

A.P.C : Approche Par les Compétences

CISCO : Circonscription Scolaire

DREN : Direction Régionale de l'Éducation Nationale

P.C.K : Pedagogical Content Knowledge

P.P.O : Pédagogie Par Objectifs

S.M.K : Subject Matter Knowledge

Z.A.P : Zone Administrative Pédagogique

## INTRODUCTION

L'enseignement des sciences vise essentiel à favoriser l'adoption d'une attitude scientifique et de développer la capacité d'utiliser la méthode scientifique. Une telle attitude suppose évidemment l'acquisition d'un certain bagage de connaissances car; on ne saurait imaginer une attitude ou des principes dans l'abstrait.

Mais le volume des connaissances ne doit ou ne devrait, en aucun cas, accabler l'élève. Au début chaque élève reçoit une formation de base. Il lui serait ainsi facile d'enrichir ses acquis avec une telle perception bien structurée.

Il est déconseillé trop tôt d'adopter une attitude purement inutile; une formation de base solide ne peut qu'avoir des effets sur les spécialisations, et même sur la rapidité des élèves. Cela est particulièrement important à notre époque où l'acquis scientifique évolue considérablement au cours d'une vie.

Les étudiants doivent devenir capables de s'adapter eux-mêmes à ces transformations ultérieures.

En chimie, par exemple, les études doivent être réduites; leur étude est considérée non pas comme une fin en soi, mais comme le moyen de mettre en valeur et de comprendre les structures, les mécanismes de réaction. L'élève est incité et encouragé à adopter une attitude scientifique en classe scientifique.

multiples sont les raisons qui nous poussent à choisir comme thèse de référence celle de Mangane Nsayi qui s'intitule « Enseignement et apprentissage de la stéréochimie en terminale D au Bénin : raisonnements des élèves et points de vue des enseignants ». D'une part, Madagascar et Bénin ont les mêmes antécédents historiques, socio-économique et éducatif, ils ont le même contexte à propos des infrastructures scolaire et des effectifs pléthoriques des élèves. D'autre part, les connaissances acquises durant l'enseignement de la chimie organique ainsi que les éléments relatés dans la thèse mère de Mangane Nsayi nous révèlent que le programme au Bénin et à Madagascar sont similaire en chimie organique. Ils sont tirés du programme Français de 1985.

Les élèves malagasy et les élèves béninois ont presque même les raisonnements et les mêmes difficultés en stéréochimie.

Ce mémoire cherche donc à expliquer les raisonnements et les difficultés rencontrés par les élèves en terminale scientifique d'un lycée public et d'un privé pour résoudre un problème de la stéréochimie. Le programme scolaire de la classe terminale scientifique, en stéréochimie, a pour objectif de préciser les notions de structure moléculaire dans l'espace. L'étude de la stéréochimie en terminale scientifique repose principalement sur l'utilisation et l'interprétation des représentations du système sémiotiques. Le système sémiotique est un concept mathématique qui a été développé par Duval, et Mangane Nsayi en a fait une transposition en chimie dans sa thèse.

Notre mémoire comporte essentiellement deux parties :

- La première partie décrit les grandes lignes de la thèse mère à savoir ses questions de recherche, son cadre théorique, sa méthodologie et ses principaux résultats.
- La deuxième partie porte sur le travail de réplication. Elle présente notre problématique, nos questions de recherche, la méthodologie que nous avons adoptée, et les résultats que nous avons obtenus.

PREMIERE PARTIE  
PRESENTATION ET ANALYSE DE  
LA THESE-MERE

## 1. PRESENTATION GENERALE DE LA THESE MERE

La thèse de Mangane Nsayi, qui s'intitule "Enseignement et apprentissage de la stéréochimie en terminale D au Bénin : raisonnements des élèves et points de vue des enseignants", a été réalisée sous la direction d'Isabelle Kermen à l'Université Paris Diderot Sorbonne Paris Cite et soutenue le 12 juin 2014. Elle est entreprise durant trois ans (2010 au 2012) et contient 300 pages annexes non compris.

La rédaction est structurée en quatre chapitres. En se référant du concept du système et de registre sémiotique introduit par Duval (1993) en mathématique, dans le premier chapitre, l'auteur développe la notion de système sémiotique ainsi que les attributs des modèles moléculaires utilisés en stéréochimie pour comprendre les propriétés moléculaires et les processus chimiques. Puis dans le deuxième chapitre, il a analysé le programme d'enseignement et le manuel scolaire sous l'angle de la sémiotique, dans le but de voir dans quelle mesure les systèmes sémiotiques et les modèles moléculaires sont utilisés dans le contenu à enseigner. Dans le troisième chapitre, l'auteur analyse les raisonnements et les difficultés des élèves sur quelques représentations sémiotiques et modèles moléculaires, sous l'angle de la visualisation mentale et des gestes. Enfin, dans un dernier chapitre, il analyse les connaissances professionnelles des enseignants afin de dégager la nature de certains des composants de leurs PCK (Magnusson *et al.*, 1999) et leur maîtrise du contenu disciplinaire en stéréochimie.

Cette thèse est classifiée dans le type de recherche descriptive car son objectif est de décrire des faits, des objets, des événements et des comportements en utilisant différentes stratégies.

## 2. QUESTIONS PRINCIPALES DE RECHERCHE

Le développement de la recherche en didactique des disciplines scientifique a permis de susciter diverses réflexions sur la nature des obstacles à l'acquisition des connaissances par les élèves.

Les recherches en didactiques des sciences sont reconnues de façon plus évidente dans les pays développés comme la France, Belgique, Canada et Suisse alors que dans les autres pays moins développés comme le Bénin, les études didactiques sur l'enseignement des disciplines scientifiques sont quasi inexistantes.

Les conceptions des programmes de formation des enseignants, les programmes dans l'enseignement et le choix des stratégies d'apprentissages sont influencés par les résultats des études didactiques réalisées dans ces pays développés. D'après l'auteur, on peut s'inspirer des résultats des recherches des pays développés pour orienter de nouvelles recherches dans un contexte béninois. Les résultats obtenus permettront de proposer des pistes de solutions susceptibles de résoudre les problèmes rencontrés par les enseignants ainsi que les élèves durant l'enseignement et l'apprentissage de la stéréochimie.

Plusieurs raisons sont à l'origine du choix de la stéréochimie de la classe terminale D, à savoir:

- La chimie organique est reconnue comme plus difficile à enseigner et apprendre par rapport aux autres matières (Lafarge, 2010 ; Loumoune, 1998) ;

- La chimie organique exige plus de travaux pratiques et un temps d'enseignement plus important par rapport aux autres matières;

- Le contenu de la chimie organique en classe terminale D est encore plus vaste que dans les autres séries.

Et pourtant la grande partie de l'enseignement de la chimie organique repose sur la stéréochimie. Les questions principales de recherche de la thèse mère sont organisées autour de deux axes. L'une consiste à tourner autour des raisonnements et des difficultés des élèves en stéréochimie. Tandis que l'autre concerne les connaissances professionnelles des enseignants (PCK) et connaissances du contenu disciplinaire.

Les questions principales de recherche concernant les raisonnements et les difficultés des élèves en stéréochimie s'organisent autour de l'utilisation et l'interprétation des représentations sémiotiques de Cram et Newman, et de même sur les modèles moléculaires. Les questions de recherche sont alors :

- quels raisonnements utilisent les élèves béninois de terminale D pour résoudre les problèmes de stéréochimie?

- quelles sont les difficultés rencontrées par les élèves béninois de terminale D lors de l'utilisation et l'interprétation des représentations sémiotiques et des modèles moléculaires en stéréochimie?

Pour le cas des questions principales de recherche sur les connaissances professionnelles (PCK) et connaissances du contenu disciplinaire des enseignants, en première temps, celles-ci ont pour attribution d'analyser et décrire certains composants des connaissances pédagogiques du contenu (PCK) mobilisés par l'enseignant pour enseigner la stéréochimie et, en deuxième temps, à caractériser leur connaissances du contenu disciplinaire stéréochimie.

Les questions principales se posent en ces termes :

- Quelle est la nature des PCK des enseignants béninois à propos de la stéréochimie?

- Quel est leur degré de maîtrise du contenu disciplinaire stéréochimie?

Pour répondre à ces quatre questions principales de recherche, l'auteur prend en compte les activités cognitives (Duval, 1993) qui permettent la représentation sémiotique et les modèles moléculaires. Il cherche à analyser et à décrire aussi les connaissances du programme d'enseignement de la stéréochimie, la compréhension de la stéréochimie par les élèves, l'évaluation, les stratégies d'enseignement (Magnusson *et al.*, 1999) et à caractériser les connaissances du contenu disciplinaire de la stéréochimie.

### 3. CADRE THEORIQUE ET CONCEPTUEL

Les représentations sémiotiques sont au cœur du processus d'enseignement/apprentissage de la science en général, et de la Chimie en particulier (Gilbert, 2010). Les chimistes les utilisent pour

comprendre les propriétés géométriques des molécules et les processus chimiques, les molécules et leurs propriétés qui ne sont pas disponibles à la perception directe (Kozma *et al.*, 2000).

Les représentations sémiotiques permettent de présenter des informations, qui ne pourraient être facilement comprises autrement (Larkin & Simon, 1987; Kozma *et al.*, 2000; Wu & Shah, 2004). L'auteur a fondé sur le cadre théorique des systèmes et registres sémiotiques proposées par Duval (1993) dans le cadre de la didactique des mathématiques, pour caractériser les systèmes sémiotiques en stéréochimie. Il établit aussi un lien entre le contenu de stéréochimie prescrit dans le programme, les objectifs pédagogiques, et les capacités attendues des élèves. Enfin, il décrit des modèles de PCK (Pedagogical Content Knowledge) et la typologie des connaissances professionnelles des enseignants proposée par Shulman (1986, 1986, 1987).

### 3.1. Systèmes sémiotiques

L'auteur a énoncé la définition du système sémiotique selon Duval en mathématique et les différents types de système sémiotique.

#### 3.1.1. Définition

Selon Duval (1993) *"les représentations sémiotiques sont des productions constituées par l'emploi de signes appartenant à un système de représentation qui a ses contraintes propres de signification et de fonctionnement"*.

Un système sémiotique est appelé registre s'il permet les trois activités cognitives suivantes :

- La formation d'une représentation conforme aux règles sémiotiques : activité de communication
- Le traitement de cette représentation par les seules règles aux systèmes, de façon à obtenir un apport de connaissance par rapport à la représentation initiale : c'est la transformation interne du registre.
- La conversion d'une représentation de registre dans un autre, de telle façon que cette dernière permette de clarifier d'autres significations relatives à ce qui est représenté: c'est une transformation externe au registre du départ.

Duval distingue plusieurs types de systèmes sémiotiques : symbolique, langage naturel... Ces systèmes existent également en chimie. Le langage naturel : en mathématiques comme en chimie, un texte, qu'il soit écrit ou lu est basé sur ce système sémiotique. En langage naturel, le texte qu'il soit écrit ou lu, est basé sur un système sémiotique en mathématique ou en chimie. Le système symbolique est un signe qui peut renvoyer à un objet conformément à une loi, une règle. Le signe CH<sub>4</sub> par exemple peut symboliser la molécule de méthane.

### 3.1.2. Exemple de systèmes sémiotiques :

Pour représenter dans le plan les molécules, qui sont des entités tridimensionnelles, les chimistes utilisent principalement quatre systèmes conventionnels de projection : système de Cram, système de la perspective, système de Newman et système de Fischer (Eliel et Basolo, 1969). Au départ, ils ont employé seulement des systèmes de représentation plane n'ayant pas un caractère tridimensionnel : le système de formule brute, système de formule semi-développée et système de formule développée.

Le système de Fischer n'est pas développé, car il n'est pas abordé dans le programme de stéréochimie en terminale.

Le tableau suivant résume les fonctions cognitives des différents systèmes sémiotiques

Tableau 1 : Fonctions cognitives assurées par des systèmes sémiotiques (Mangane, 2014)

Systemes sémiotiques / Fonctions Cognitives	Formules brutes	Formules développées	Formules semi-développées	Cram	Perspective	Newman
<b>Représentation ou communication</b>	nombre et type d'atomes constituant une molécule	Enchaînement atomique et nature des liaisons chimiques dans la molécule	Enchaînement atomique et nature des liaisons chimiques dans la molécule	Structure spatiale de la molécule	position relative des atomes	position des liaisons et des substituants de deux carbones adjacents, les uns par rapport aux autres
<b>Activité de traitement</b>	Aucune	Mise en évidence de l'isomérie	Mise en évidence de l'isomérie	Mise en évidence de la stéréoisomérie de conformation ; des configurations Z et E ; et de l'énantiomérie	Mise en évidence de la stéréoisomérie de conformation ; des configurations Z et E ; et de l'énantiomérie	Mise en évidence de la stéréoisomérie de conformation ; de l'énantiomérie et de la diastéréoisomérie
<b>Résultat de la conversion</b>	Formules développée ou semi-développée	Formules brute ou semi-développée, représentations de Cram, en perspective ou de Newman	Formules brute ou développée, représentations de Cram, en perspective ou de Newman	Formules brute, développée ou semi-développée, représentations en perspective ou de Newman	Formules brute, développée ou semi-développée, représentations de Cram ou de Newman	Formules brute, développée ou semi-développée, représentation de Cram ou en perspective

### 3.2. Système de modelés moléculaires

Les modèles moléculaires sont des objets matériels. Ce ne sont pas des représentations au sens sémiotique du terme, car ils ne sont pas, en deux dimensions (Khanfour-Armalé et Le Maréchal, 2009). Ils présentent néanmoins les caractéristiques d'un système sémiotique tel que défini par Duval comme suit :

*Représentation* : Les modèles moléculaires reproduisent, comme la représentation de Cram, la structure spatiale des molécules. Il existe deux types de modèles moléculaires : les modèles éclatés et les modèles compacts. Le modèle compact montre la taille caractéristique du rayon de Van der Waals des atomes, alors que le modèle éclaté montre le squelette moléculaire (noyaux d'atomes et axes de liaison) (Boilevin *et al.*, 1996, Simon, 1998, Khanfour-Armalé et Le Maréchal, 2009).

*Traitement* : Toutes les opérations de traitement réalisées dans le registre de Cram peuvent être faites avec un modèle moléculaire.

*Conversion* : Un modèle moléculaire peut être converti en différents systèmes sémiotiques (systèmes de Cram, de la perspective, de Newman...), et inversement.

### 3.3. Analyse de programmes

Le programme d'enseignement au Bénin a été conçu selon un courant pédagogique la pédagogie par objectifs (PPO) et l'approche par les compétences (APC). Il est ainsi nécessaire de parler de l'objectif pédagogique, la compétence et la capacité.

#### 3.3.1. Objectif pédagogique

La pédagogie par objectifs, encore appelée PPO, consiste à définir et à préciser les objectifs à atteindre dans une séquence d'enseignement apprentissage. La capacité est l'aptitude ou le comportement que l'élève met en œuvre pour faire quelque chose. L'objectif est lié intimement à la capacité attendue de l'élève à la fin de la séquence d'apprentissage. La formulation des objectifs doit répondre aux cinq questions suivantes (De Landsheere, 1976):

- 1- Qui produira le comportement souhaité?
- 2- Quel comportement observable démontrera que l'objectif est atteint?
- 3- Quel sera le produit de ce comportement (la performance)?
- 4- Dans quelles conditions le comportement doit-il avoir lieu?
- 5- Quels critères serviront à déterminer si le produit est satisfaisant?

#### 3.3.2. Compétence et capacité

Une compétence est une mise en œuvre des savoirs de l'élève (savoir-être, savoir-faire ou savoir-devenir) dans une situation donnée.

Elle est contextualisée dans une situation précise et dépendante de la représentation que l'élève se fait de cette situation.

Une capacité, c'est le pouvoir, l'aptitude à faire quelque chose. C'est une "[...] *activité intellectuelle stabilisée et reproductible dans des champs divers de connaissance ; terme utilisé souvent comme synonyme de "savoir-faire". Aucune capacité n'existe à l'état pur et toute capacité ne se manifeste qu'à travers la mise en œuvre de contenus*" (Meirieu, 1990).

### 3.4. Analyse des manuels scolaires

Dans l'analyse des manuels scolaires, l'auteur a présenté les structures des manuels scolaires, la place des systèmes sémiotiques et des modèles moléculaires dans ces manuels.

#### 3.4.1. Présentation et structuration du manuel scolaire

Dans la gamme de manuels de chimie existant en terminale D, l'auteur se sert exclusivement de celui qui est recommandé par les instructions officielles à Benin (Ecollan De Coligny *et al.*, 1989), et qui semble être le plus utilisé aussi bien par les enseignants que par les élèves. Il répond aux objectifs suivants :

- Donner une importance particulièrement à l'expérience. En chimie organique, l'objectif est de donner des descriptions à l'expérience et à les présenter sous forme de dessin ou de photographie.
- Aider à la préparation du Baccalauréat.

Les questions posées dans les exercices ou problèmes sont ordonnées selon un niveau de complexité croissante. La table des matières comprend trois parties : chimie générale, chimie organique et cinétique chimique. La chimie organique débute par un rappel et la stéréochimie représente 20% du nombre de pages consacré à la chimie organique.

