

المركبات التكافؤية، من نموذج لويس الى النموذج الكوانتي-دراسة تقويمية لصعوبات التحصيل المفاهيمي

عند طلبة المدرسة العليا للأساتذة بالقبة، الجزائر

Covalent bond, from Lewis model to Quantum model - an evaluation study of the difficulties of conceptual integration among students of the Higher School of Teachers in Kouba, Algeria

صالح حزي¹، عبد العزيز غميد²

¹المدرسة العليا للأساتذة بالقبة (الجزائر)، salah.hazzi@g.ens-kouba.dz

²المدرسة العليا للأساتذة بالقبة (الجزائر)، ghghaziz19@gmail.com

تاريخ الاستلام: 2021/8/23 تاريخ القبول: 2021/11/13 تاريخ النشر: 2021/12/31

ملخص: يهدف هذا العمل إلى تقويم صعوبات الطلبة في تحصيل المعارف المتعلقة بنماذج لويس والكوانتي المستعملة في وصف بنية المركبات العضوية. قمنا من خلال هذا البحث بتحليل مدى قدرة الطلبة -الأساتذة للعلوم الفيزيائية على وضع علاقة تربط بين المفاهيم المختلفة ذات الصلة بكل من النموذجين من خلال وصف الروابط البسيطة، المزدوجة والثلاثية في الجمل المثبتة. إن عدم التحكم في هذه المعارف قد يشكل عائقا في شرح فاعلية المركبات العضوية. بيّن تحليل أجوبة الطلبة على استبيان مكتوب أن المعرفة المحصلة من طرف غالبية الطلبة تبقى ناقصة ولا يمكن وصفها بمعرفة تفسيرية ذات دراية نظرية. لقد تحصلوا فقط على بعض المعارف التي يمكن أن توصف بأنها "إجرائية" بالنسبة لمختلف نماذج الرابطة التكافؤية. هذا وقد تم الكشف، استنادا للمنطق التفكيري المستخدم من طرف الطلبة، عن عدد من التصورات البديلة.

الكلمات المفتاحية: الرابطة التكافؤية، نموذج، لويس، الكوانتي، تمجيد

Abstract: This work aims to evaluate students' difficulties in acquiring knowledge related to Lewis and Quantum models used to describe the structure of organic compounds. We analyzed the extent to which students-professors of physical sciences could establish relationship between concepts related to each model by describing simple, double and triple bonds in proven sentences. The lack of control over this knowledge may constitute an obstacle to explain the effectiveness of organic compounds. Based on a questionnaire, we found that the knowledge gained by the majority of students remains incomplete and cannot be described as expository knowledge with theoretical knowledge. They only got a "procedural" knowledge for the various models of equivalence bonding. Based on thinking logic used by students, we revealed a number of alternative conceptions.

Keywords: covalence, model, Lewis, quantum, hybridation

1. مقدمة

إن الروابط التكافؤية بين العناصر في علم الكيمياء خاصة الكيمياء العضوية، لأمر بالغ الأهمية إذ بها ترتبط العناصر والذرات مع بعضها البعض لتعطي الجزيئات والأيونات ومختلف الصيغ الكيميائية للمركبات. توصف الرابطة التكافؤية بنموذجين: نموذج لويس والنموذج الكوانتي. في حالة النمذجة حسب لويس، يتوجب على الطالب استرجاع معارفه لاستعمالها في كتابة صيغة تمثل فيها كل أزواج الطبقات الخارجية للعناصر المشكلة للجزيء وذلك تحت شكل أزواج من النقاط أو خطوط. وهذا أكانت مشتركة بن ذرتين أو حرة. في البداية يجب على الطالب معرفة عدد إلكترونات الطبقة التكافؤية لكل عناصر البنية المستهدفة (جزيء أو أيون)، وذلك بتطبيق قاعدة الثمانية. في حالة النمذجة حسب النموذج الكوانتي (المكمل للنموذج الأول) يتوجب على الطالب استرجاع معارفه لاستعمالها في شرح قصور النموذج الأول المتمثل في الاختلاف الموجود بين طبيعة الثنائيات الرابطة المتحصل عليها من التداخل المحوري (الرابطة σ) أو الجانبي (الرابطة π). ان استعمال طريقة رابطة التكافؤ التي تركز على التشكل الأولي للأوربيتالات الذرية الصافية بتداخل خطي LCAO للذرة الواحدة لتعطي أوربيتالات مهجنة متكافئة والمؤدية إلى تشكل الروابط (σ ، π) بالتداخل بين الأوربيتالات المهجنة للذرات المرتبطة إن المفاهيم المبهمة والمعقدة الداخلة في النموذج الكوانتي للذرة والجزيء تعتبر من أصعب المواضيع للفهم من طرف الطلبة على كل مستويات تعلم الكيمياء. فالهدف من هذا العمل هو التعرف على معارف المحتوى التخصصي المتعلق بمفهوم البنية الإلكترونية للمركبات التكافؤية المتحصل عليها من طرف طلبة المدرسة العليا للأساتذة. فما مدى قدرة هؤلاء الطلبة على وصف الرابطة التكافؤية باستعمال نموذج لويس وتمثيلها باستعمال النموذج الكوانتي؟