#### 3.4.2. Place des systèmes sémiotiques et des modèles moléculaires dans le manuel

Mangane Nsayi établit le lien entre le contenu à enseigner, les systèmes sémiotiques et les modèles moléculaires dans la partie cours, puis le lien entre ces derniers et les capacités attendues de l'élève dans la partie « Pour vous tester » et « Problèmes ». Pour étudier la stéréoisométrie, l'auteur souligne la nécessité d'utiliser les représentations de Cram ou les modèles moléculaires, car la formule développée ou semi-développée ne suffit plus. Aucune explication à propos de la méthode de conversion inter-registre Cram-Newman n'est fournie, le manuel ne donne que des illustrations traduisant une observation de la molécule en représentation de Cram. Les conformations du cyclohexane sont dévoilées en représentation perspective

Le manuel s'appuie sur la formule semi-développée pour définir un carbone asymétrique. La chiralité et la relation d'énantiométrie entre deux molécules sont mises en évidence par le biais de la représentation de Cram. La mise en évidence expérimentale de l'activité optique d'une substance organique est accompagnée d'une description schématique du modèle moléculaire et du phénomène observé. Il ressort de cette analyse du manuel que les systèmes sémiotiques en général, et de projection en particulier (systèmes de Cram, de la perspective et de Newman), interviennent dans les définitions des notions de stéréochimie et dans la mise en évidence des propriétés de stéréoisométrie de

conformation des molécules. Le traitement est l'activité cognitive la plus sollicitée. La fonction de conversion inter registre (Cram-Newman par exemple) est peu explicitée.

La résolution des exercices nécessite les capacités des élèves, liées pour la plupart, aux activités cognitives que permettent les systèmes sémiotiques.

### 3.5. Analyse du programme par objectifs

L'auteur cherche à établir un lien entre les objectifs pédagogiques du programme et les systèmes sémiotiques et modèles moléculaires auxquels ils se réfèrent. Il vérifie si les objectifs pédagogiques sont comportementalistes, car il est difficile d'analyser avec efficacité un programme PPO si les objectifs pédagogiques ne sont pas clairement définis (Mager, 2005)

### 3.6. Présentation du programme et son commentaire

L'enseignement de la chimie organique en terminale D a pour but d'expliquer la réactivité des molécules à partir de leur stéréochimie, et de montrer :

- la similitude des propriétés et de la réactivité chimique des composés organiques ayant des groupes d'atomes identiques;
- la transformation des groupes fonctionnels en d'autres groupes;
- l'existence d'une seule chimie dont les lois sont applicables aussi bien au monde inanimé qu'au monde vivant.

Le programme du terminale D donne des indications précises sur les contenus à enseigner et sur les objectifs de l'enseignement.

La stéréochimie aborde les notions de configuration et de conformation des molécules, le carbone asymétrique, la chiralité, l'énantiomérisation dans le cas des composés dont la molécule ne contient qu'un atome de carbone asymétrique etc.

### 3.7. PCK et connaissances du contenu disciplinaire des enseignants

Certaines connaissances professionnelles des enseignants en stéréochimie sont analysées à savoir leurs connaissances pédagogiques du contenu (Pedagogical Content Knowledge, PCK) et leurs connaissances du contenu disciplinaire.

#### 3.7.1. Les différentes catégories

Dans ses travaux sur les connaissances professionnelles des enseignants relatives à la fois à discipline et à l'enseignement, Shulman (1986) a repéré des connaissances diversifiées. Au départ, il

distingue trois catégories de connaissances, toutes liées au contenu : les connaissances disciplinaires du contenu (Subject Matter content Knowledge : SMK), les connaissances pédagogiques du contenu (Pedagogical Content Knowledge : PCK) et les connaissances sur les programmes (Curricular Knowledge). Par la suite Shulma (1987) affine ces trois catégories dans une liste plus complète de sept catégories : les connaissances disciplinaires (Content Knowledge or Subject Matter Knowledge, SMK), les connaissances sur les programmes (Curricular Knowledge), les connaissances pédagogiques du contenu (Pedagogical Content Knowledge, PCK), les connaissances pédagogiques générales (general pedagogical knowledge), les connaissances sur les élèves et leurs caractéristiques (knowledge of learners and their characteristics), les connaissances sur le contexte de l'établissement, de la classe (knowledge of educational context), et les connaissances sur les buts et les valeurs de l'éducation (knowledge of educational ends, purposes, and values, and their philosophical and historical backgrounds).

Selon Magnusson *et al.*, (1999) les PCK comportent cinq composants: (1) les orientations de l'enseignement des sciences, (2) les connaissances sur le programme d'enseignement, (3) les connaissances sur la compréhension qu'ont les élèves de la discipline, (4) les connaissances sur les stratégies d'enseignement de la discipline, (5) et les connaissances sur l'évaluation de l'apprentissage de la discipline;

### 3.7.2. Les composants

L'auteur utilise le PCK du modèle Magnusson *et al.*, (1999) en décrivant les différents composants et d'en faire dégager le lien si cela est possible, avec la stéréochimie.

*Les orientations de l'enseignement des sciences* : Ce composant se réfère aux connaissances des enseignants à propos des buts et des valeurs de l'enseignement des sciences à un niveau d'étude particulier. Elles orientent les décisions des enseignants sur les objectifs à atteindre, le contenu à enseigner aux élèves, l'utilisation de manuels scolaires, l'évaluation de l'apprentissage des élèves ou les stratégies d'enseignement (Borko et Putman, 1996, cité par Magnusson *et al.*, 1999).

*Connaissances sur le programme d'enseignement de la stéréochimie* : ce composant englobe deux sous-composants tels que les connaissances des buts et objectifs du programme, et les connaissances du matériel

*Connaissances sur l'évaluation de l'apprentissage de la stéréochimie* : ce type de connaissance regroupe les connaissances des résultats de l'apprentissage qui sont importants à évaluer (les connaissances, les savoir-faire, les capacités, les valeurs, les attitudes etc. qui doivent être évalués) et les connaissances des méthodes par lesquelles l'apprentissage peut être évalué.

*Connaissances sur les stratégies d'enseignement de la stéréochimie* : il s'agit des connaissances des enseignants à propos des stratégies nécessaires pour aider les élèves à comprendre des notions ou des concepts spécifiques de la stéréochimie. Ces sont des connaissances peuvent être relative à la

manipulation et interprétation de représentation sémiotiques, ou à l'utilisation de logiciels de construction et de visualisation des molécules en trois dimensions, ou à des activités ou méthodes permettant une meilleure compréhension des concepts.

*Connaissances sur la compréhension de la stéréochimie par les élèves* : Ce composant de PCK renvoie aux connaissances que doivent avoir les enseignants sur les élèves afin de les aider à développer des connaissances en stéréochimie. Il comprend deux sous-composants de connaissances: les requis nécessaires à l'apprentissage de la stéréochimie, et les parties de stéréochimie que les élèves trouvent difficiles.

### 3.7.3. Connaissances du contenu disciplinaire

Le rôle de l'enseignant est d'aider les élèves à construire leur propre savoir ; et cela exige de lui une connaissance approfondie des principaux concepts, des faits, des principes, ou théories qui sont au cœur de la discipline enseignée. La plupart des chercheurs s'accordent sur le fait que les connaissances du contenu disciplinaire doivent être prises en considération lors de l'étude des PCK (Van Driel *et al.*, 1998, 2011, Magnusson *et al.*, 1999, Kind, 2009).

## 4. METHODOLOGIE

L'auteur dans cette thèse a séparé, d'une part, la méthodologie pour appréhender les raisonnements et les difficultés des élèves en stéréochimie et, d'autre part, la méthodologie pour chercher à reconstituer les connaissances pédagogiques de contenu (PCK) et les connaissances du contenu disciplinaire mobilisés par les enseignants pour enseigner la stéréochimie. Chaque méthodologie est réalisée en trois études durant trois années consécutives. Les études ont des outils de recherche, un terrain d'enquête et une méthode d'analyse de donnée. L'étude 1 ne permet pas de découvrir les difficultés de visualisation mentale que peut engendrer l'observation de la représentation de Cram. Cela nécessite une deuxième étude. Les études 1 et 2 ne permettent pas de mieux expliciter les raisonnements spatiaux, cela va amener à la troisième étude. L'étude 3 consiste à analyser les productions écrite, verbale et les gestes des élèves au moyen d'entretien individuels.

### 4.1. Raisonnements et difficultés des élèves

L'auteur accomplit l'étude de raisonnement et difficultés des élèves en stéréochimie en trois phases selon trois études qui ont duré trois années consécutives. Chaque étude réalisée avait des outils de recherches, de terrain d'enquête et une méthode d'analyse des données.

L'étude 1 porte sur la signification des traits de la représentation de Cram, la conversion inter registre formule semi-développée-Cram et l'identification des stéréoisomères de conformation parmi les représentations Newman décalé et éclipsé de molécules. Un questionnaire sur papier comportant quatre questions est utilisé pour collecter des données. La collecte de donnée s'est déroulée dans quatre établissements scolaires béninois. Elle est basée sur un échantillon de 224 élèves, âgés de 17 à 21 ans en terminale D. Le questionnaire papier-crayon d'une durée de 30 minutes, est distribué 4 mois après l'enseignement de la stéréochimie. Pour chaque question, l'auteur enregistre les éléments de réponses pertinents afin de les classer par thème ou catégorie thématique, en vue d'établir des pourcentages et de procéder à leur comparaison et interprétation (Robert et Bouillaguet, 2002). L'étude 1 ne permet pas de déceler les capacités de visualisation mentale des élèves, en d'autre terme, les difficultés de visualisation mentale de la molécule suivant l'axe carbone-carbone.

L'étude 2 a pour but de connaître les raisonnements et les difficultés des élèves liés aux opérations de rotation autour de l'axe carbone-carbone d'une molécule en représentation de Cram, de reconnaissance des molécules stéréoisomères de conformation parmi une série de molécules en représentation de Cram, et l'identification de couple d'énantiomères parmi une série de molécules en représentation de Cram et la conversion de la représentation de Cram en représentation de Newman. On construit un questionnaire papier comportant quatre questions pour collecter les données. La collecte des données est basée sur un échantillon de 340 élèves, âgés de 17 à 21 ans, des classes terminales D des établissements scolaires des villes de Porto-Novo et de Natitingou.

Pour mieux expliciter les raisonnements des élèves, l'auteur estime qu'il est nécessaire, à travers une nouvelle étude (étude 3), d'analyser, au moyen d'entretien individuel, les productions écrites et verbales des élèves, et les gestes qui pourraient accompagner ces productions. Dans l'étude 3, l'auteur cherche aussi à mettre en évidence les raisonnements des élèves concernant la manipulation et l'interprétation des modèles moléculaires. La collecte des données est basée sur un échantillon de 16 élèves volontaires, âgés de 17 à 22 ans, des classes terminales D de quatre établissements scolaires du Bénin. Les entretiens sont semi-directifs, ceci dans le but de laisser les élèves exposer en détail leurs pensées. Un protocole d'entretien individuel de cinq questions est construit pour collecter les données. Les entretiens sont enregistrés à l'aide d'un caméscope et d'un magnétophone, ce dernier permet de réaliser des enregistrements audio plus audibles.

#### 4.2. PCK et connaissances du contenu disciplinaire des enseignants

L'auteur cherche à reconstituer certains composants des connaissances pédagogiques de contenu (PCK) mobilisées par les enseignants pour enseigner la stéréochimie. Face à des réponses des élèves erronées, il cherche à savoir si les enseignants repèrent l'erreur et/ou la difficulté des élèves, mettent en œuvre des connaissances disciplinaires solidaires pour évaluer cette erreur et/ou cette difficulté.

Le protocole d'entretien comprend treize questions ouvertes et fermées. Huit questions ciblent la stéréochimie d'une manière générale. Cinq autres questions complémentaires concernent des aspects précis de stéréochimie sur lesquels les élèves rencontrent des difficultés mises en évidence dans les études 1 et 2. La collecte des données est basée sur un échantillon de onze enseignants volontaires, dix hommes et une femme, de quatre établissements scolaires. Les entretiens individuels ont duré de 20mn à 1h05mn, et ont eu lieu deux mois après l'enseignement de la stéréochimie. Les enregistrements audio sont transcrits intégralement. Pour analyser les propos tenus, l'auteur choisit de ne considérer que les sens et non les formes des réponses. Le protocole d'entretien comprenait deux catégories de questions : des questions relatives aux composants de PCK en stéréochimie, et des questions dites complémentaires qui se rapportent à des thèmes spécifiques de stéréochimie.

## 5. DISCUSSION DES RESULTATS

Après l'analyse des données, l'auteur présente les résultats selon les questions spécifiques de recherche posées

### 5.1. Discussion des résultats relatif aux « raisonnements et difficultés des élèves »

Les résultats de l'étude 1 ne permettent pas d'affirmer que les élèves maîtrisent parfaitement la signification de la représentation de Cram. Il paraît aussi que la reconnaissance des stéréoisomères de conformation parmi une série de molécules en représentation de Newman, n'est pas aisée pour certains élèves. A propos de la conversion inter registre Cram-Newman, dans l'étude 1, la majorité des élèves n'arrivent pas à réussir, ils se trompent sur les positions des substituants des carbones. La difficulté à réaliser cette conversion inter registre peut être due à l'incapacité de visualisation des positions des substituants des carbones proche ou éloigné dans la représentation de Newman (incapacité d'orientation spatiale).

Les résultats de l'étude 2, sur le passage d'une conformation à une autre dans la représentation de Cram, permettent de déduire trois catégories de raisonnement des élèves, tous infructueux. La première, spatiale, consiste à réaliser l'opération de rotation mentalement. La deuxième, non spatiale, à changer la forme initiale de la représentation à partir des substituants du carbone aléatoirement. Enfin la troisième, également non spatiale, à réaliser une permutation circulaire ou aléatoire, des substituants du carbone. Concernant la reconnaissance de stéréoisomères de conformation parmi une série de molécules en représentation de Cram, l'auteur a recensé trois types de démarches. La première, correcte, consiste à vérifier que les représentations de Cram, de forme globale quelconque ou distincte, ne diffèrent que par rotation du groupement d'un carbone autour de l'axe carbone-carbone. La deuxième, partiellement correcte, à vérifier l'identité des substituants des carbones des représentations des formes globales quelconques ou identiques. Dans la troisième démarche, incorrecte, les représentations globales

de Cram des formes identiques et/ou différentes sont repérées, sans prendre en compte l'identité des substituants des carbones.

Concernant l'utilisation de la méthode de double permutation (MDP), l'auteur révèle une mauvaise assimilation des propriétés qui régissent cette méthode. Il paraît que le raisonnement analytique, en récurrence la MDP, n'est pas forcément la stratégie la plus aisée ou la plus efficace pour les élèves. Aucun élève ne donne intégralement les réponses attendues de la question relatives à la conversion inter registre Cram-Newman.

Les réponses proposées par certains élèves permettent de supposer que :

- L'image mentale générée à partir de représentation de Cram est inexacte parce que les capacités de visualisation spatiale des élèves sont défectueuses.

- L'image mentale de générée à partir de la représentation de Cram est exacte, mais les projections mentales des substituants des carbones sur le plan perpendiculaire à l'axe carbone-carbone échouent ; dans cette hypothèse, les élèves n'ont pas de bonne capacité de relation spatiale. Ce qui permet de dire que les élèves représentent une carence de capacité d'orientation spatiale.

Concernant le premier volet de la question dans l'étude 3, les réponses révèlent que le dessin constitué par l'emploi de signe appartenant au système de Cram est un dessin d'une représentation d'une molécule.

A propos du second volet de la question, la majorité des élèves manifeste une maîtrise partielle des renseignements qu'on peut tirer d'une représentation de Cram.

L'analyse des résultats révèle que les élèves utilisent diverses stratégies pour répondre aux questions relatives aux opérations de rotation des substituants du carbone autour de l'axe carbone - carbone, et de conversion inter registre Cram Newman. De manière générale, ils engagent rarement des comportements manifestes (gestes métaphoriques ou procéduraux) indiquant qu'ils ont un raisonnement spatial. Concernant l'opération de rotation des substituants d'un carbone autour de l'axe carbone -carbone, aucun élève ne la réussit pour les raisons suivantes :

- insuffisance des capacités de rotation mentale, qui gêne la visualisation des positions exactes des substituants des carbones après rotation (Tuckey *et al.*, 1999);

- identification incorrecte de l'axe de rotation (Tuckey *et al.*, 1999);

- méconnaissance de la valeur de l'angle dièdre, empêchant de ce fait la réalisation de l'angle de rotation demandé.

La plupart ne maîtrise pas les étapes de la méthode de conversion inter registre Cram Newman, et utilise des raisonnements non spatiaux inadéquats, et souvent confus, pour réaliser la conversion inter registre Cram. L'auteur en retient particulièrement deux. Le premier et le plus utilisé, consiste à dessiner une représentation de Newman de forme globale, éclipée ou décalée, identique à celle de Cram, puis à distribuer les substituants des carbones aléatoirement. Dans le second, la forme globale de la représentation de Cram est représentée en Newman, puis les atomes situés sur des traits de liaison identiques sont répartis diamétralement opposés; ce raisonnement est dû au fait que la représentation de

Cram est vue, à tort, comme une figure plane. Outre la mauvaise appropriation de la méthode de conversion inter registre Cram Newman, la majorité d'élèves présente des difficultés d'orientation spatiale, ce qui rend l'apprentissage de cette méthode plus que difficile.