الإشكالية: يتوجب على الطالب المقبل على التخرج أن يكون ملما بالقدر الكافي للمفاهيم التي يحتاج إليها في تدريسه. فهو مطالب ببناء بنية معرفية فعالة ومهيكله بصفة جيدة تعكس بوضوح الاستيعاب المعرفي المطلوب في التدريس. لا نستطيع القول بأنه قد حصل استيعاب مفاهيمي عند الطالب إلا إذا استطاع تعريف المفهوم ثم موقعته في عقدة من عقد شبكة العلاقات المفاهيمية، بصفة متناسقة ومنظمة. إن شرح فاعلية المركبات العضوية يقتضي استعمال سجل النماذج. في هذا السجل، المفاهيم الأساسية التي تمكن من تعيين

المراكز النشطة تركز أساسا على نمذجة الرابطة التكافؤية. لوصف هذه الرابطة يلجأ عادة إلى النموذجين: نموذج لويس والنموذج الكوانتي. لتحقيق هذا الهدف سنحاول تحليل المحتوى المفاهيمي (الروابط التكافؤية، البنى الالكترونية، الاوربيتالات الجزيئية، الاوربيتالات الذرية، التهجين، الخ.) المتعلق بهذه النماذج (نموذج لويس والنموذج الكوانتي) والمتحصل من طرف طلبة المدرسة العليا، مقارنة بالمعرفة المدرسة: ما هي الصعوبات التي يتلقونها في اكتساب هذه المعارف؟ ما مدى قدرتهم على إقامة العلاقة التي تربط بين نموذجي لويس والكوانتي في وصف الرابطة التكافؤية من جهة ثم التنسيق بين مختلف تمثيلاتها لتمثيل الروابط البسيطة، الثنائية والثلاثية بدلالة الأوربيتالات الجزيئية σ و π . ما هي التصورات البديلة التي يكونون قد طوروها؟ من خلال هذا العمل سنواجه الطلبة بالمفاهيم المدرسة في السنة الاولى والثانية (الجذع المشترك) لتحضير شهادة اللسانس. تدرس هذه المفاهيم ضمن مقرر الخصائص الفيزياء-كيمياء للمركبات لاستعمالها بكثرة في السنة الثالثة عند تدريس الكيمياء العضوية. إن ضعف التحكم في هذه المفاهيم يمثل عائقا كبيرا في شرح فاعلية المركبات العضوية (Rushton, Hardy, Gwaltney, & Lewis, 2008). **الفرضيات:** أ- بالرغم من تمكنهم من عدة معارف مفاهيمية، الطلبة يميلون إلى بناء تمثيلات ذهنية أو "بنى معرفية" بديلة لإعطاء معنى لمثل هذه المفاهيم المبهمة والمحصلة أليا وبدون فهم حقيقي. ب- إن عدم تحكم الطلبة في تعريف المفهوم، يجعلهم غير قادرين على موقعته في عقدة من عقد شبكة العلاقات بصفة متناسقة ومنظمة. **أسئلة البحث:** تبعا للنموذج المستعمل، يجب على الطالب أن يكون قادرا على وصف تشكل الرابطة التكافؤية باسترجاع معارفه "الاجرائية" و "النظرية". **سؤال 1:** هل باستطاعتهم استرجاع المعارف الاجرائية بصفة متناسقة ومتلائمة لوضع منهجية علمية تمكن من الاجابة عن الاسئلة المطروحة؟ **سؤال 2:** هل بمقدورهم إقامة العلاقة التي تربط بين نموذجي لويس والكوانتي في وصف الرابطة التكافؤية؟