La question concerne l'usage de modèle moléculaire et son passage en représentation de Cram. Les élèves interrogés n'ont jamais manipulé un modèle moléculaire avant l'entretien.

## 5.2. Discussion des résultats relatif aux « connaissances pédagogiques de contenu (PCK) »

L'étude des PCK/programme permet de connaître les objectifs d'enseignement de la stéréochimie selon les enseignants. Les considérations des enseignants, à propos des objectifs de l'enseignement de la stéréochimie et le contexte de l'enseignement, affectent considérablement leurs choix à propos des « stratégies d'enseignement » à adopter et des « évaluations » à proposer, ainsi que l'apprentissage de la stéréochimie.

L'examen des PCK/stratégies révèle deux types d'enseignement : l'un combine l'utilisation de représentations sémiotiques et de modèles moléculaires pour expliquer les notions de stéréochimie, l'autre, en raison des conditions matérielles inadéquates, ne s'appuie que sur les représentations sémiotiques, ce qui rend l'enseignement de la stéréochimie plus que difficile. Les enseignants usent parfois d'illustrations et d'analogies pour pallier l'absence de modèles moléculaires, ce qui facilite la visualisation et la compréhension de la représentation de Cram d'une molécule. La MDP est également enseignée aux élèves, et ce, pour leur permettre de reconnaître des couples d'énantiomères sans utiliser la visualisation mentale des représentations de Cram.

L'analyse des PCK/évaluation du composant « connaissances sur l'évaluation » fournit les renseignements suivants :

- les évaluations portent essentiellement sur la stéréoisométrie configurationnelle, la stéréoisométrie conformationnelle semble présenter peu d'intérêt pour les enseignants ;
- les évaluations sont sommatives et données sous forme d'interrogations écrites ;
- la plupart porte sur des opérations de traitement intra registre de la perspective, de la formule semi-développée, de Cram et de Newman, la conversion inter registre formule semi-développée Cram ;
- les définitions des notions de stéréochimie (stéréoisométrie de configuration par exemple) et la conversion inter registre Cram Newman ne sont pas évaluées;
- seul, un tiers des capacités attendues des élèves sont évaluées, et les capacités expérimentales n'y figurent pas, à cause de l'absence de ressources matérielles, ou peut-être, des difficultés des enseignants à concevoir des évaluations adaptées.

A travers l'étude des PCK/compréhension, l'auteur remarque que l'apprentissage de la stéréochimie est considéré comme difficile par la majorité des enseignants.

### 5.3. Discussion des résultats relatif aux « connaissances du contenu disciplinaire »

Les résultats de l'analyse des questions dites particulières, révèlent que la majorité des enseignants présente, comme les élèves, des difficultés de visualisation mentale des représentations de Cram et de Newman. Ces difficultés se traduisent précisément par une incapacité d'orientation spatiale et de relations spatiales (rotation mentale et projections mentales). Ils ont donc du mal à réaliser la rotation des substituants du carbone autour de l'axe de la liaison carbone – carbone dans le registre de Cram et de conversion inter registre Cram Newman. La démarche utilisée pour reconnaître les stéréoisomères de conformation parmi une série de représentations de Cram de molécule n'est pas concluante : des enseignants ne comparent que l'identité des substituants des carbones des représentations fournies, et ne tiennent pas compte de celle des configurations absolues. Ce qui peut, dans certaine situation, les induire en erreur. La maîtrise du contenu disciplinaire en stéréochimie paraît donc partielle. Cela les empêche d'identifier certaines difficultés des élèves et/ou leurs causes, et par conséquent compromet leurs PCK/compréhension. L'impact des « connaissances du contenu disciplinaire » sur les PCK semble également se manifester sur le composant PCK/évaluation : les opérations de traitement intra registre de Cram (rotation des substituants du carbone autour de l'axe de la liaison C—C) et de conversion inter registre Cram Newman pour lesquelles les enseignants rencontrent des difficultés ne sont pas évaluées.

## 6. CONCLUSION DE LA THESE-MERE

Pour conclure, l'auteur essaie de répondre aux quatre questions de recherche.

Concernant les raisonnements des élèves pour résoudre les problèmes de la stéréochimie.

L'auteur révèle, que les élèves utilisent deux types de raisonnements, spatial et analytique, pour résoudre les problèmes de stéréochimie suivants :

- l'identification de stéréoisomères de conformation parmi une série de molécules dans le registre de Cram ou de Newman,
- la rotation des substituants d'un carbone autour de l'axe de la liaison carbone - carbone dans le registre de Cram,
- et la conversion inter registre Cram - Newman.

Il constate aussi que, lorsqu'il s'agit de réaliser les opérations de rotation des substituants d'un carbone autour de l'axe carbone – carbone dans le registre de Cram (activité de traitement) et de conversion inter registre Cram - Newman, la plupart adopte un raisonnement analytique qui s'avère inefficace, au détriment d'un raisonnement spatial. Le type de raisonnement utilisé ne semble donc pas dépendre de l'activité cognitive, traitement ou conversion, à réaliser. Ce résultat est différent de celui obtenu par Stieff (2010), à savoir que chez les étudiants le choix du raisonnement est tributaire de

l'activité cognitive à réaliser : par exemple ils utilisent plus un raisonnement spatial lorsque l'opération à réaliser est une conversion inter registre. Bien qu'il soit infructueux, ce raisonnement analytique apparaît bien comme une alternative pour contourner les difficultés de visualisation mentale (Stieff, 2010). Pour d'autres, le raisonnement analytique est provoqué par un manque de connaissance du contenu en stéréochimie au lieu d'une incapacité à manipuler mentalement les représentations de Cram.

Un autre raisonnement analytique utilisé par les élèves est la méthode de la double permutation. Contrairement aux raisonnements analytiques cités précédemment, ce dernier a la particularité d'être proposé par les enseignants, et ce, pour identifier les couples d'énantiomères dans le registre de Cram. Toutefois, l'auteur constate que ce n'est pas la stratégie la plus aisée ou la plus efficace pour les élèves. A propos des difficultés rencontrées par les élèves béninois de terminale D lors de l'utilisation et l'interprétation des représentations sémiotiques et des modèles moléculaires en stéréochimie, le choix d'un raisonnement analytique des élèves explique qu'ils ont, d'une part, des difficultés de rotation mentales (cas de l'opération de rotation dans le registre de Cram), d'autre part, des difficultés d'orientation spatiale (cas de la conversion inter registre Cram - Newman), et peut être même de visualisation spatiale et de projection mentale. Dans le cas de la conversion inter registre, il s'agit de l'ignorance de la méthode de conversion inter registre, de la méconnaissance du caractère tridimensionnel de la représentation de Cram ou la confusion entre rotation autour d'un axe et symétrie par rapport au plan. A propos de l'identification de stéréoisomères de conformation parmi une série de molécules dans les registres de Cram ou de Newman, il s'agit, comme chez certains étudiants (Boukhecem *et al.*, 2011), d'une appropriation fragmentaire ou inexacte de la notion de stéréoisomérisation de conformation ; étant donné que l'enseignement de la stéréoisomérisation de conformation repose sur les conformations limites de l'éthane (molécule dont les substituants des carbones sont tous identiques), les élèves (plus de 30%, études 1 et 2) pensent que les formes globales sont les seuls critères permettant d'identifier les stéréoisomères de conformation et oublient de regarder la nature des substituants des carbones. Ainsi, quand ils ont une connaissance, du contenu, relativement insuffisante par rapport à celle exigée par la tâche, leur degré de connaissance du contenu est un facteur plus influent dans la réalisation de la tâche que leurs capacités de visualisation mentale.

Sur les questions concernant la nature des PCK des enseignants béninois à propos de la stéréochimie et degré de maîtrise du contenu disciplinaire stéréochimie, Mangane Nsayi a identifié les composants suivants de PCK chez les enseignants : PCK/objectifs, PCK/évaluation, PCK/compréhension et PCK/stratégies. Ces derniers semblent être en interaction (relation inter composants de PCK). En effet, les choix des stratégies à adopter (PCK/stratégies) et des résultats de l'apprentissage à évaluer (PCK/évaluation) sont liés à leurs connaissances des recommandations des instructions officielles (PCK/programme). De plus, les enseignants n'identifient pas certaines erreurs ou difficultés des élèves (PCK/compréhension), particulièrement celles liées aux opérations de rotation des substituants d'un carbone autour de l'axe carbone - carbone et de conversion inter registre Cram Newman, d'une part, parce que ces opérations ne sont pas évaluées (PCK/évaluation) et qu'eux-mêmes

ne les maîtrisent pas (« connaissances du contenu disciplinaire » réduites) : l'auteur établit là un lien entre les PCK/compréhension et les PCK/évaluation (relation inter composants de PCK), et entre ces derniers et les connaissances du contenu disciplinaire (relation inter PCK connaissances du contenu disciplinaire). Les résultats montrent que les enseignants interrogés n'ont pas atteint ce stade de connaissance et de réflexion sur l'enseignement de la stéréochimie en terminale D.

## 7. ANALYSE CRITIQUE

Nos premières remarques se rapportent à la relation entre les objectifs et les différents éléments de la recherche.

Les questions de recherche sont placées juste après le contexte faisant problématique. Et ces questions donnent déjà une piste sur la solution.

Les hypothèses ne sont pas explicites mais la procédure ci-dessus permet de dévoiler les réponses supposées à la question de recherche. Les questions posées guident l'analyse et éclairent certains éléments de la problématique, à savoir les raisonnements utilisés par les élèves pour résoudre les problèmes de la stéréochimie, et les difficultés rencontrées par les élèves béninois en terminale D lors de l'utilisation ainsi que l'interprétation des représentations sémiotiques et des modèles moléculaires en stéréochimie. En outre, les dites questions guides révèlent d'une manière cohérente la nature des PCK des enseignants béninois à propos de la stéréochimie et le degré de maîtrise du contenu disciplinaire stéréochimie des enseignants.

Ainsi la méthodologie est basée sur des études de cas concernant l'enseignement de la stéréochimie en terminale D. Des questionnaires papiers et des entretiens sont réalisés avec en classe avec des élèves de la classe de terminale et des entretiens avec des questions ouvertes et fermées aux enseignants concernant l'enseignement de la stéréochimie.

Les trois études dans la méthodologie sont nécessaires pour étudier les raisonnements et les difficultés des élèves en stéréochimie. La première étude ne permet pas encore de déceler les capacités des élèves à la visualisation mentale. La seconde et la troisième étude sont nécessaires pour identifier les problèmes d'orientations dans l'espace et la visualisation mentale à travers la production écrite, verbale et gestuelle des élèves afin de pouvoir les identifier. Face à des réponses erronées des élèves, des réflexions amènent également à reconstituer les composants des connaissances pédagogiques de contenu (PCK) mobilisées par les enseignants pour enseigner la stéréochimie.

En résumé, la méthodologie correspond très bien aux objectifs de cette recherche ; il en est de même pour la succession des différents éléments de la thèse. Malgré cela, la méthodologie ne permet

pas d'exploiter certaines informations telles que les idées venant des enseignants débutants et des élèves.  
Ce qui nous empêche de généraliser les résultats de cette recherche

# DEUXIEME PARTIE REPLICATION

## 1. PROBLEMATIQUE

Il existe un décalage entre élèves et enseignants lorsqu'il s'agit de déterminer la nature des capacités cognitives nécessaires pour réussir en chimie organique. Pour les enseignants, il s'agit avant tout de « comprendre », « raisonner » et « structurer », alors que pour les élèves, il s'agit certes de « comprendre », mais aussi « apprendre » et « mémoriser ». Les concepts et les modèles ne sont retenus que sous forme de mots vides de sens. Les élèves sont capables de les restituer tels qu'ils ont été formulés par l'enseignant, lorsqu'ils reconnaissent une situation déjà vue en cours, mais ils sont désarmés devant de nouveaux problèmes. Le symbolisme de la chimie organique n'a pas de signification claire pour la plupart des élèves en classe secondaire. Ourisson (1986) dénonçait les non-dits, les ambiguïtés, voire le laxisme dans l'utilisation du symbolisme. A Madagascar, comme dans les autres pays du tiers monde, l'insuffisance des infrastructures et des matériels didactiques font partie du monde de travail des enseignants. De nombreux établissements ne disposent pas de ressources matérielles. Les professeurs de chimie doivent se débrouiller pour accomplir leur travail. Les enseignants qui n'ont jamais été amenés à faire des expériences dans leur formation n'ont pas envie de se ridiculiser devant leurs élèves en exécutant des expériences. Ils ont tendance à interpréter les programmes selon leur formation initiale et les manuels qu'ils utilisent.

Les disparités au sein du corps enseignant ont également des conséquences sur la méthode pédagogique mise en œuvre. Les professeurs n'ont pas d'autres ressources que de procéder par approche expositive. Face à ce contexte où vit l'enseignement de la physique et de la chimie, nous voulons comment les élèves apprendre la stéréochimie, étant donné que cette dernière nécessite souvent des matériels par son apprentissage. C'est pour cette raison que nous nous intéressons aux raisonnements et difficultés des élèves en stéréochimie. Les classes de terminale C et D dans les Lycée public et privé du zone pédagogique (ZAP)<sup>1</sup> Mahitsy, circonscription scolaire (CISCO)<sup>2</sup> d'Ambohidratrimo et DREN<sup>3</sup> à Analamanga ont été choisies dans la mesure où ils n'échappent pas à ce problème. Le programme de la chimie organique est la même en TD qu'en TC à Madagascar.

La question de recherche est organisée autour des raisonnements et des difficultés des élèves en stéréochimie : «Quelles sont les difficultés rencontrées par les élèves en terminale scientifique, dans le commune rurale de Mahitsy, lors de l'utilisation et interprétation des représentations sémiotiques? »

---

<sup>1</sup> ZAP système administratif dans l'enseignement à Madagascar qui occupe les établissements au niveau de la commune

<sup>2</sup> CISCO système administratif dans l'enseignement à Madagascar qui occupe les établissements au niveau du district

<sup>3</sup> DREN système administratif dans l'enseignement à Madagascar qui occupe les établissements au niveau de la région

## 2. CADRE THEORIQUE ET CONCEPTUEL DE LA REPLICATION

### 2.1. Visualisation mentale :

La visualisation mentale est une des capacités essentielles devant être maîtrisée par un élève en chimie pour comprendre la structure et la réactivité des molécules (Rozzelle et Resenfeld, 1985, Wu et Shah, 2004). La visualisation c'est la manière de voir une représentation sémiotique. La visualisation est dite mentale lorsqu'une image mentale est générée et manipulée (Marchand, 2006)

Trois facteurs sont identifiés comme des dimensions majeures de la capacité de la visualisation mentale : la visualisation spatiale, l'orientation spatiale et les relations spatiales.

### 2.2. Obstacle :

Un obstacle est une connaissance, une conception, pas une difficulté ou un manque de connaissance. Notons qu'une conception est un décodeur qui permet à l'apprenant de comprendre le monde qui l'entoure" (Giordan *et al.*, 1994). C'est une explication fonctionnelle qui pour l'élève, "marche" depuis longtemps (Marzin, n.d.). Un obstacle se manifeste par les erreurs généralisées et persistantes d'élèves d'un même niveau. Ces erreurs sont dues à une connaissance incomplète ou inappropriée dans un univers qui devient alors insuffisant. Les différents obstacles qu'on peut rencontrer pendant l'apprentissage de la stéréochimie. Obstacles ontogénétiques/Psychologique: ce sont des connaissances spontanées apparaissant naturellement au cours du développement neurophysiologique de l'élèves. Les obstacles épistémologiques apparaissent surtout quand sont commises des confusions de notions voisines qui attribuent à un des concepts un statut qu'il n'a pas. L'obstacle didactique qui se produit sous l'effet des choix pédagogiques de l'enseignant ou du système éducatif.

## 3. METHODOLOGIE

Dans la thèse-mère, des questionnaires sur papier ne permettent pas de mieux expliciter les raisonnements spatiaux, mais des entretiens individuels sont nécessaires pour compléter les études. Par contre dans notre réplique, des questionnaires sur papier suffisent pour appréhender les difficultés rencontrées par les élèves lors de l'utilisation et l'interprétation des représentations sémiotiques.

Nous adoptons une méthodologie semblable à celle de la thèse mère en reprenant les mêmes questions et, pour chacune d'elles, nous enregistrons les éléments de réponses pertinentes afin de les classer par thème ou catégories thématiques dans le but d'établir des pourcentages et de procéder à leur comparaison et interprétation (Robert et Bouillaguet, 2002).

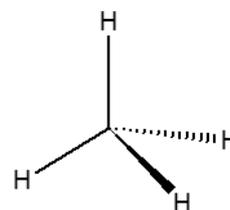
### 3.1. Instruments de collecte de données

Nous utilisons des questionnaires sur papier pour collecter les données. Les questions concernent respectivement la signification de la représentation de Cram, les conversions d'une formule semi-développée en représentation de Cram, la reconnaissance de stéréoisomères de conformation dans le registre de Newman et celui de Cram et la conversions de représentation de Cram en Newman.