2. الأبحاث السابقة المتعلقة بالصعوبات الناتجة عن نمذجة الرابطة التكافؤية

1.2 الأبحاث المتعلقة بنموذج لويس

إن الفراغات في تحكم سجل النماذج بالنسبة للكيمياء العضوية تمثل عائقا كبيرا في شرح فاعلية الأنواع الكيميائية. لقد تحقق الباحثون (Shane و Bodner، 2006)، (Rushton et al، 2008) من أن طلبة الليسانس يطبقون شرحا سطحيا لصيغ لويس فيما يتعلق بالذرات، بالخطوط والثنائيات، بدون إعطائهم المعنى الكيميائي الحقيقي. من جهة أخرى، تعرفت عدة دراسات على صعوبات النمذجة الميكروسكوبية التي تركز على التوزيع الإلكتروني الذي يعتبر أساسيا في تشكل الروابط (Plouin و Barlet، 1997)، (Rivera- Huizar، 1997)، (Agrebi، 2004)، (Hill، Hassan، و Reid، 2004)، (Bucut و Mocerino، 2009)، وقد أكد الباحثون: (Laszlo، 2002)، (Bhattacharyya و Bodner، 2005)، (Shane و Bodner، 2006)، (Ferguson و Bodner، 2008) الصعوبات التي يتلقاها المتعلمون خلال وصفهم للفاعلية باستعمال صيغ لويس ومتابعة حركية الإلكترونات بواسطة الاسهم المنحنية.

2.2 الأبحاث المتعلقة بالنموذج الكوانتي

لقد أكد الباحثون أن النموذج الكوانتي للذرة والجزيء يعتبر من المواضيع المعقدة والاكثر صعوبة للفهم من طرف الطلبة على كل مستويات تعلم الكيمياء (Gold، 1988)، (Zoller، 1990)، (Tsapalis، 1997)، (Taber K، 2001)، (Taber K، 2002)، (Taber، 1990)، (Papaphotis و Tsapalis، 2003)، (Nakiboglu، 2005)، (K، 2005)، (Tsapalis، 2008). تعد المفاهيم المعنية معقدة ومبهمّة بالنسبة لكثير من الطلبة. بالنسبة للباحث (Zoller، 1990)، إن استيعاب مفهوم الأوربيتال الذري، المعنى الحقيقي للترميز s, p, d, f والظاهرة التوجيهية للأوربيتالات هي معارف أساسية لفهم الاوربيتالات المهجنة والتهجين. من جانبه يظن (Gillespie، 1996) أن استعمال التمثيلات الأوربيتالية لشرح التهجين يشجع الطلبة على التفكير بأنها طريقة فيزيائية (إعادة انتشار للكثافة الإلكترونية) عوض أن تكون عملية رياضية شكلية. يبدو أن استيعاب ما يمثله الفلك πOM يطرح بعض الصعوبات للطلبة. لاحظ (Taber K، 2001) أن بعض الطلبة يعتبرون الروابط π كتهجين π وقد يعود هذا إلى أن الذرة المعتبرة هي مهجنة (sp^2 أو sp) قبل التداخل الأفقي للأوربيتالات p الغير مهجنة؟ وقد لاحظ (Dumon و Sauvaitre، 1995) أن شروط تشكل المحطات σOM بتداخل محوري و πOM بتداخل أفقي هي حاضرة في

ذاكرتهم لكن تمثيل تداخل الأوربيتالات الذرية OA وشكلا لأوربيتال الجزيئي OM الناتج هو الذي يطرح المشكل بالنسبة للبعض.

3. الإجراءات المنهجية

1.3 جمع المعطيات

لقد تمت الدراسة على (60) ستين طالبا للسنة الثالثة ليسانس تخصص فيزياء-كيمياء. هؤلاء الطلبة ينتمون إلى قطاع تكوين أساتذة التعليم الثانوي (باك+5) بالمدرسة العليا للأساتذة بالقبة (الجزائر). إن اختيار طلبة المدرسة العليا دون سواهم أملت الظروف التنظيمية الغير مواتية للمؤسسات الأخرى. الطلبة المستجوبون درسوا نفس مقرر الكيمياء العضوية في السنة الثالثة وبالتالي فهم يحوزون على عدة عناصر من سجل النماذج (لويس والكوانتي). سنهتم إذن بمدى قدرتهم على استرجاعها بهدف وصف وتمثيل البنية الإلكترونية للجزيئات العضوية. جمعت المعطيات بواسطة استبيان مكتوب عرض على مجموع الطلبة المستهدفون. تعلق مضمون الاسئلة بالمحتوى المدرس خلال الجذع المشترك علوم دقيقة. لقد وضحت للطلبة شروط الأجوبة على الاستبيان، من طرف الباحث (إخفاء الاسم، عدم تنقيط الإجابة، المفاهيم الفردية الخ). حدد زمن الإجابة بـ 45 د.

2.3 طريقة تحليل المعطيات

تحليل الأجوبة يركز على التصنيف انطلاقا من الإطار المعرفي والأبحاث السابقة والمعطيات الجديدة التي تظهر في الأجوبة. من أجل كل سؤال نسجل عناصر الأجوبة المفتاحية حتى يتسنى لنا ترتيبها تحت نفس الصنف من أجل تقييم النسب والبدء في التمييز والشرح (Robert و Bouillaguet، 2002).

أولا: تقديم الاستبيان: من بين المعارف المستهدفة في نهاية الجذع المشترك توجد المؤهلات المعرفية التالية: أ- توضيح من خلال بنية تكافؤية الثنائيات الرابطة (البسيطة، الثنائية والثلاثية)، الثنائيات الغير رابطة والفجوات الإلكترونية المحتملة (أو الحجرات الفارغة). ب- وصف مختلف أنواع تداخلات الأوربيتالات الذرية (OA) من نوع p و s و d - وصف وتمثيل بنية إلكترونية لجزيئات متعدد-الذرات البسيطة المحتوية على روابط بسيطة

و/أو متعددة لعناصر متواجدة تحت مختلف الحالات التهجينية. ملاحظة: بغية تحليل مدى استيعاب هذه المؤهلات، عرضنا على الطلبة استبياناً محتوياً على سؤالين.

ثانياً: الهدف من الأسئلة: سؤال 1: يتعلق بوصف الروابط البسيطة، الثنائية والثلاثية. الهدف منه هو تقييم كيفية وصف الطلبة لمختلف الروابط الموجودة في تمثيلات لويس لجزيئات مألوفة (الكانات، ألينات وألينات): هل سيستعملون مفاهيم لويس كما طلب منهم أم أنهم سيلجئون لاستعمال مفاهيم تنتمي إلى نماذج أخرى؟ **سؤال 2:** يتعلق باستعمال الأوربيتالات الجزيئية لوصف مختلف الروابط الموجودة في جزيئات تحتوي ذرتي كربون مرتبطة بروابط بسيطة أو متعددة. الهدف منه هو تقييم استيعاب الطلبة للمعارف المتعلقة بمختلف المفاهيم المبهمة (الأوربيتالات الذرية s و p والمهجنة؛ الأوربيتالات الجزيئية σ و π ؛ قواعد التداخل بين الأوربيتالات OA من نوع s و p؛ تناظر التداخل) والتي هي من أساسيات النموذج الكمي. هذه المفاهيم تستعمل بكثرة في الكيمياء العضوية لإيجاد علاقة بين البنية الجزيئية والفاعلية. لقد روعي التبسيط المتعمد في بناء الاستبيان، بغية دراسة هذه المفاهيم الأساسية دون اللجوء إلى العمليات الرياضية الثقيلة. المخطط التالي يمثل الصيغ المفصلة لجزيئات الإيثان، الإيثيلين والأسيتيلين:

الشكل 1: الصيغ المفصلة لجزيئات الإيثان، الإيثيلين والأسيتيلين



المصدر: من اعداد المؤلفين

السؤال الأول: أوصف ماذا تمثل الخطوط 1، 2 و 3 في المخطط التالي، باستعمال مفهوم التشارك في الإلكترونات حسب نموذج لويس. **السؤال الثاني:** مثل بدلالة الأوربيتالات (الأفلاك) الجزيئية (OM) تشكل الروابط المتعلقة بالخطوط 1، 2 و 3 الموضحة على المخطط. للتوضيح مثل الروابط π بالفصوص الكروية (lobes)، الروابط σ بالأشعة أو العكس. وضح هل الخطوط التي تحمل رقم 1 لها نفس المعاني أم هي مختلفة؟".

3.3 تحليل الأجوبة المتعلقة بوصف الروابط

أولاً: تحصيل نموذج لويس: تتمثل الأجوبة المنتظرة الكاملة للسؤال الأول في:

أ- الخط 1 يمثل رابطة تكافؤية بسيطة متشكلة من ثنائية إلكترونية (ثنائية رابطة). كل من الذرتين C و H تعطي أحد الإلكترونين من طبقتها الخارجية الموجود في الحجرة الكمية على شكل منفرد (الاشتراك في الإلكترونين). ب- الخط 2 يمثل رابطة مزدوجة (زوج من الثنائيات الرابطة) تحتوي على زوج من الثنائيات الإلكترونية مشتركة بين ذرتي الكربون (الاشتراك في أربع إلكترونات). ت- الخط 3 يمثل رابطة ثلاثية (ثلاث ثنائيات رابطة) تحتوي على ثلاث ثنائيات إلكترونية مشتركة بين ذرتي الكربون (الاشتراك في ستة (06) إلكترونات).