#### 3.1.1. Question 1 : signification de la représentation de Cram

Elle a pour objectif de mettre en évidence les raisonnements et les difficultés des élèves à propos de la signification des traits dans la représentation de Cram de la molécule de méthane.

Voici une formule spatiale de la molécule de méthane.



a. Que représentent les traits dans cette représentation spatiale ?

b. Pourquoi sont-ils dessinés différemment ?

Nous utilisons le terme « représentation spatiale » parce que le programme utilisé à Madagascar et les manuels scolaires disponibles en terminale utilisent ce terme au lieu de représentation de Cram.

Réponses attendues :

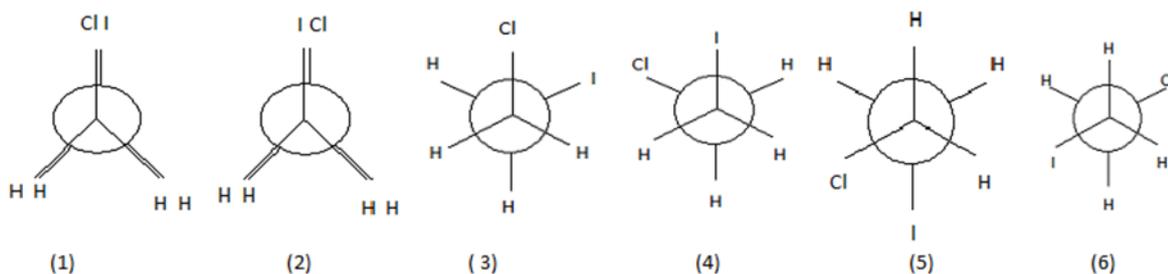
a) Les traits représentent les liaisons de covalence ou les électrons de liaison entre les atomes : le trait normal (—) représente la liaison sur le plan de la feuille, le trait gras (▲) une liaison dirigée vers l'avant plan de la feuille, et le trait hachuré (⋯) une liaison en arrière-plan de la feuille.

b) Les traits sont dessinés différemment pour distinguer la position des traits de liaison ou d'atomes liés au carbone dans l'espace

#### 3.1.2. Question 2 : la reconnaissance de stéréoisomères de conformation dans le registre de Newman

La question 2 propose de faire identifier parmi une série de molécules en représentation de Newman celles qui sont stéréoisomères de conformation, et d'apporter une justification aux réponses données.

Lesquelles parmi ces molécules sont des stéréoisomères de conformation ? Justifiez.



Réponses attendues :

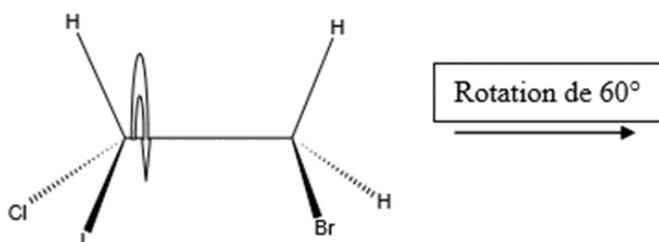
La réponse attendue est : (1) ; (3) et (5) sont des stéréoisomères de conformation  
 (2) ;(4) et (6) sont des stéréoisomères de conformation

La justification attendue est : les représentations de Newman diffèrent par des rotations des substituants d'un des carbones autour de l'axe de la liaison C – C.

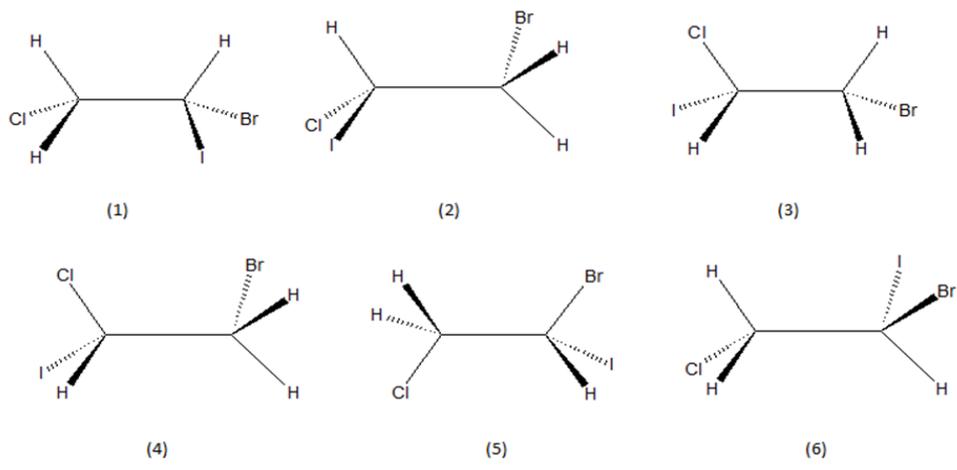
### 3.1.3. Question 3 : passage d'une conformation de molécule à une autre conformation dans le registre de Cram

Cette question s'intéresse à la visualisation mentale de la molécule qu'impliquent les opérations de rotation autour de l'axe de la liaison C – C lors du passage d'une conformation à une autre (opération de traitement intra registre).

a) Complétez la figure suivante en dessinant une nouvelle représentation spatiale qui indique la position des atomes, après une rotation de 60° du groupement –CHICl autour de l'axe de la liaison C–C.

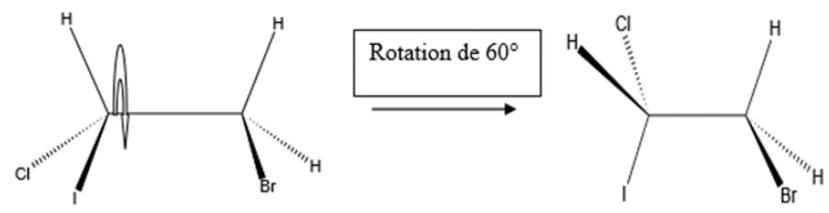


b) Indiquez parmi la série de représentations spatiales, celles qui correspondent à des stéréoisomères de conformation d'une même molécule. Justifiez.



Réponses attendues :

a) Conformation décalé



Les réponses attendues sont (éclipsée = é ; décalée = d): (1é) ; (5d) et (6d) ou (2d) ;(3é) et (4d)  
 Justification : les molécules sont différentes par des rotations autour de l'axe de la liaison C – C

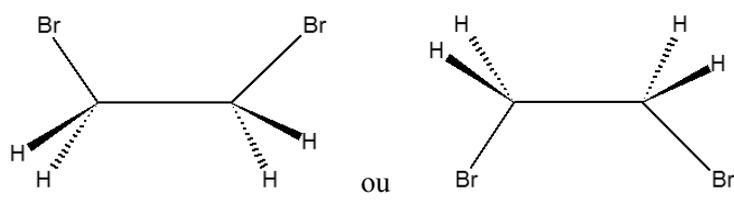
3.1.4. Question 4: conversion inter registres formule semi-développée-Cram et Cram-Newman

Dans cette question nous cherchons à déceler les raisonnements et difficultés rencontrés par les élèves dans la réalisation des conversions inter registre d'une formule semi-développée- Cram et Cram-Newman.

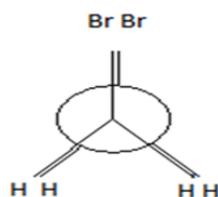
- a) Dessinez une représentation spatiale en conformation éclipsée correspondant à la formule semi-développée  $\text{CH}_2\text{Br} - \text{CH}_2\text{Br}$ .
- b) A partir de la représentation spatiale que vous avez proposée, donnez sa représentation de Newman.
- c) Expliquez comment vous avez procédé pour dessiner cette représentation de Newman

Réponses attendues :

a) Les substituants d'un carbone peuvent occuper différentes positions, le résultat présenté n'est qu'une réponse parmi d'autres possibles



b) La représentation de Newman



- c) Explication :
- la molécule en représentation spatiale est observée suivant l'axe de la liaison C—C ;
  - les liaisons établies entre chaque atome de carbone et leurs voisins sont projetées dans un plan perpendiculaire à cet axe
  - le carbone le plus proche de l'observateur est symbolisé par un point situé au point d'intersection des trois autres liaisons afférentes, le carbone le plus éloigné par un cercle duquel partent ses trois liaisons, figurées par des segments radiaux.

### 3.2. Collecte des données

La collecte des données s'est déroulée dans trois établissements scolaires dans la commune de Mahitsy, district d'Ambohidratrimo, Région d'Analamanga. Parmi les trois établissements deux sont des établissements privés (Lycée privé Fanevasoa et Lycée Privé Le Nid d'Abeille) et un public (Lycée d'Enseignement Général Mahitsy). Elle est basée sur un échantillon de 97 élèves, âgés de 15ans à 22ans, des classes terminales C et D selon la répartition du tableau 2 ci-dessous

Tableau 2 : Répartition de la population d'élèves par établissement

Etablissements	Effectifs
Terminale D du lycée de Mahitsy	41
Terminale C du lycée de Mahitsy	24
Terminale D du Lycée Privé Fanevasoa	20
Terminale D du Lycée Privé le Nid d'Abeille	12
Total	97

Le questionnaire sur feuille est distribué cinq mois après l'enseignement de la stéréochimie. Des consignes sur la conduite du questionnaire sont données aux enseignants comme l'anonymat et le non évaluation du questionnaire.

## 4. ANALYSE DES REPONSES D'ELEVES

Cette partie est consacrée à l'analyse des réponses des élèves à chacune des quatre questions.

### 4.1. Analyse des réponses d'élèves à la question 1

La question 1 porte sur les connaissances des élèves à propos de la représentation de Cram. Elle comprend deux sous questions. Dans la première (1.a), nous interrogeons sur la signification des traits dans la représentation de Cram de la molécule de méthane, et dans la seconde (1.b) nous demandons pourquoi ils sont dessinés différemment.

#### 4.1.1. Catégorisation et répartition des réponses à la question 1a

Pour analyser les réponses à la question 1.a, deux grandes catégories de réponses sont considérées: celles renfermant le terme liaison et celles qui ne l'évoquent pas. La première catégorie de réponse est une réponse acceptée ou considérée, et la seconde catégorie est inacceptable ou rejetée.

*(Ls) Réponses renfermant le terme liaison :*

- *(Ls1) liaison* : réponses qui se limitent simplement au terme liaison ou liaison chimique, sans rien ajouter.
- *(Ls2) Electrons de liaison* : réponses qui mentionnent que les traits sont des électrons de liaison
- *(Ls3) Liaisons covalentes* : réponses énonçant que les traits sont des liaisons de covalence.

#### 4.1.2. *(Ls4) Liaisons entre atomes : réponses énonçant que les traits sont des liaisons entre le carbone et les hydrogènes.*

- *(Ls5) Liaisons et précision de leur position* : réponses mettant en évidence les positions des liaisons par rapport au plan de la feuille. (indiquant par exemple que le trait normal représente la liaison dans le plan de la feuille, le trait gras est une liaison dirigée vers l'avant plan et le trait hachuré est une liaison dirigée vers arrière-plan de la feuille).

*(Ls0) réponses ne renfermant pas le terme liaison ou autre* : réponse qui ne rentre pas dans la catégorie  
(Ls)

Tableau 3 : Répartition des réponses des élèves à la question 1.a

	Lycée Public				Lycée Privé			
	FILLE		GARÇON		FILLE		GARÇON	
	NOMBRE	POURCENTAGE	NOMBRE	POURCENTAGE	NOMBRE	POURCENTAGE	NOMBRE	POURCENTAGE
<b>(Ls) Réponses renfermant le terme liaison</b>	(Ls1) Liaisons	6	16	7	25	13	20	
	(Ls2) Electrons de liaison	0	0	0	0	0	0	
	(Ls3) Liaisons covalentes	0	0	0	0	0	0	
	(Ls4) Liaisons entre le carbone et les atomes	12	32	10	36	22	34	
	(Ls5) Liaisons et précision de leur position	13	35	8	29	21	32	
(Ls0) Réponses pas de terme liaison	6	16	3	11	9	14		
Absence de réponse	0	0	0	0	0	0		
<b>Total :</b>	<b>37</b>	<b>100</b>	<b>28</b>	<b>100</b>	<b>65</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	

	Lycée Privé				
	FILLE		GARÇON		
	NOMBRE	POURCENTAGE	NOMBRE	POURCENTAGE	
<b>(Ls) Réponses renfermant le terme liaison</b>	(Ls1) Liaisons	1	9	7	33
	(Ls2) Electrons de liaison	0	0	0	0
	(Ls3) Liaisons covalentes	5	45	5	24
	(Ls4) Liaisons entre le carbone et les atomes	0	0	4	19
	(Ls5) Liaisons et précision de leur position	1	9	3	14
(Ls0) Réponses pas de terme liaison	4	36	2	10	
Absence de réponse	0	0	0	0	
<b>Total :</b>	<b>11</b>	<b>100</b>	<b>21</b>	<b>100</b>	

	Terminale scientifique				
	FILLE		GARÇON		
	NOMBRE	POURCENTAGE	NOMBRE	POURCENTAGE	
<b>(Ls) Réponses renfermant le terme liaison</b>	(Ls1) Liaisons	7	15	14	29
	(Ls2) Electrons de liaison	0	0	0	0
	(Ls3) Liaisons covalentes	5	10	5	10
	(Ls4) Liaisons entre le carbone et les atomes	12	25	14	29
	(Ls5) Liaisons et précision de leur position	14	29	11	22
(Ls0) Réponses pas de terme liaison	10	21	5	10	
Absence de réponse	0	0	0	0	
<b>Total :</b>	<b>48</b>	<b>100</b>	<b>49</b>	<b>100</b>	

#### 4.1.3. Analyse des réponses à la question 1.a

L'examen du tableau 3 montre que 85 % des élèves indiquent que les traits représentent les liaisons dans le système de Cram. La majorité des élèves d'école publique, soit 66 %, indique qu'il s'agit des liaisons entre le carbone et les hydrogènes ou bien met en évidence les positions des liaisons par rapport au plan du feuille (Ls4+Ls5). Quant aux élèves du lycée privé, un grand pourcentage indique qu'il s'agit des liaisons de covalence (Ls3 : 31 %). Globalement, c'est un faible pourcentage d'élèves, 15 %, qui n'ont rien indiqué à propos de ce que représentent les traits. Tous les élèves ont répondu à la question 1.a (Absence de réponse : 0%)

#### 4.1.4. Catégorisation et répartition des justifications à la question 1.b

Trois catégories de justification sont distinguées: (P1) et (P2) a priori ou correctes, et une émergente.

- (P1) position des traits de liaison dans l'espace : type de réponse « *ils sont dessinés différemment pour situer leur position dans l'espace* »
- (P2) position des atomes dans l'espace : justification se référant à la distinction des positions des atomes dans l'espace.
- (P0) autres : justifications jugées hors sujet et ne faisant pas référence à la position des traits de liaison ou des atomes dans l'espace.

Tableau 4 : Répartition des justifications des élèves à la question 1.b

		Lycée public				Lycée privé			
		filles		garçons		filles		garçons	
		nombre	Pourcentage	nombre	Pourcentage	nombre	Pourcentage	nombre	Pourcentage
(P1) position des traits de liaison dans l'espace		23	62	12	43	35	54	35	54
(P2) Position des atomes dans l'espace		4	11	9	32	13	20	48	74
(P0) Autres		8	22	6	21	14	22	14	22
Pas de réponses		2	5	1	4	3	5	3	5
<b>Total</b>		<b>37</b>	<b>100</b>	<b>28</b>	<b>100</b>	<b>65</b>	<b>100</b>	<b>65</b>	<b>100</b>
<b>Lycée scientifique</b>									
		filles		garçons		filles		garçons	
		nombre	Pourcentage	nombre	Pourcentage	nombre	Pourcentage	nombre	Pourcentage
(P1) position des traits de liaison dans l'espace		28	58	30	61	58	60	58	60
(P2) Position des atomes dans l'espace		4	8	10	20	14	14	72	74
(P0) Autres		14	29	8	16	22	23	22	23
Pas de réponses		2	4	1	2	3	3	3	3
<b>Total</b>		<b>48</b>	<b>100</b>	<b>49</b>	<b>100</b>	<b>97</b>	<b>100</b>	<b>97</b>	<b>100</b>

#### 4.1.5. Analyse des réponses à la question 1.b

74 % des élèves (74 % de l'établissement public, 75% de l'établissement privé) expliquent pour quelles raisons les traits sont dessinés différemment, c'est-à-dire qu'ils savent situer les positions des traits de liaisons, ou celle des atomes, dans l'espace. Cela nous laisse supposer que la représentation de Cram est une représentation bidimensionnelle d'une molécule à structure tridimensionnelle pour la plus part des élèves. La fonction de communication du système de Cram est globalement connue.

23 % (P0) des élèves donnent des réponses sans rapport avec la disposition spatiale des traits de liaison. 3 % n'ont pas donné de réponse. Nous pouvons en déduire qu'ils ne savent pas pourquoi les traits de liaison sont dessinés différemment dans le système de Cram.

#### 4.2. Analyse des réponses d'élèves à question 2

La question 2 propose une série de molécules en représentation de Newman, il faut identifier celles qui sont stéréoisomères de conformation, et les justifier.

##### 4.2.1. Catégorisation et répartition des réponses à la question 2

Les catégories des réponses sont formées à partir des formes, (éclipsée(é) ou décalée (d)) des représentations, et de l'identité des substituants des carbones. Nous distinguons six catégories des réponses dont trois sont correctes (C1, C2, C3), et trois incorrectes (C4, C5, C6).