- تصنيف الأجوبة والتحليل: لقد جمعت أجوبة الطلبة في مختلف التصنيفات تبعا للكلمات المفتاحية التي تظهر في الوصف. يمكن لعدة كلمات مفتاحية أن تظهر في وصف خط واحد. طبيعة التصنيفات ونسبة ظهورها مدونة في الجداول المتعلقة بوصف مختلف الخطوط. لقد حسبنا النسب بالنسبة للعدد الإجمالي للطلبة المستجوبين. أ- وصف الخط 1 (الجدول 1): بالرجوع إلى تواتر ظهور مختلف الكلمات المفتاحية المتواجدة في وصف الطلبة، الرابطة C-H هي رابطة تكافؤية (58%) وتوافق ثنائية رابطة (49%)؛ هي رابطة σ (25%)، متكافئة (24%)؛ قد توصف في بعض الاحيان حالة تهجين الكربون (sp³/D1; sp³, sp², sp/C1)؛ أخيرا البعض (11%) تسمى: "الرابطة الهيدروجينية (E1).

الجدول 1: وصف الخط 1

الصف	الكلمات المفتاحية	تواتر الظهور	الصف	الكلمات المفتاحية	تواتر الظهور
A1	الرابطة C-H هي رابطة تكافؤية	58%	D1	رابطة تكافؤية بسيطة C-H	24%
B1	رابطة بسيطة / ثنائية رابطة	49%	E1	رابطة هيدروجينية	11%
C1	رابطة بسيطة / σ (sp ² أو sp)	25%	F1	اجابات أخرى وعدم إجابة	5%

المصدر: من اعداد المؤلفين

نلاحظ أن الاشتراك الإلكتروني لم يذكر من طرف أي طالب وأن 53% من الطلبة تقريبا يستعملون عناصر نموذج لويس فقط في وصفهم (A1+B1)، تماشيا مع السؤال المطروح بالنسبة للجزيئات الثلاثة كما أن حوالي تقريبا 1/4 منهم ذكر الرابطة

التكافؤية. أكثر من ثلث الطلبة يستعملون عبارات تحتوي على عناصر النموذج الكوانتي (C1+D1): رابطة σ أو حالات تهجين الكربون. مثلاً في حالة الإيثان "هي رابطة بسيطة (σ) نتحصل عليها نتيجة تداخل Csp^3 و H" (D1:24%) أو "رابطة تكافؤية بسيطة (رسم C-H) نتحصل عليها نتيجة تداخل Csp^3 و H". في حالة الإيثيلين والاستلين "هي رابطة بسيطة (σ) نتحصل عليها نتيجة تداخل محوري بين Csp^2 أو Csp من جهة و H من جهة أخرى" (16% و 20% C1). تجدر الإشارة إلى أن هناك بعض التفاوت في وصف الخط 1 بين الجزئيات الثلاث. حيث أن مفهوم التكافؤ لم يستعمل إلا في حالة الإيثان. إن اللجوء إلى مفهوم تداخل الأوربيتالات هو بعكس ذلك، قليل الاستعمال في حالة الإيثان (Csp^3/H : 2%; 4%) وأكثر منه في حالة الإيثيلين والأسيتيلين، (Csp^2/H ou Csp/H : 16% et 20%). وأخيراً لقد وصف الخط بالرابطة الهيدروجينية في حالة الأسيتيلين. هل أن بعض الطلبة يخصصون تسمية الرابطة التكافؤية للرابطة (C-H-) المتواجدة في الجزيء المشبع ويعتبرون أن الرابطة لها طبيعة مختلفة في الجزئيات الغير مشبعة ($=C-H$) أو ($\equiv C-H$) لذلك يلجئون إلى وصفها بمفاهيم أخرى؟ أما فيما يتعلق بإدخال عناصر النموذج الكوانتي في الوصف، رغم عدم توافقه مع نص السؤال، يظهر أنه ناتج عن طبيعة التدريس المعطى خلال الدراسات الجامعية. بالفعل فالرابطة التكافؤية رغم نمذجتها في مرحلة أولى بنموذج لويس، توصف فيما بعد بدلالة "التداخل الأوربيتالي" المؤدي إلى تشكل الروابط σ أو π ، هذا من جهة ومن جهة أخرى فإن تعليم مقرر الكيمياء العضوية المدرس في السنتين الثالثة والرابعة يستعمل بكثرة هذه المفاهيم (OA, OM، تداخل، تهجين) في شرح فاعلية المركبات العضوية. من غير المستغرب أن يلجأ الطلبة بصفة عفوية إلى استعمال هذا النموذج الذي يظهر لهم وأنه أكثر تطوراً علمياً. في هذه الحالة يكون مفهوم الاشتراك الإلكتروني المؤدي إلى تشكل الرابطة التكافؤية قد تم نسيانه إلا في حالة اعتبار هذا المفهوم محتوياً ضمنياً داخل مفاهيم "التداخل" أو الروابط σ, π ؟ مهما يكن فإن استعمال هذه المفاهيم موازاة مع مفاهيم لويس هي ليست في محلها وتوحي بوجود بعض اللبس بين النموذجين، مما أدى إلى استعمال نموذج مزدوج (لويس/كوانتي). إن استعمال التسمية "رابطة هيدروجينية" للرابطة C-H من بعض الطلبة

(حوالي 10%) قد لوحظ في دراسات أخرى (Henderleiter et al.,2001)، (Cokelez وDumon، 2005)، (Taber K، 2001) إن مثل هذا الاستعمال قد يرجع إلى عدم التحكم في الاختلاف الموجود بين الرابطة التكافؤية (داخل الجزيء) والرابطة الهيدروجينية (بين الجزيئات) (Taber K، 2001)، (Tan و Treagust، 1999) أو إلى شروحات خاطئة لتشكل الرابطة التكافؤية C-H، كما جاء في شرح أحد التلاميذ في دراسة (Cokelez وDumon، 2005): "هو اشتراك لذرة هيدروجين مع ذرة كربون".

ب- وصف الخط 2 (الجدول 2): ظهور مختلف الكلمات المفتاحية المتواجدة في الوصف تبين أن الخط (C=C) يمثل رابطة مزدوجة (56%)، ناتجة عن وجود رابطة σ ورابطة π بين الذرتين (44%) أو هي زوج من الثنائيات الرابطة (15%).

الجدول 2: وصف الخط 2

الصف	الكلمات المفتاحية	تواتر الظهور	الصف	الكلمات المفتاحية	تواتر الظهور
A2	رابطة مزدوجة	56%	E2	ثنائية sp^2	4%
B2	زوج من الثنائيات الرابطة	15%	F2	رابطة مزدوجة $\sigma + \pi$	19%
C2	رابطة مضاعفة / زوجين	2%	G2	عدم إجابة وأخرى صعبة	2%
D2	روابط $\sigma + \pi$	44%			

المصدر: من اعداد المؤلفين

ينبغي أن نلاحظ أنه عكس الخط 1 (الرابطة C-H)، فإن عبارة الرابطة التكافؤية لم تظهر في الوصف. هذا قد يعني بالنسبة للطلبة أن هناك اختلاف في المعنى بين الرابطة التكافؤية (تلك الممثلة بخط واحد) والرابطة المزدوجة والتي قد لا تكون تكافؤية لأنها توافق رابطة σ ورابطة π . إن الفرضية المطروحة من طرف (Cokelez وDumon، 2005) هي أن تكون تسمية الرابطة التكافؤية مخصصة لاشتراك كل ذرة بالإلكترون أي التعريف الذي أعطي لهم. الملاحظة الثانية وهي أن نسبة الأوصاف التي تستعمل عناصر نموذج لويس حصريا (B2+C2) قد انخفضت بصفة كبيرة بما كانت عليه في وصف الرابطة C-H بحوالي (50% إلى 15%) لصالح الأوصاف التي تستعمل عناصر النموذج

الكوانتي (D2 + E2+F2): الرابطة σ أو π والحالات الهجينية للكربون (أقل من الثلث إلى(48%)). مثلاً أحد الطلبة كتب "الخط 2 يمثل رابطة مزدوجة التي هي عبارة عن مجموع ($\pi + \sigma$) تشكلت نتيجة للتداخل المحوري والجانبى لـ OA 2"، البعض الآخر يستعمل العبارة الغامضة "الزوج sp^2 " مشترك في بعض الأحيان بحالة تهجين الكربون: "الخط 2 يمثل زوج sp^2 يربط بين كربونين مهجنين sp^2 ". إن اللجوء القوي لاستعمال عبارات σ ، π ، تهجين، بغية وصف الروابط المضاعفة حسب لويس، يؤكد ويقوي الملاحظة السابقة فيما يتعلق بالخط الذي يستعمله الطلبة في استعمال النماذج. لكن يمكن أيضاً اتخاذ الفرضية المتمثلة في أن هذا اللجوء إلى عناصر النموذج الكوانتي سببه التدريس المتلقي. إذ نلاحظ في هذا السياق، أن الرابطتين الممثلتين بنفس الخط والتي لها سلوكيات مختلفة اتجاه الفاعلية، هي عادة تميز بروابط σ وروابط π خلال تدريس الكيمياء العضوية.