- (C1) stéréoisomères de conformation de la forme différente correcte : des réponses qui donnent des couples de représentations de conformation décalé et éclipsé (d, é) : (1é ; 3d) ; (1é ; 5d) ; (2é ; 4d) ; (2é ; 6d).

- (C2) stéréoisomères de conformation de même forme correcte : réponses qui considèrent seulement les doublets de représentation de conformation décalée (d ; d) : (3d ; 5d) ; (4d ; 6d)

- (C3) stéréoisomères de conformation de tout type correcte : réponses qui considèrent les triplets ou doublets admettant à la fois des représentations de conformation décalée et éclipsée (é ; d ; d) : (1é ; 3d ; 5d) ; (2é ; 4d ; 6d)

- (C4) stéréoisomères de conformation de la forme différente incorrecte : cela concerne les réponses qui ne sélectionnent que les représentations de forme différentes sans vérifier si les substituants de carbone correspondent (é ; d) : (1é ; 4d) ; (1é ; 6d) ; (2é ; 3d) ; (2é ; 5d)

- (C5) : stéréoisomères de conformation de même forme incorrecte : nous incluons dans cette catégorie des réponses qui ne choisissent que les représentations de formes identiques sans vérifier si

les substituants de carbone sont identiques (d ; d) ou (é ; é): (1é ; 2é) ; (3d ; 4d) ; (3d ; 6d) ; (4d ; 5d) ; (5d ; 6d)

- (C6) stéréoisomères de conformation de tout type incorrecte : réponses qui considèrent tantôt les représentations de formes différentes, tantôt celles de formes identiques (é ; d ; d) (1é ; 4d ; 6d) ; (2é ; 3d ; 5d).....

Tableau 5 : Répartition des réponses à la question 2

Catégories de réponses	Lycée Public											
	FILLE				GARÇON				CLASSE			
	nombre	Pourcentage	nombre	Pourcentage	nombre	Pourcentage	nombre	Pourcentage	nombre	Pourcentage	nombre	Pourcentage
(C1) stéréoisomères de conformation de la forme différente correcte (éd)	2	5	1	4	3	4	5	5	5	7	2	11
(C2) stéréoisomère de conformation de même forme correcte (é.é):(d.d)	0	0	1	4	4	14	1	1	3	7	5	
(C3) stéréoisomère de conformation de tout type correcte (d.d.é)	1	3	2	7	7	3	3	3	2	3	5	
(C4) stéréoisomères de conformation de la forme différente incorrecte (é.d)	2	5	0	0	0	0	2	3	2	3	3	
(C5) : stéréoisomère de conformation de même forme incorrecte (é.é) : (d.d)	20	54	15	24	24	54	35	58	48	84	49	87
(C6) stéréoisomère de conformation de tout type incorrecte (d.d.é)	12	32	9	32	9	32	21	32	31	32	32	
Absence de réponse	0	37	0	0	28	0	65	0	48	97	3	100
Catégories de réponses	Lycée Privé											
	FILLE				GARÇON				CLASSE			
	nombre	Pourcentage	nombre	Pourcentage	nombre	Pourcentage	nombre	Pourcentage	nombre	Pourcentage	nombre	Pourcentage
(C1) stéréoisomères de conformation de la forme différente correcte (éd)	1	9	1	5	2	6	2	6	1	3	9	
(C2) stéréoisomère de conformation de même forme correcte (é.é):(d.d)	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3	0	9
(C3) stéréoisomère de conformation de tout type correcte (d.d.é)	1	9	0	0	0	1	1	3	1	3	3	
(C4) stéréoisomères de conformation de la forme différente incorrecte (é.d)	2	18	1	5	3	9	3	9	2	6	9	
(C5) : stéréoisomère de conformation de même forme incorrecte (é.é) : (d.d)	4	36	9	82	17	43	13	26	4	41	81	
(C6) stéréoisomère de conformation de tout type incorrecte (d.d.é)	3	27	7	33	7	33	10	31	3	31	31	
Absence de réponse	0	11	0	100	3	14	3	32	0	9	9	100
Catégories de réponses	Terminale scientifique											
	FILLE				GARÇON				CLASSE			
	nombre	Pourcentage	nombre	Pourcentage	nombre	Pourcentage	nombre	Pourcentage	nombre	Pourcentage	nombre	Pourcentage
(C1) stéréoisomères de conformation de la forme différente correcte (éd)	3	6	2	4	5	5	5	5	3	10	5	10
(C2) stéréoisomère de conformation de même forme correcte (é.é):(d.d)	0	0	1	10	5	2	1	1	0	1	1	
(C3) stéréoisomère de conformation de tout type correcte (d.d.é)	2	4	2	4	4	4	4	4	2	4	4	
(C4) stéréoisomères de conformation de la forme différente incorrecte (é.d)	4	8	1	2	2	2	5	5	4	5	5	
(C5) : stéréoisomère de conformation de même forme incorrecte (é.é) : (d.d)	24	50	24	90	41	49	48	84	15	48	49	87
(C6) stéréoisomère de conformation de tout type incorrecte (d.d.é)	15	31	16	33	16	33	31	32	0	31	32	
Absence de réponse	0	48	0	100	3	6	3	32	0	97	3	100

#### 4.2.2. Analyse des réponses

L'examen du tableau 5 montre que 10 % des élèves disposent d'une réponse exacte dont 11 % des élèves du lycée public et 9 % des élèves du lycée privé. 81 % des élèves du lycée privé donnent des réponses incorrectes tandis que ce pourcentage est de 89 % pour le lycée public. 3 % des élèves seulement n'ont pas répondu à la question.

#### 4.2.3. Catégorisation et répartition des justifications des réponses à la question 2

Les justifications obtenues sont classées en cinq catégories. J1 est une catégorie correspond à la justification attendue. Les quatre autres, J2, J3, J4 et J5, sont des catégories des réponses incorrectes. La justification J3 est insuffisante donc partiellement correcte.

- (J1) Passage d'une représentation à une autre par une rotation du groupement d'un carbone autour de la liaison C – C : justification qui stipule qu'on peut passer d'une conformation à une autre par une rotation autour de l'axe de liaison C – C.

- (J2) molécules différentes car la disposition des substituants sont différentes sur le papier : les justifications considèrent que, si les substituants des carbones de deux représentations de Newman sont différentes, alors elles sont stéréoisomères de conformation.

- (J3) possibilité de rotation autour de la liaison simple C – C des molécules : justifications faisant référence à la possibilité de rotation autour de la liaison C – C des molécules, sans mentionner le fait que les représentations de Newman comparées les substituants diffèrent par la rotation de leurs carbones autour de l'axe C – C.

- (J4) Molécules décalées : justifications qui s'appuient sur l'identité de la forme des conformations. Par exemple « parce qu'elles ont toutes la conformation décalée »

- (J5) autres : justifications n'entrant pas dans les catégories précédentes.

Tableau 6 : Répartition des justifications d'élèves ayant répondu à la question 2

Justification reponse	FILLE					GARCON					CLASSE						
	J1	J2	J3	J4	J5	pas de justification		Total	J1	J2	J3	J4	J5	pas de justification		Total	
C1	0	0	1	0	1	0	0	2	5	0	0	1	0	2	0	3	5
C2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	0	1	0	0	1	2	
C3	1	0	0	0	0	1	3	4	2	7	1	2	0	0	3	5	
C4	0	0	0	2	0	2	5	4	0	0	0	2	0	0	2	3	
C5	2	0	8	6	4	20	54	15	3	18	6	7	1	35	54		
C6	0	0	6	3	3	12	32	9	32	0	8	3	10	0	21	32	
Absence de reponse	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
total	3	0	33	11	8	37	100	28	100	4	2	28	11	19	1	65	100
	8	0	89	30	22	100	100	4	100	4	6	3	43	17	29	2	100

Justification reponse	FILLE					GARCON					CLASSE						
	J1	J2	J3	J4	J5	pas de justification		Total	J1	J2	J3	J4	J5	pas de justification		Total	
C1	0	0	1	0	0	0	0	1	9	0	0	0	0	1	5	0	6
C2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C3	0	0	1	0	0	1	9	1	9	0	0	0	0	1	0	1	3
C4	0	0	2	0	0	2	18	0	1	5	0	0	0	0	3	9	
C5	0	0	1	2	0	3	36	9	43	0	1	4	2	0	13	41	
C6	0	0	2	0	0	2	7	3	33	0	4	0	3	3	10	31	
Absence de reponse	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
total	0	0	7	2	0	2	11	100	21	100	1	13	2	3	9	32	100
	0	0	64	18	0	18	100	48	100	3	3	41	6	9	38	100	

Justification reponse	FILLE					GARCON					CLASSE						
	J1	J2	J3	J4	J5	pas de justification		Total	J1	J2	J3	J4	J5	pas de justification		Total	
C1	0	0	2	0	1	0	3	6	0	0	0	0	1	2	4	0	5
C2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	2	2	0	1
C3	1	0	1	0	0	2	4	4	2	4	1	2	1	0	4	4	
C4	0	0	2	2	0	4	8	1	1	2	0	3	2	0	5	5	
C5	2	0	9	8	4	24	50	24	49	3	1	22	8	7	48	49	
C6	0	0	8	3	3	15	31	16	33	0	0	12	3	13	31	32	
Absence de reponse	0	0	0	0	0	0	0	2	3	6	1	0	0	2	3	3	
total	3	0	22	13	8	48	100	49	100	5	3	41	13	22	97	100	
	6	0	46	27	17	100	100	22	100	5	3	42	13	23	100	100	

L'examen du tableau 6 indique que 5 % des élèves (J1) proposent une justification correcte, 42 % une justification insuffisante (J3), et 26 % des justifications absolument incorrectes (J2 : 3 %, J5 : 23 %). 13 % des élèves n'ont pas justifié leurs réponses. Ils ont peut-être du mal à le faire.

#### 4.2.4. Analyse des liens entre réponses et leurs justifications

Nous allons analyser séparément les justifications des élèves qui font un choix correct et celles qui font des choix incorrect.

Sur les 10 % d'élèves ayant fait un choix correct des représentations de Newman (C1, C2 et C3), seuls 1 % proposent une justification convenable (C1-J1, C2-J1, C3-J1), c'est-à-dire en accord avec les réponses proposées. Les réponses et justifications des élèves de la catégorie C3-J1 (1 %) traduisent une maîtrise plus complète de la notion de stéréoisomère de conformation car ils ont vérifié que les représentations de Newman, de tous types, diffèrent par la rotation du groupement d'un carbone autour de l'axe de la liaison C – C. 4 % des élèves ayant répondu correctement à la question donnent des justifications partiellement correctes (C1-J3, C2-J3, C3-J3), ou des justifications absolument incorrectes (C1-J5).

Ils ne sont pas donc capables d'expliquer leur raisonnement, les réponses correctes trouvées sont peut-être un effet du hasard. 1 % des élèves ayant répondu correctement à la question ne donnent pas des justifications (C1 pas de réponses). Leurs réponses correctes sont peut-être aussi un effet du hasard, ou ils ont du mal à formuler leur argumentation.

Sur les 87 % élèves ayant fait un choix incorrect des représentations de Newman (C4, C5 et C6), 3 % (C5-J1) donnent des justifications qui permettent d'identifier correctement des stéréoisomères de conformation, mais qui ne sont pas en accord avec les réponses proposées. En effet, les représentations de Newman choisies ne diffèrent pas toutes par une rotation autour de l'axe C – C. La définition de la notion de stéréoisomère de conformation est peut-être connue, mais elle n'est pas opératoire. Nous présumons qu'ils se sont simplement remémorés la définition de la stéréoisomère de conformation, sans savoir les mettre en application dans la détermination des représentations de Newman.

10 % (C4, C5 et C6) ne justifient pas leurs réponses. Cela peut être une appropriation insuffisante ou une méconnaissance de la notion de stéréochimie de conformation. Ce qui explique aussi pourquoi ces élèves ne se préoccupent pas de l'identité des substituants des carbones.

#### 4.3. Analyse des réponses d'élèves à la question 3

Dans la question 3, en premier lieu, les élèves doivent dessiner la représentation de Cram d'une molécule obtenue après une rotation de  $60^\circ$  des substituants du carbone autour de l'axe de la liaison C – C.

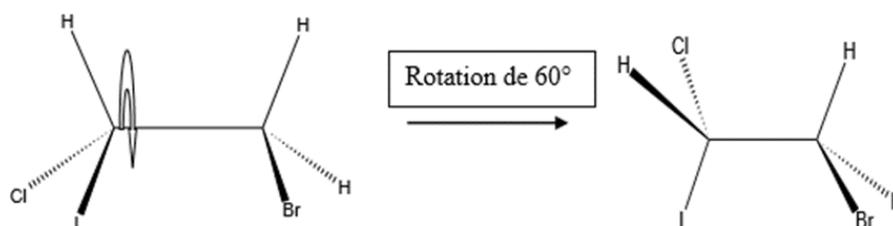
En second lieu, nous proposons aussi une série de molécules en représentation de Cram. Nous demandons aux élèves de reconnaître celles qui sont stéréoisomères de conformation, puis de justifier.

#### 4.3.1. Catégorisation et répartition des réponses 3.a

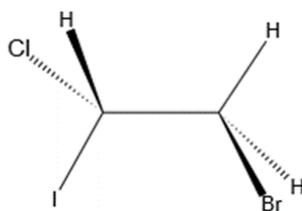
Nous catégorisons les réponses en fonctions de la forme, décalée ou éclipsée, de la représentation de Cram, ceci afin d'en inférer les activités mentales réalisées. Les exemples de dessins des élèves ont été reproduits avec le logiciel Chemskech. La réponse correcte est la réponse (C1a).

*Catégorie (C1) conformation décalée* : réponses des élèves ayant dessiné une conformation décalée. En fonction de la disposition des traits de liaison et de symboles des atomes, nous distinguons trois sous-catégories de réponses.

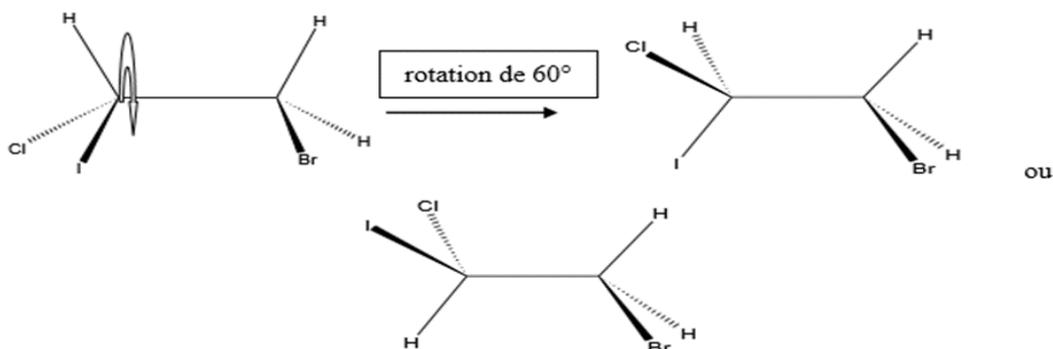
- (C1a) disposition correcte des traits de liaison et des symboles des atomes : elle correspond à la réponse correcte attendue.



- (C1b) disposition relative des traits de liaisons non conforme : réponse où la disposition des symboles d'atomes est correcte mais celle des traits de liaison gras et hachuré n'est pas respectée. Un exemple est présenté ci-dessous

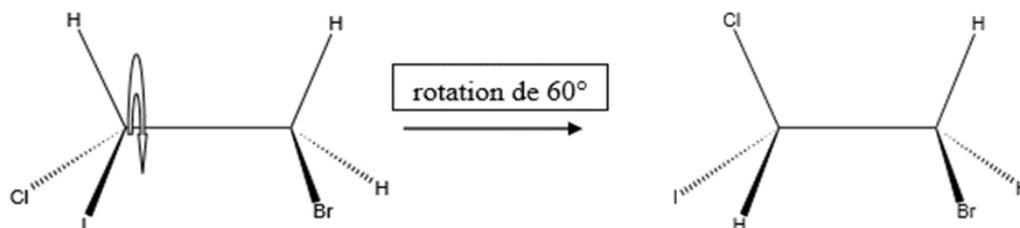


- (C1c) disposition correcte des traits de liaison et incorrecte des symboles des atomes

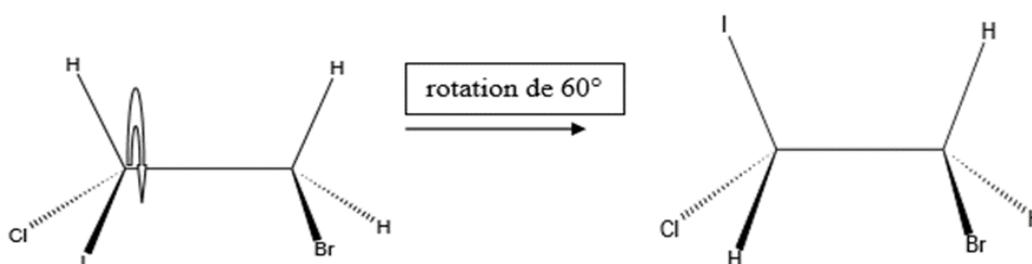


Catégorie (C2) conformation éclipsée : réponses où les élèves dessinent une conformation éclipsée. En fonction de la disposition des liaisons et des atomes, nous distinguons trois sous-catégories de réponses.

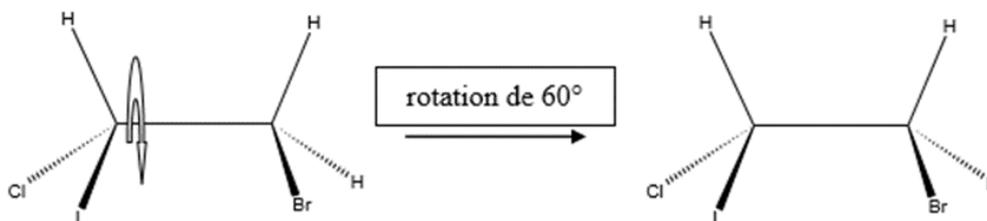
- (C2a) disposition des atomes respectée :



- (C2b) disposition des atomes non respectée :



- (C2c) même représentation : la réponse des élèves donne une représentation identique à la première



(C3) autres réponses : réponses où les conventions des liaisons ne sont pas respectées. Nous présentons ci-dessous un exemple parmi les réponses obtenues

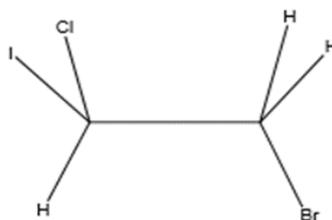


Tableau 6 : Répartition des réponses à la question 3.a

		Filles		Garçons		Classe	
		nombre	pourcentage	nombre	pourcentage	nombre	pourcentage
Catégories de réponses				Lycee Public			
Conformation décalés(C1)	(C1a) Disposition correcte des traits de liaison et des atomes	0	0	1	4	1	2
	(C1b) Disposition relatives des traits de liaison non conforme	1	3	0	0	1	2
	(C1c) Disposition correcte des traits de liaison et incorrecte des atomes	5	14	13	46	18	28
Conformation éclipsee (C2)	(C2a) Disposition des atomes respectée	15	41	5	18	20	31
	(C2b) Disposition des atomes non respectée	3	8	1	4	4	6
	(C2c) Même représentation que celle de départ	9	24	2	7	11	17
Autres		4	11	6	21	10	15
Pas de réponse		0	0	0	0	0	0
total		37	100	28	100	65	100
				Lycee Privé			
Catégories de réponses		Filles		Garçons		Classe	
Conformation décalés(C1)	(C1a) Disposition correcte des traits de liaison et des atomes	0	0	0	0	0	0
	(C1b) Disposition relatives des traits de liaison non conforme	1	9	1	5	2	6
	(C1c) Disposition correcte des traits de liaison et incorrecte des atomes	1	9	7	33	8	25
Conformation éclipsee (C2)	(C2a) Disposition des atomes respectée	0	0	4	19	4	13
	(C2b) Disposition des atomes non respectée	2	18	1	5	3	9
	(C2c) Même représentation que celle de départ	4	36	3	14	7	22
Autres		1	9	1	5	2	6
Pas de réponse		2	18	4	19	6	19
total		11	100	21	100	32	100
				Terminale scientifique			
Catégories de réponses		Filles		Garçons		Terminale scientifique	
Conformation décalés(C1)	(C1a) Disposition correcte des traits de liaison et des atomes	0	0	1	2	1	1
	(C1b) Disposition relatives des traits de liaison non conforme	2	4	1	2	3	3
	(C1c) Disposition correcte des traits de liaison et incorrecte des atomes	6	13	20	41	26	27
Conformation éclipsee (C2)	(C2a) Disposition des atomes respectée	15	31	9	18	24	25
	(C2b) Disposition des atomes non respectée	5	10	2	4	7	7
	(C2c) Même représentation que celle de départ	13	27	5	10	18	19
Autres		5	10	7	14	12	12
Pas de réponse		2	4	4	8	6	6
total		48	100	49	100	97	100

#### 4.3.2. Analyse des réponses à la question 3.a

1 % des élèves donnent la réponse correcte attendue (0% d'élève du lycée privée et 2 % des élèves du lycée public). 31 % représentent une conformation décalée, dont 27 % avec une disposition incorrecte des atomes (C1c) et 3 % avec une disposition non conforme des traits de liaisons gras et hachuré (C1b). La disposition incorrecte des atomes relevée par les élèves de la catégorie (C1c) nous laisse supposer qu'ils réalisent sans succès la rotation mentale ou qu'ils utilisent une autre démarche.

Les représentations de la catégorie (C1b) ne peuvent pas être obtenues par rotation mentale autour de l'axe C—C (Pellegrin, 1999). Les élèves ne procèdent donc pas à une rotation mentale de la représentation de la molécule, mais ils ont le même raisonnement (2ème cas) que ceux de la catégorie (C1c) cités précédemment. La répartition correcte des positions des atomes est un fait du hasard, et la disposition incorrecte des traits de liaison en avant et en arrière du plan de la feuille est due au fait qu'ils n'ont pas saisis la notion de la conformation décalée. Cette dernière consiste à déterminer dans quelle circonstance un trait de liaison gras doit être au-dessus ou en dessous du trait de liaison hachuré (Pellegrin, 1999, Pellegrin *et al.*, 2003).

51 % d'élèves donnent une conformation éclipsée (C2), dont 25 % avec une disposition correcte des atomes (C2a) comme s'ils effectuaient une rotation de  $120^\circ$  des liaisons autour de l'axe de la liaison C-C. Cela peut être dû au fait qu'ils supposent, à tort, qu'en conformation éclipsée l'angle dièdre est égal à  $60^\circ$ . Dans le cas où ils ne réalisent pas la rotation mentale de la représentation, nous pouvons supposer qu'ils exécutent simplement une permutation circulaire des substituants du carbone.

Ces résultats traduisent une incapacité à réaliser la rotation mentale de la représentation de la molécule. Concernant ceux de la catégorie « autres », la méconnaissance des conventions de représentation des liaisons dans le registre de Cram peut en être la cause principale.

#### 4.3.3. Catégorisation et répartition des réponses 3.b

Six catégories de réponses sont construites à partir des formes éclipsée ou décalée des représentations et de l'identité des substituants des carbones.

- (C1) stéréoisomères de conformation de la forme différente correcte (é ; d): des réponses qui donnent les couples de représentations de conformations décalée et éclipsée, comme (1é ; 5d) ; (1é ; 6d) ; (3é ; 2d) ; (3é ; 4d)
- (C2) stéréoisomères de conformation de la même forme correcte (d ; d) : ces réponses concernent les couples de représentations de conformations décalée ou éclipsée, comme (5d ; 6d) ; (2d ; 4d)

- (C3) stéréoisomères de conformation de tout type correcte : des réponses qui envisagent à la fois les couples de représentations de conformations décalée et éclipsée, et ceux des représentations de conformations décalée ou éclipsée; (1é ; 5d ; 6d) ; (3é ; 2d ; 4d)
- (C4) formes globales identiques et substituants incorrects: (é ; é) ou (d ; d): des réponses qui ne considèrent que les représentations de formes identiques sans vérifier les substituants de carbones comme par exemple (1é ; 3é) ; (2d ; 5d) ; (4d ; 5d) ; (2d ; 6d) ; (4d ; 6d)
- (C5) formes globales différentes et substituants incorrects: ces réponses ne donnent que les représentations de formes différentes sans vérifier les substituants de carbones comme (1é ; 2d) ; (1é ; 4d) ; (3é ; 5d) ; (3é ; 6d)
- (C6) stéréoisomères de conformation de tout type incorrects : des réponses comme (1é ;2d ; 5d) ; (1é ;2d ;6d) ; (1é ;4d ;5d) ; (1é ; 4d ; 6d) ;( 3é ;2d ;5d) ; (3é ;4d ;5d) ; 3é ;2d ;6d) ; ( 3é ; 4d ; 6d)

Tableau 7 : Répartition des réponses à la question 3.b

Catégories de réponses	Lycée Public						Lycée Privé					
	filles			garçons			filles			garçons		
	nombre	pourcentage	nombre	pourcentage	nombre	pourcentage	nombre	pourcentage	nombre	pourcentage	nombre	pourcentage
(C1) stéréoisomères de conformation de nature différente correcte (é, d)	1	3	3	11	4	4	2	6	1	1	2	6
(C2) stéréoisomères de conformation de même nature correcte (é, é) ou (d, d)	0	0	8	29	1	29	1	11	2	2	17	9
(C3) stéréoisomères de conformation de tout type correcte (é, d, d)	2	5	4	14	6	14	6	23	9	9	35	80
(C4) stéréoisomères de conformation de nature différente incorrecte (é, d)	5	14	18	64	23	64	23	23	35	35	80	80
(C5) stéréoisomères de conformation de même nature incorrecte (é, é) ou (d, d)	23	62	86	0	20	71	23	52	35	35	80	80
(C6) stéréoisomères de conformation de tout type incorrecte (é, d, d)	4	11	2	7	6	7	6	6	9	9	35	80
pas de réponse	2	5	0	0	2	0	2	2	3	3	10	35
total	37	105	28	100	65	100	65	100	97	100	97	100

Catégories de réponses	Terminale scientifique					
	filles			garçons		
	nombre	pourcentage	nombre	pourcentage	nombre	pourcentage
(C1) stéréoisomères de conformation de nature différente correcte (é, d)	2	4	4	8	6	6
(C2) stéréoisomères de conformation de même nature correcte (é, é) ou (d, d)	0	0	10	2	18	14
(C3) stéréoisomères de conformation de tout type correcte (é, d, d)	3	6	4	8	7	7
(C4) stéréoisomères de conformation de nature différente incorrecte (é, d)	7	15	19	39	26	27
(C5) stéréoisomères de conformation de même nature incorrecte (é, é) ou (d, d)	27	56	85	9	76	78
(C6) stéréoisomères de conformation de tout type incorrecte (é, d, d)	7	15	9	18	16	16
pas de réponse	2	4	3	6	5	5
total	48	104	49	100	97	100

#### 4.3.4. Analyse des réponses à la question 3.b

L'examen du tableau 8 montre que 14 % des élèves répondent correctement, dont 7 % qui présentent des stéréoisomères de conformation d'un seul type (C1 : formes différentes, éclipsée et décalée, 6 % ; C2 : formes identiques, éclipsées ou décalées, 1 %). 7 % proposent des stéréoisomères de conformation des deux types (C3). Les réponses incorrectes identifient des stéréoisomères de conformation sans se préoccuper des substituants des molécules : de formes identiques (décalées ou éclipsées) (C4 : 27 %), de formes différentes (C5 : 37 %), ou considèrent à la fois des formes identiques et différentes (C6 : 16 %). 5 % des élèves n'ont pas du tout répondu à la question.

#### 4.3.5. Justification des réponses

Les justifications obtenues, sont classées en quatre catégories. La première, J1, est une catégorie a priori et correspond à la justification attendue.

- (J1) *Passage d'une représentation à une autre par une rotation du groupement d'un carbone autour de l'axe C—C* : des justifications qui stipulent qu'on peut passer d'une conformation à une autre par simple rotation autour de l'axe de la liaison C—C ;
- (J2) *Substituants des carbones identiques dans les différentes représentations* : des justifications qui considèrent que les substituants des carbones sont identiques dans les représentations de Cram, sans toutefois préciser qu'on peut passer d'une représentation de Cram à une autre par la rotation des substituants d'un carbone autour de l'axe C—C ;
- (J3) *Molécules images l'une de l'autre par rapport à un miroir* : des justifications qui notifient, à tort, que les représentations des molécules sont images l'une de l'autre par rapport à un miroir plan ;
- (J4) *Autres* : des justifications qui ne sont pas catégorisables

Tableau 8 : Répartition des réponses et justifications des élèves

Lycée Public											
filles						garçons					
Justification Réponses		(11)	(12)	(13)	(14)	pas de justification		Nombre		pourcentage	
		(11)	(12)	(13)	(14)	(11)	(12)	(13)	(14)	(11)	(12)
(C1)	0	0	0	1	0	0	0	2	0	3	11
(C2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4
(C3)	0	0	0	1	1	2	0	2	0	8	29
(C4)	0	1	0	1	3	5	0	14	0	14	2
(C5)	2	0	1	2	18	32	0	0	0	64	71
(C6)	2	0	0	1	1	4	0	20	0	7	2
Absence de réponse	0	0	0	0	2	2	0	1	1	0	2
total	4	1	1	6	25	37	4	0	1	7	16
garçons											
Justification Réponses		(11)	(12)	(13)	(14)	pas de justification		Nombre		pourcentage	
		(11)	(12)	(13)	(14)	(11)	(12)	(13)	(14)	(11)	(12)
(C1)	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	5
(C2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
(C3)	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
(C4)	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0
(C5)	2	0	0	0	2	4	9	17	7	9	43
(C6)	1	0	0	1	1	3	1	7	5	1	81
Absence de réponse	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
total	4	0	0	3	4	11	0	3	3	14	6
Lycée Privé											
filles						garçons					
Justification Réponses		(11)	(12)	(13)	(14)	pas de justification		Nombre		pourcentage	
		(11)	(12)	(13)	(14)	(11)	(12)	(13)	(14)	(11)	(12)
(C1)	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0
(C2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(C3)	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
(C4)	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0
(C5)	2	0	0	0	2	4	9	17	7	9	43
(C6)	1	0	0	1	1	3	1	7	5	1	81
Absence de réponse	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
total	4	0	0	3	4	11	0	3	3	14	6
Terminale Scientifique											
filles						garçons					
Justification Réponses		(11)	(12)	(13)	(14)	pas de justification		Nombre		pourcentage	
		(11)	(12)	(13)	(14)	(11)	(12)	(13)	(14)	(11)	(12)
(C1)	1	0	0	1	0	0	0	3	0	4	8
(C2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2
(C3)	0	0	0	2	1	0	0	2	0	9	18
(C4)	0	1	0	2	4	0	0	2	0	8	2
(C5)	4	0	1	2	20	27	41	15	7	39	76
(C6)	3	0	0	2	2	7	15	3	1	18	4
Absence de réponse	0	0	0	0	2	2	4	6	3	6	0
total	8	1	1	9	29	48	100	31	49	100	14
Terminale Scientifique											
garçons						filles					
Justification Réponses		(11)	(12)	(13)	(14)	pas de justification		Nombre		pourcentage	
		(11)	(12)	(13)	(14)	(11)	(12)	(13)	(14)	(11)	(12)
(C1)	1	0	0	1	0	0	0	4	0	2	0
(C2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
(C3)	0	0	0	2	1	0	0	2	0	8	1
(C4)	0	1	0	2	4	0	0	2	0	2	0
(C5)	4	0	1	2	20	27	41	15	7	39	76
(C6)	3	0	0	2	2	7	15	3	1	18	4
Absence de réponse	0	0	0	0	2	2	4	6	3	6	0
total	8	1	1	9	29	48	100	31	49	100	14
Terminale Scientifique											
classe						classe					
Justification Réponses		(11)	(12)	(13)	(14)	pas de justification		Nombre		pourcentage	
		(11)	(12)	(13)	(14)	(11)	(12)	(13)	(14)	(11)	(12)
(C1)	1	0	0	1	0	0	0	1	0	2	0
(C2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(C3)	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0
(C4)	0	0	0	1	0	0	0	2	0	1	0
(C5)	2	0	0	0	1	9	13	26	9	13	26
(C6)	1	0	0	1	1	6	10	3	1	10	3
Absence de réponse	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
total	4	0	0	3	4	11	100	21	19	32	9

L'examen du tableau 9 montre que 14 % des élèves donnent des justifications correctes (J1), 1 % des justifications insuffisantes (J2), et 23 % des justifications absolument incorrectes (J3, 3% et J4, 20 %). La majorité des élèves (62 %) ne justifient pas leurs réponses. Ils ont peut-être du mal à verbaliser leur raisonnement.

#### 4.3.6. Analyse des liens entre représentations et justifications relatives à la question 3.b

Sur les 14 % ayant fait des choix corrects de représentations de Cram (C1, C2 et C3), seuls 5 % proposent des justifications convenables (C1-J1 : 2 % ; C2-J1 : 1 % ; C3-J1 : 2 %). Les justifications des élèves de la catégorie C3-J1 (2 %) traduisent une bonne maîtrise de la notion de stéréoisométrie de conformation.

Les élèves de la catégorie (C1-J1) donnent une justification correcte, mais le fait de ne choisir que des représentations de nature différente (décalée-éclipsée) montre que la notion de stéréoisométrie de conformation est partiellement maîtrisée. Ils pensent peut-être, à tort, que la rotation d'un groupement carbone autour de l'axe de la liaison C—C, conduit uniquement à une conformation différente.

8 % des justifications sont incorrectes (C1-J4 : 4 % ; C3-J4 : 4 %). Les réponses correctes trouvées par ces élèves sont peut-être un effet du hasard ; ils ne se sont pas vraiment approprié le raisonnement correct.

1 % n'ont pas donné de justification (C3). Nous supposons que leurs réponses sont également un effet du hasard, ou qu'ils ont du mal à formuler leur argumentation.