ت-وصف الخط 3 (الجدول 3)

الجدول 3: وصف الخط 3

الصف	الكلمات المفتاحية	تواتر الظهور	الصف	الكلمات المفتاحية	تواتر الظهور
A3	رابطة ثلاثية	41 %	D3	ثلاثية sp	7 %
B3	ثلاث ثنائيات	15 %	E3	رابطة ثلاثية / $\sigma + 2\pi$	17 %
C3	$\sigma + 2\pi$	38 %	F3	عدم الإجابة وأخرى صعبة	5 %

المصدر: من اعداد المؤلفين

تواتر ظهور الكلمات المفتاحية ضمن الوصف يبين أن الخط ($C \equiv C$) يمثل رابطة ثلاثية (41%)، ناتجة عن رابطة σ ورابطتين π بين الرابطتين (38 %) أو ثلاثة أزواج رابطة (15 %) أو عن ثلاثية sp (7%) مقرونة بالتهجين: "الخط 3 يمثل ثلاثية sp بين ذرتي كربون الأسيتيلين المهجن sp ". نلاحظ، كما في حالة الرابطة الثنائية أن نسبة مهمة من الشروحات (45%)، تستعمل عناصر النموذج الكوانتي في وصف الرابطة الثلاثية. مثلاً، "الخط 3 يمثل مجموع الروابط الثلاثة ($2\pi + \sigma$) الحاصلة عن تداخل محوري وجانبى". هذه النسب المرتفعة تظهر مدى ارتباط الطلبة بهذه المفاهيم، مقارنة بمفاهيم لويس.

المناقشة: بينما استعمل حوالي 50% من الطلبة المفاهيم، رابطة بسيطة، رابطة ثنائية أو رابطة ثلاثية للتمييز بين الخطوط الثلاثة، لم توصف الرابطة البسيطة بصيغة

"التكافؤية" إلا من طرف حوالي $\frac{1}{4}$ الطلبة ولم يستعمل مفهوم الثنائية الرابطة لنموذج لويس، في وصف نفس الرابطة إلا حوالي نصف الطلبة. يبدو إذن، بالنسبة لهؤلاء أن الرابطة التكافؤية لا يمكن أن تمثل إلا بخط واحد كممثل للثنائية الرابطة. بالنسبة للثنائيات المضاعفة الأمر يختلف، لقد وصفت في معظمها باستعمال عناصر النموذج الكوانتي (σ ، π ، تداخل، تهجين sp^2 و sp). كما يلاحظ أيضا أن مفهوم الاشتراك في الثنائية الإلكترونية لم يرد ضمن أي وصف للطلبة وهذا عكس ما لوحظ عند طلبة الثانوي (Cokelez و Dumon، 2005)، (Barker و Millar، 2000). قد يرجع هذا إلى صيغة السؤال التي تبين بوضوح الوضع التشاركي للإلكترونات؟ في هذه الحالة الطلبة يكتفون بوصف هذا التشارك ضمنا بدلالة الروابط σ و π أو بالثنائيات الرابطة. ويمكن شرحها أيضا أن الوصف المعطى باستعمال الروابط σ و π أو الثنائيات الرابطة، يوافق ضمنا بالنسبة للطلبة التشارك الإلكتروني. إن اللجوء القوي لاستعمال عبارات النموذج الكوانتي يبين أن الطلبة لا يترددون في استعمال عناصر نموذج في وصف، طُلب في إطار نموذج آخر. بغض النظر عن أن التمييز الواضح بين عناصر النموذجين لم يحقق في غالب الأحيان من طرف الأساتذة، يمكن افتراض أن الطلبة يميلون في تمييزهم لمختلف خطوط الرابطة إلى استعمال نموذج جديد ذي أداء أحسن من النموذج القديم. مع هذا فاستعمال عبارات "ثنائية sp^2 " و "ثلاثية sp " لوصف الرابطة المزدوجة أو الرابطة الثنائية يتطلب بعض التوضيح. عبارات ثنائية وثلاثية أدخلت خلال تدريس نموذج لويس؛ في حالة الرابطة الثنائية أو الثلاثية، الرابطة σ هي الوحيدة التي تنتج عن التداخل المحوري للأوربيتالات المهجنة sp^2 أو sp لذرة الكربون. وبهذا يظهر -ليس فقط-

نموذج مزدوج، يحتوي على خليط من العناصر لمختلف النماذج، ولكن يظهر أيضا لبس بين مفاهيم طبيعة الروابط المضاعفة المختلفة ($\sigma + \pi$) و ($\sigma + 2\pi$) والتهجين. { هذا اللبس يمكن شرحه على أساس أن العبارات σ و π قد أدخلت مسبقا وبصفة غير مناسبة من طرف المدرسين عند تدريسهم لنموذج لويس. وقد كان (Zoller، 1990) قد

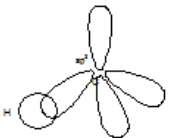
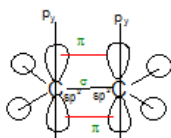
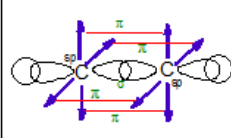
أشار إلى هذا الغموض الذي يسود طبيعة الرابطة البسيطة والرابطة الثنائية عند الطلبة، عندما يتعلق الأمر بوصف سلوكهما خلال شرح الفعالية الكيميائية.