Sur les 80,41% d'élèves (C4, C5 et C6) ayant fait des choix incorrects, 9 % (C4-J1 : 10 % ; C5-J1 : 4 % ; C6-J1 : 0%) donnent des justifications qui permettent d'identifier correctement des stéréoisomères de conformation mais qui contredisent leurs réponses. En effet, les représentations de Cram de molécules choisies ne diffèrent pas toutes par la rotation du groupement CHCl<sub>3</sub> autour de l'axe de la liaison C—C.

56 % (C4 : 20 % ; C5 : 28 % ; C6 : 5 %) ne justifient pas leurs réponses. Cela peut traduire une appropriation insuffisante (ou une méconnaissance) de la notion de stéréoisométrie de conformation. Ce qui peut expliquer pourquoi les élèves ne se sont pas préoccupés de l'identité des substituants des carbones.

#### 4.4. Analyse des réponses d'élèves à la question 4

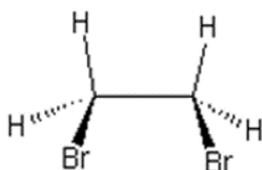
A la question 4, il est demandé de réaliser la conversion inter registres formule semi-développée-Cram (4a), Cram-Newman (4b) et d'expliquer comment réaliser ces conversions. (4.c).

#### 4.4.1. Catégorisation et répartition des réponses à la question 4.a

Nous distinguons deux grandes catégories a priori de réponses : représentations spatiales (C1) et représentation non spatiales. Pour plus de netteté, les exemples de dessins d'élèves sont reproduits avec le logiciel ChemSketch.

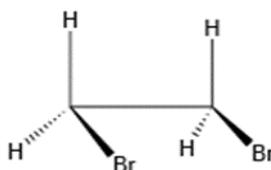
*Première catégorie (C1) représentations spatiales* : dessins ayant des caractéristiques d'une représentation spatiale.

- (C1a) *Caractéristiques conformes* : les conventions de représentation des liaisons et des angles sont respectées

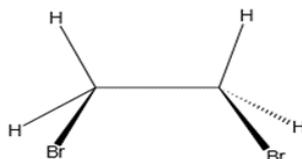


- (C1b) *Caractéristiques non conformes* : les conventions de représentations des liaisons et/ou de leurs angles ne sont pas respectées. Trois cas se présentent:

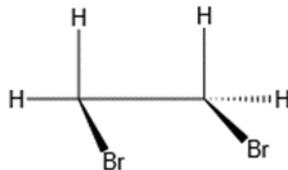
✓ (C1b1) *angles non conformes* :



✓ (C1b2) *traits de liaison non conformes* :

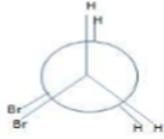


✓ (C1b3) *traits de liaison et angles non conformes* :



*Deuxième catégorie (C2) Représentations non spatiales* : dessins présentant les caractéristiques d'une représentation autre que celle de Cram.

✓ (C2a) *représentations de Newman éclipsées* :



✓ (C2b) formules développées :

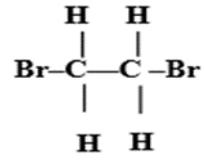


Tableau 9 : Répartition des réponses des élèves à la question 4.a

		filles		garçons		Classe	
		nombre	pourcentage	nombre	pourcentage	nombre	pourcentage
<b>Lycee Public</b>							
Catégories de réponses							
Caractéristiques conformes							
(C1a) Caractéristiques conformes		22	59	17	61	39	60
(C1) Représentations spatiales	(C1b1) angles non conformes	12	32	4	14	16	25
	(C1b2) traits de liaisons non conformes	0	0	9	32	0	0
	(C1b3) traits de liaison et angles non conforme	1	3	5	18	6	9
(C2) Représentations non spatiales	(C2a) représentations de Newnan éclipsées	2	5	1	4	3	5
	(C2b) formules développées	0	0	1	4	1	2
Pas de réponse		0	0	0	0	0	0
Total		37	100	28	100	65	100
<b>Lycee Privé</b>							
Catégories de réponses							
Caractéristiques conformes							
(C1a) Caractéristiques conformes		0	0	9	43	9	28
(C1) Représentations spatiales	(C1b1) angles non conformes	5	45	8	38	13	41
	(C1b2) traits de liaisons non conformes	0	0	2	10	2	6
	(C1b3) traits de liaison et angles non conforme	1	9	2	10	3	9
(C2) Représentations non spatiales	(C2a) représentations de Newnan éclipsées	5	45	0	0	5	16
	(C2b) formules développées	0	0	0	0	0	0
Pas de réponse		0	0	0	0	0	0
Total		11	100	21	100	32	100
<b>Terminale scientifique</b>							
Catégories de réponses							
Caractéristiques conformes							
(C1a) Caractéristiques conformes		22	46	26	53	48	49
(C1) Représentations spatiales	(C1b1) angles non conformes	17	35	12	24	29	30
	(C1b2) traits de liaisons non conformes	0	0	2	4	2	2
	(C1b3) traits de liaison et angles non conforme	2	4	7	14	9	9
(C2) Représentations non spatiales	(C2a) représentations de Newnan éclipsées	7	15	1	2	8	9
	(C2b) formules développées	0	0	1	2	1	1
Pas de réponse		0	0	0	0	0	0
Total		48	100	49	100	97	100

#### 4.4.2. Analyse des réponses à la question 4.a

L'examen du tableau 10 montre qu'une majorité d'élèves (91 %) dessine une représentation spatiale, dont 50 % avec des caractéristiques des liaisons et des angles conformes à la représentation éclipsée attendue (C1a). 41 % ne respectent pas les conventions de représentations des liaisons et/ou des angles dans le registre de Cram (30 % : C1b1 ; 2 % : C1b2, et 9 % : C1b3) ; ils n'en voient peut-être pas l'intérêt ou ne les connaissent pas.

9 % des élèves proposent des représentations autres que la représentation spatiale, dont 8 % une représentation de Newman éclipsée (C2a), 1 % reprennent la formule développée (C2b).

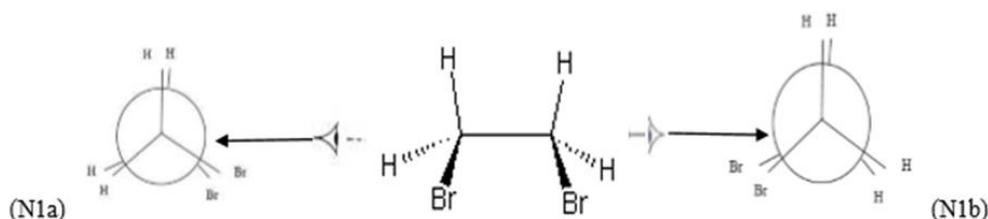
#### 4.4.3. Catégorisation et répartition des réponses à la question 4.b

La question 4.b porte sur la conversion de la représentation Cram (obtenue à la question 4.a) en représentation de Newman.

L'analyse des résultats est réalisée en trois parties. Dans un premier temps, nous nous intéressons uniquement aux réponses des élèves ayant dessiné une représentation spatiale avec des liaisons correctes (représentation de Cram éclipsée), en l'occurrence ceux des sous-catégories C1a et C1b1. Puis nous examinons les représentations spatiales qui ne peuvent pas être converties en représentation de Newman (il s'agit des réponses d'élèves des sous-catégories C1b2 et C1b3), et les représentations non spatiales (réponses d'élèves de la catégorie C2). Les exemples de dessins sont reproduits avec le logiciel ChemSketch.

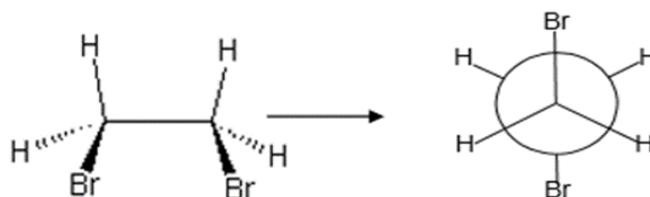
*Pour les réponses des catégories (C1a) et (C1b1) à la question 4.b*

- (N1) *Newman éclipsée attendue* : il s'agit de la représentation pouvant être obtenue en observant la représentation spatiale initiale, suivant l'axe de la liaison C1 – C2 (N1a) ou suivant l'axe la liaison C2 – C1 (N1b),



- (N2) *Autres représentations de Newman* : elles correspondent à une autre conformation que celle de la représentation spatiale fournie.

✓ (N2a) *Newman décalée* :



✓ (N2b) *Newman éclipsée ne correspondant pas à la conformation de la représentation de Cram* :

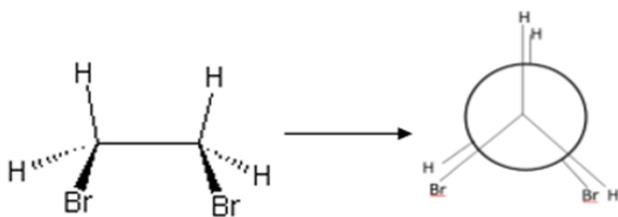


Tableau 10 : Répartition des réponses d'élèves des catégories (C1a) et (C1b) à la question 4.b

	Lycée Public				Terminale scientifique													
	filles		garçons		filles		garçons											
	(N1) (N1a) (N1b)	(N2a) (N2b) Pas de réponse	Total Nombre pourcentage (N1a) (N1b)	(N1) (N2a) (N2b) Pas de réponse	Total Nombre pourcentage (N1a) (N1b)	(N1) (N2a) (N2b) Pas de réponse	Total Nombre pourcentage (N1a) (N1b)											
(C1a) Caractéristiques conformes	16	0	22	9	3	2	3	0	17	81	25	3	4	7	0	39	71	
(C1b) Angles non conformes	8	1	12	0	3	0	1	0	4	19	8	4	0	4	0	16	29	
Total	24	1	34	100	9	6	2	4	0	21	100	33	7	4	11	0	55	100

	Lycée Privé				Terminale scientifique												
	filles		garçons		filles		garçons										
	(N1) (N1a) (N1b)	(N2a) (N2b) Pas de réponse	Total Nombre pourcentage (N1a) (N1b)	(N1) (N2a) (N2b) Pas de réponse	Total Nombre pourcentage (N1a) (N1b)	(N1) (N2a) (N2b) Pas de réponse	Total Nombre pourcentage (N1a) (N1b)										
(C1a) Caractéristiques conformes	0	0	0	7	0	1	1	0	9	53	7	0	1	1	0	9	41
(C1b) Angles non conformes	2	0	3	0	5	2	0	0	8	47	3	0	5	5	0	13	59
Total	2	0	3	5	100	8	3	0	17	100	10	0	6	6	0	22	100

	Terminale scientifique				Terminale scientifique													
	filles		garçons		filles		garçons											
	(N1) (N1a) (N1b)	(N2a) (N2b) Pas de réponse	Total Nombre pourcentage (N1a) (N1b)	(N1) (N2a) (N2b) Pas de réponse	Total Nombre pourcentage (N1a) (N1b)	(N1) (N2a) (N2b) Pas de réponse	Total Nombre pourcentage (N1a) (N1b)											
(C1a) Caractéristiques conformes	16	0	22	16	3	3	4	0	26	68	32	3	5	8	0	48	62	
(C1b) Angles non conformes	10	1	17	44	1	3	5	3	12	32	11	4	5	9	0	29	38	
Total	26	1	39	100	17	6	8	7	0	38	100	43	7	10	17	0	77	100
Pourcentage	67	3	5	26	0	100	45	16	21	18	0	100	56	9	13	22	0	100

#### 4.4.4. Analyse des réponses 4.b

L'examen du tableau 11 montre que (42 %) <sup>4</sup> des élèves ayant dessiné correctement la représentation spatiale (C1a) propose une représentation de Newman pouvant être obtenue en observant la représentation de Cram suivant l'axe de la liaison C1—C2 (C1a-N1a). Soit 38 % ceux qui ont dessiné une représentation spatiale avec des angles non conformes (C1b1) donnent également une représentation de Newman semblable (C1b1-N1a : 14 %).

13 % des deux catégories d'élèves (C1a) et (C1b1) dessinent une conformation décalée en représentation de Newman (N2a) au lieu d'une conformation éclipsée tandis que, 22 % une représentation de Newman d'une autre conformation éclipsée que celle demandée (N2b).

#### 4.4.5. Raisonnements des élèves 4.c

Les explications proposées par les élèves sont de deux types :

- Observation de la représentation spatiale suivant l'axe de la liaison C—C et symbolisation des liaisons : explications indiquant que la représentation spatiale est observée suivant l'axe de la liaison C—C et mentionnant la symbolisation des liaisons, sans pour autant préciser si la molécule est observée suivant l'axe de la liaison C1 – C2 ou suivant l'axe C2 – C1.
- Autre : explications ne précisant pas la position de l'observateur

---

<sup>4</sup> Pourcentage calculer à partir de 32 élèves (C1a, N1a) parmi les effectifs totaux soit 77 élèves

Tableau 11 : Répartition des explications des élèves ayant dessiné les spatiale et de Newman

Lycée Public						Lycée Privé									
Fille			Garçon			Fille			Garçon						
Observation	Autres	Pas de réponse	Observation	Autres	Pas de réponse	Observation	Autres	Pas de réponse	Observation	Autres	Pas de réponse				
nombre	pourcentage	nombre	nombre	pourcentage	nombre	nombre	pourcentage	nombre	nombre	pourcentage	nombre				
(Cl)a et (N1)	9	6	1	16	47	10	3	0	13	62	19	9	1	29	53
(Cl)a et (N2a)	0	1	1	2	6	1	1	0	2	10	1	2	1	4	7
(Cl)a et (N2b)	1	0	3	4	12	2	1	0	3	14	3	1	3	7	13
(Cl)b1 et (N1)	2	7	0	9	26	0	0	0	0	0	2	7	0	9	16
(Cl)b1 et (N2a)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(Cl)b1 et (N2b)	2	1	0	3	9	1	2	0	3	14	3	3	0	6	11
<b>Total</b>	<b>34</b>	<b>100</b>	<b>21</b>	<b>100</b>	<b>55</b>	<b>100</b>	<b>22</b>	<b>100</b>	<b>34</b>	<b>100</b>	<b>21</b>	<b>100</b>	<b>55</b>	<b>100</b>	

Terminale scientifique						terminale scientifique									
Fille			Garçon			Fille			Garçon						
Observation	Autres	Pas de réponse	Observation	Autres	Pas de réponse	Observation	Autres	Pas de réponse	Observation	Autres	Pas de réponse				
nombre	pourcentage	nombre	nombre	pourcentage	nombre	nombre	pourcentage	nombre	nombre	pourcentage	nombre				
(Cl)a et (N1)	0	0	0	0	0	6	1	0	7	41	6	1	0	7	32
(Cl)a et (N2a)	0	0	0	0	0	1	0	0	1	6	1	0	0	1	5
(Cl)a et (N2b)	0	0	0	0	0	1	0	0	1	6	1	0	0	1	5
(Cl)b1 et (N1)	2	0	0	2	40	0	1	0	1	6	2	1	0	3	14
(Cl)b1 et (N2a)	2	0	0	2	40	1	3	1	5	29	3	3	1	7	32
(Cl)b1 et (N2b)	0	1	0	1	20	1	1	0	2	12	1	2	0	3	14
<b>Total</b>	<b>5</b>	<b>100</b>	<b>17</b>	<b>100</b>	<b>22</b>	<b>100</b>	<b>22</b>	<b>100</b>	<b>39</b>	<b>100</b>	<b>38</b>	<b>100</b>	<b>77</b>	<b>100</b>	

L'examen du tableau 11 montre qu'au total, 38 %<sup>5</sup> des élèves (C1a et N1, 33 %, C1b1 et N1, 5 %) donnent une explication se rapportant à une observation de la représentation spatiale suivant l'axe C—C, sans toutefois préciser si la représentation spatiale est observée suivant l'axe C1 – C2 ou suivant l'axe C2 – C1, et si les liaisons établies, entre les atomes de carbone de l'axe C—C et leurs voisins, sont projetées dans le plan perpendiculaire à cet axe. L'absence de ces précisions ne nous permet pas de dire si la visualisation mentale de la représentation de Cram est effective, et d'inférer leurs capacités de visualisation mentale. Nous pouvons simplement supposer qu'ils se sont appuyés soit sur un raisonnement spatial, soit sur un raisonnement analytique.

45 %<sup>6</sup> n'expliquent pas la méthode utilisée (C1a-N2a, C1b1-N1, C1b1-N2a, C1b1-N2b, cf. tableau 11), ou donnent des explications ne permettant pas de comprendre comment ils procèdent (C1a-N1, C1a-N2b, C1b1-N1, C1b1-N2b, cf. tableau 11). Ces absences d'explications ou ces considérations peuvent suggérer qu'ils ne connaissent pas le raisonnement spatial attendu ou qu'ils ont du mal à expliquer leur raisonnement

## 5. CONCLUSION DE LA DEUXIEME PARTIE

En guise de conclusion, notre recherche a permis de repérer quelques renseignements à propos des raisonnements et des difficultés des élèves dans les classes terminales scientifiques à Mahitsy. Concernant la signification de la représentation de Cram, la majorité des élèves, soit 85 %, donne la vraie réponse. Seulement 15 % n'indiquent rien à propos de ce que représentent les traits dans le dessin (voir question 1 à l'annexe). Cela signifie que les élèves savent ce que représentent les différents traits dans la représentation de Cram. Tandis que 74 % des élèves arrivent à justifier la raison pour laquelle les traits sont dessinés différemment. Les élèves ont pu donc saisir la fonction de communication dans le registre de Cram.

Concernant la reconnaissance de la stéréoisomère de conformation dans le registre de Newman, seulement 10 % des élèves répondent correctement. 87 % des élèves n'arrivent pas à identifier les molécules isomères.

D'après l'analyse des résultats et la justification des réponses avancées par les élèves, nous pouvons en conclure qu'ils ne maîtrisent pas la notion de la stéréoisomère de conformation.

Ils ne sont pas capables d'énoncer clairement leur raisonnement. La réponse correcte trouvée peut être un effet au hasard. La définition de la stéréoisomère de conformation est connue, mais il est difficile pour les élèves de la pratiquer ou de l'opérer. Ils mémorisent simplement la définition de la

<sup>5</sup> 25 élèves observateurs C1a et N1, 4 élèves observateurs C1b et N1 parmi les effectifs totaux 77 élèves

<sup>6</sup> Le chiffre est calculé à partir de la somme totale de C1a-N2a, C1b1-N1, C1b1-N2a, C1b1-N2b C1a-N1, C1a-N2b, C1b1-N1, C1b1-N2b par rapport aux effectifs totaux dans le tableau 12.

stéréoisomère de conformation, sans savoir l'appliquer dans la détermination de représentation de Newman.

A propos du passage d'une conformation de la molécule à une autre conformation dans le registre Cram. Seulement 1,03% des élèves donnent une réponse correcte. La majorité des élèves commettent des erreurs dans l'opération de traitement.

Les résultats de notre étude expliquent l'incapacité des élèves à réaliser une rotation mentale de la représentation d'une molécule. L'identification des molécules stéréoisomères de conformation dans le système Cram n'est pas maîtrisée. La majorité des élèves ne justifie pas leur réponse parce qu'ils ont peut-être du mal à verbaliser leur raisonnement. Pour les élèves ayant donné le choix de réponse correct, nous supposons que leurs réponses sont également un effet du hasard vu qu'ils ont eu du mal à formuler leur argumentation.

Pour résoudre les problèmes d'identification de stéréoisomères de conformations dans le registre de Cram et Newman et, ainsi la conversion inter registre semi-développée-Cram-Newman les élèves rencontrent des obstacles. Ils ont de difficulté à réaliser les opérations mentales et les raisonnements spatiaux.

L'absence d'explication dans la conversion de système Cram-Newman, ne permet pas de dire que les élèves utilisent la visualisation mentale. Nous pouvons simplement supposer qu'ils s'appuient sur un raisonnement spatial ou analytique.

Ce travail de réplique nous a permis de savoir plus sur le système sémiotique développé par Duval en Mathématique mais transposé par l'auteur en stéréochimie. La stéréochimie est négligée par les enseignants de la physique chimie au lycée, mais elle prend une place importante dans l'étude de la chimie organique à l'université. Dans la thèse mère, l'auteur a utilisé trois études durant trois années consécutives. D'une part, l'étude 1 et l'étude 2, ont pour but de connaître les raisonnements et difficultés des élèves lors de l'utilisation et interprétation des représentations sémiotiques, utilisent des questionnaires sur papier pour les collectes de données. D'autre part, l'étude 3, met en évidence les raisonnements à propos des certaines opérations intra et extra registre des représentations sémiotiques de Cram et Newman, utilise comme instrument de collecte de donnée l'entretien semi directif. Alors que dans notre travail portant uniquement sur les raisonnements et difficultés des élèves lors de l'utilisation et interprétations des représentations sémiotiques, des questionnaires sur papier suffisent comme instrument de collecte de donnée.

## CONCLUSION

Ce travail qui s'intéresse à l'enseignement de la stéréochimie en classe terminale scientifique s'est référé à la thèse de Mangane Nsayi intitulée : « *Enseignement et apprentissage de la stéréochimie en terminale D au Bénin : raisonnements des élèves et points de vue des enseignants* ».

En effet, en tant qu'enseignant de physique chimie au lycée, la similitude des contextes de l'enseignement des sciences à Madagascar et au Bénin, d'une part, et les préoccupations communes concernant l'enseignement et l'apprentissage de la stéréochimie, d'autre part, nous ont incité à analyser de près cette recherche de Mangane Nsayi pour en tirer des éléments de méthodologie pertinents sur le sujet qui nous concerne. Ce travail comporte donc deux parties. Dans la première partie, nous avons procédé à une synthèse et analyse de la thèse et dans la seconde, nous en avons fait une réplique dans le contexte malgache, plus précisément dans la zone pédagogique de Mahitsy.

Concernant la thèse mère, il n'y a pas d'hypothèse explicite mais des questions de recherche bien claires dont le déroulement de la recherche, notamment la méthodologie a permis d'aboutir à des réponses à la problématique, que ce soit sur les difficultés et les raisonnements des élèves en stéréochimie ou que ce soit sur les connaissances professionnelles des enseignants (PCK) et connaissances du contenu disciplinaires.

Dans la partie réplique nous nous sommes focalisés dans notre étude sur les raisonnements et les difficultés des élèves en stéréochimie en terminales scientifiques.

L'objectif principal est de savoir comment fonctionne le raisonnement chez les élèves en terminales scientifiques dans un milieu rural où il n'y a ni laboratoire ni matériels didactiques (modèles moléculaires par exemple) alors qu'ils sont obligés à apprendre la stéréochimie étant donné que cela fait partie du programme scolaire.

La réalisation de conversion inter registre semi-développé - Cram- Newman a été ainsi l'objet de notre étude. Nous voulions aussi identifier leurs difficultés dans l'utilisation et l'interprétation des représentations sémiotiques en stéréochimie. Nous avons fait des enquêtes sous forme de questionnaire sur papier dans trois établissements de la commune rurale de Mahitsy à savoir, le lycée de Mahitsy, le lycée privé Fanevasoa et le lycée privé Le Nid d'Abeille. Les enquêtes étaient réalisées auprès de 97 élèves volontaires en terminales scientifiques de ces écoles. Pendant l'enquête, les élèves sont autorisés à répondre librement aux questionnaires dans leur papier. Le codage et l'analyse des données sont traités avec le logiciel EXCEL parce que le logiciel NVIVO 11 que nous devions utiliser est difficile à télécharger. Cette étude n'a pas pris en compte les questions genre ou école d'origines. Nous n'avons pas pu enquêter des professeurs de physique chimie car notre travail rencontrait une période difficile à Madagascar, celle de la grève des enseignants.

La thèse mère nous a permis de savoir plus sur la méthode qualitative. Elle nous a révélé que la recherche qualitative est parfois définie en référence ou en opposition à la recherche quantitative. En réalité, il n'y a pas opposition mais complémentarité entre les deux, car elles n'explorent pas les mêmes

champs de la connaissance. L'étape primordiale consiste à définir la question de recherche de façon la plus précise et claire possible. La population à étudier est largement échantillonnée afin d'explorer la plus grande diversité possible du thème étudié. C'est cette diversité qui est la source de la richesse des données dans la méthode qualitative. La méthode qualitative la plus pertinente est ensuite choisie selon la nature de la question de recherche.

Notre recherche nous a permis d'avoir une idée sur les raisonnements et les difficultés des élèves en terminales scientifiques dans un milieu rural à Madagascar. A l'issue des résultats obtenus, des nouvelles questions se posent : quelles stratégies d'enseignement doivent être mises en place pour que les élèves de la terminale scientifique utilisent et interprètent correctement des représentations sémiotiques en stéréochimie ?

Nous estimons que notre travail permettra aux enseignants de la physique chimie au niveau des Lycées à Madagascar de raisonner sur leurs démarches afin de résoudre les problèmes des élèves en stéréochimie en particulier et en chimie organique en général.

## REFERENCES

- Barnea, N. et Dori, Y. J. (1999). High-school chemistry students' performance and gender differences in a computerized molecular modeling learning environment. *Journal of Science Education and Technology*, 8 (4), 257-271.
- Boilevin J.-M., Davous, D. et Thibault, J. (1996). Modèles moléculaires et nouveaux programmes au lycée. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 786 (90), 1289-1306.
- Bucat, B. et Mocerino, M. (2009). Learning at the sub-micro level: Structural representations. Dans J. K. Gilbert et D. Treagust (dir.), *Multiple representations in chemical education: Models and modeling in science education*, (vol.4, p. 11–29). Dordrecht, NL, Pays Bas : Springer.
- Butlen, D. et Peltier-Barbier, M-L. (2004). Pratiques effectives de professeurs d'école enseignant les mathématiques dans les quartiers sensibles sont-elles spécifiques ? : Retour au cadre théorique et à la méthodologie présentés dans la première partie. Dans M. Peltier-Barbier (dir), *Dur d'enseigner en ZEP* (p.63-81). Grenoble, France : La pensée sauvage.
- Duval, R. (1993). Registres de représentation sémiotique et fonctionnement cognitif de la pensée. *Annales de didactique et de sciences cognitives*, 5, 37-65.
- Ecollan De Coligny, I., Fontaine, G., Lautrette, M. et Tomasino, A. (1989). *Chimie terminale D*. Paris. France : Nathan.
- Eliel, E.L. et Basolo, F. (1971). *Eléments de stéréochimie*. Paris, France : Ediscience
- Giordan, A., Favre, D., et Tarpinian, A. (2013). *L'erreur en pédagogie*. Récupéré le 27 Juillet 2018 du site [http://www.ecolechangerdecap.net/IMG/pdf/dossier\\_erreur.pdf](http://www.ecolechangerdecap.net/IMG/pdf/dossier_erreur.pdf)
- Khanfour-Armalé, R. et Le Maréchal, J.-F (2009). Représentations moléculaires et systèmes sémiotiques. *Aster*, 48, 63-88.
- Kozma, R. B. (2003). The material features of multiple representations and their cognitive and social affordances for science understanding. *Learning and Instruction*, 13, 205–226.
- Lafarge, D. (2010). *Analyse didactique de l'enseignement-apprentissage de la chimie organique jusqu'à bac+2 pour envisager sa restructuration* (Thèse de doctorat, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand II, France).
- Loumouamou A. (1998). *Contribution à l'étude de la transposition didactique en chimie organique*. (Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier, Grenoble 1, France).
- Mager, R.F. (2005). *Comment définir des objectifs pédagogiques* (2<sup>e</sup> éd.). Paris, France : Eyrolles.
- Marchand, P. (2006). Comment développer les images mentales liées à l'apprentissage de l'espace en trois dimensions ? *Annales de Didactique et de Sciences Cognitives*, 11, 103 - 121.
- Marzin, P. (n.d.). *Conceptions, obstacles, apprentissage*. Récupéré le 23 juillet 2018 du site [http://imss-www.upmf-grenoble.fr/prevert/SpecialiteDEMS/Cours%2020092010/ConcObst09\\_10.pdf](http://imss-www.upmf-grenoble.fr/prevert/SpecialiteDEMS/Cours%2020092010/ConcObst09_10.pdf)
- McNeill, D. (1992). *Hand and mind: What gestures reveal about thought*. Chicago, IL: University of Chicago Press

- Meirieu, P. (1990). *Apprendre ... Oui, mais comment?* (5ème éd.). Paris, France : ESF Sciences Humaines
- Robert, A. & Bouillaguet, A. (2002). *L'analyse de contenu* (2e édition). Paris. France : PUF
- Rozzelle, A. & Rosenfeld, S. M. (1985). Stereoscopic projection in organic chemistry: Bridging the gap between two and three dimensions. *Journal of Chemical Education*, 62 (12), 1084–1085.
- Shulman, L. (1986). Those who understand: A conception of teacher knowledge. *American Educator*, 10(1), 9–15, 43–44.

## ANNEXES

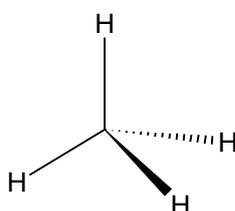
### QUESTIONNAIRE ELEVE

Dans le cadre de l'amélioration de l'enseignement de stéréochimie en classe de terminale scientifique, nous allons mener une enquête sur les difficultés et les raisonnements des élèves afin d'apporter des solutions. Nous aimerons alors votre collaboration et votre sincérité en répondant aux différentes questions proposées. Il ne s'agit ni d'un test, ni d'une évaluation. Ce questionnaire est destiné à recueillir des données sur ma recherche. Merci de votre participation.

Durée : 1h30mn

QUESTION 1 :

Voici une formule spatiale de la molécule de méthane.



a. Que représentent les traits dans cette représentation spatiale ?

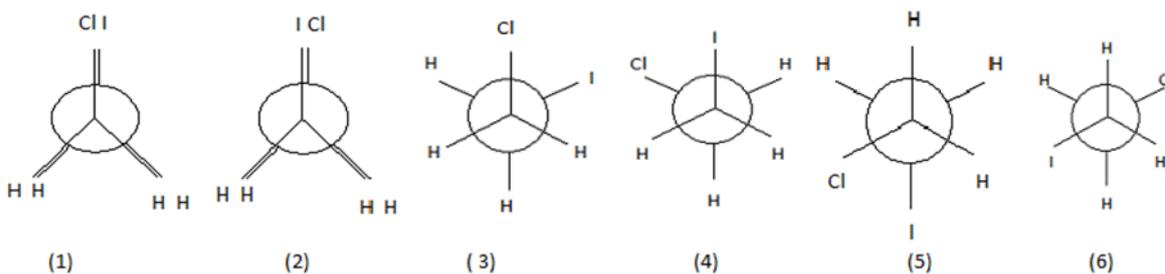
Réponses : .....

b. Pourquoi sont-ils dessinés différemment ?

Réponses : .....

QUESTION 2 :

Lesquelles parmi ces molécules sont des stéréoisomères de conformation ? Justifiez.

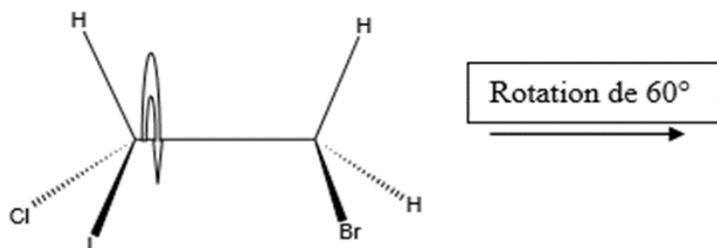


Réponses

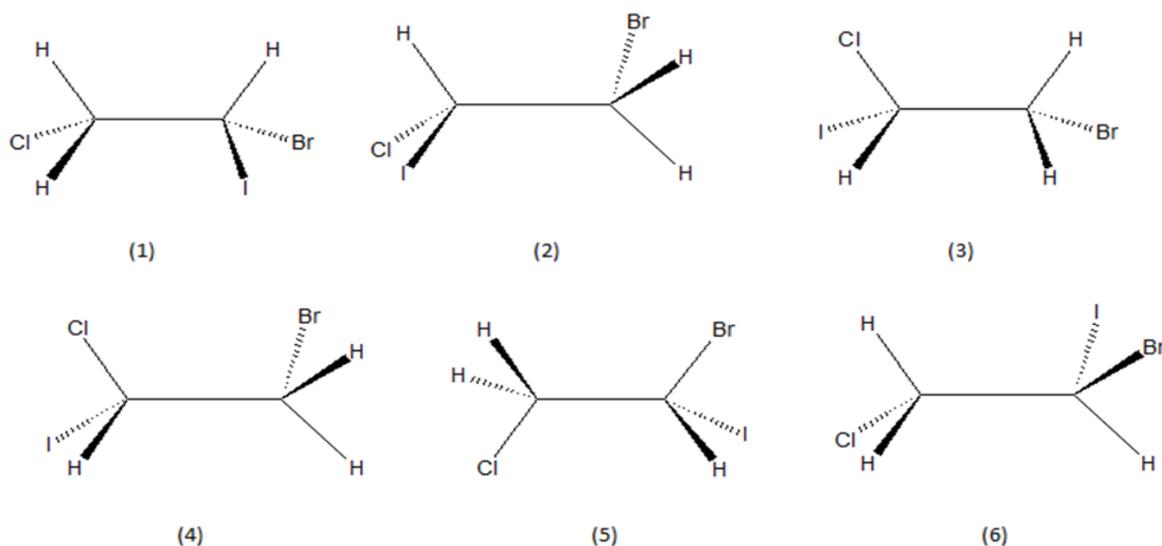
.....  
.....  
.....

QUESTION N°3

a. Complétez la figure suivante en dessinant une nouvelle représentation spatiale qui indique la position des atomes, après une rotation de  $60^\circ$  du groupement  $-CHICl$  autour de l'axe de la liaison  $C-C$ .



b. Indiquez parmi la série de représentations spatiales, celles qui correspondent à des stéréoisomères de conformation d'une même molécule. Justifiez.



Réponse :

.....

.....

QUESTION N°4

a. Dessinez une représentation spatiale en conformation éclipsée correspondant à la formule semi-développée suivante  $CH_2Br - CH_2Br$ .

Réponses

A partir de la représentation spatiale que vous avez proposée, donnez sa représentation de Newman.

Réponses

Expliquez comment vous avez procédé pour dessiner cette représentation de Newman.

Réponses.....  
.....

Merci