ثانيا: التحصيل المفاهيمي لنموذج الكوانتي: تتمثل الأجوبة المنتظرة للسؤال الثاني في:

أ- الأسطر 1 توافق رابطة تكافؤية بسيطة $C-H$ (رمزها σ). تنتج عن تداخل محوري لـ OAs الهيدروجين مع على التوالي: OA مهجنة sp_3 للكربون (حالة الألكانات)، OA مهجنة sp_2 (حالة الألسنات) أو OA مهجنة sp (حالة الألسينات). هذا التداخل المحوري يُنتج الأوربيتال الجزيئي σ OM الممثل للثنائية الرابطة. كل من ذرتي C (H) تشارك بالإلكترون أعزب من طبقتهما الخارجية. ب- الأسطر 2 تمثل رابطة مزدوجة تكافؤية متشكلة من زوج من الثنائيات الإلكترونية الرابطة المنتمية لكل من ذرتي الكربون. التداخل المحوري للأوربيتالين الذريين المهجنين sp^2 والمنتميين لكل من ذرتي الكربون، يؤدي إلى تشكل أوربيتال جزيئي OM (أو رابطة) σ الممثل للثنائية الرابطة. التداخل الأفقي للأوربيتالين الذريين الغير المهجنين p_y لكل من الذرتين يؤدي إلى تشكل أوربيتال OM (أو رابطة) π الممثل للثنائية الرابطة الثانية. علما أن هذا التداخل الأفقي لا يتم إلا إذا كانت محاورهما متوازية. ت- الأسطر 3 تمثل رابطة ثلاثية تكافؤية متشكلة من ثلاثة أزواج من الثنائيات الإلكترونية الرابطة المنتمية لكل من ذرتي الكربون. التداخل المحوري للأوربيتالين الذريين المهجنين sp ، المنتميين لكل من ذرتي الكربون وكل منها يحمل إلكترون، يؤدي إلى تشكل أوربيتال OM (أو رابطة) σ الممثل للثنائية الرابطة. التداخل الأفقي للأوربيتالين الذريين الغير المهجنين p_x و p_y لكل من الذرتين يؤدي إلى تشكل أوربيتالين OM (أو رابطتين) π ، محاورهما المتوازية تقع في مستويين تناظرين متعامدين، يتقاطعان حسب محور الترابط.

تمثيل الروابط البسيطة والمضاعفة مبينة في الجدول التالي:

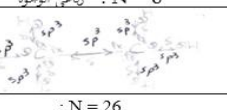
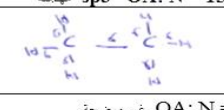
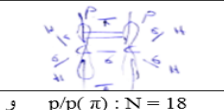
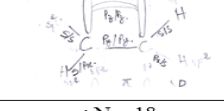
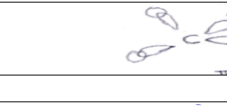
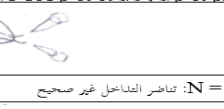
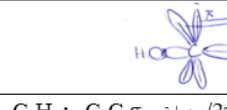
شكل 2: الروابط البسيطة والمضاعفة

تداخل	إيثان : $C-H$ رابطة	إيثيلين : $C=C$	أسيتيلين : $C \equiv C$
ROA			

المصدر: من اعداد المؤلفين

نذكر بأن هذا السؤال قد طرح على 60 طالبا من السنة الثالثة فيزياء-كيمياء. الهدف منه هو تقويم مدى قدرة الطلبة على تمثيل ووصف تشكل الروابط البسيطة؛ الثنائية أو الثلاثية في الجزيئات الثلاثة: الإيثان، الإيثيلين والأسيتيلين وذلك باستعمال التداخل المناسب للأوربيتالات الذرية في كل حالة واستنتاج بعد ذلك الهندسة الجزيئية الناتجة. سنتهم خصوصا بقدرة الطلبة على وصف وتمثيل الجزيء باستعمال مفاهيم النموذج الكوانتي. لوصف كل جزيء من هذه الجزيئات يتوجب على الطالب ذكر: الحالة الهجينة لمختلف ذرات الكربون؛ الأوربيتالات المعنية وطبيعة التداخل وكذا هندسة الجزيء. **تصنيف الأجوبة والتحليل:** بعد فحص الأجوبة، رتبت تمثيلات الطلبة في أصناف مختلفة حسب اقترابها من الأجوبة المنتظرة. الجدول 5 يلخص من أجل كل جزيء، الأشكال الممثلة لهذه الأصناف وعددها.

شكل 3: تمثيل جزيئات الإيثان، الإيثيلين والأسيتيلين تحت شكل تداخل الأوربيتالات الذرية (ROA)

مقبولة			الإيثان
	$N = 8$: رياح الوجوه	sp^3 مهجنة OA: $N = 15$	
غير مقبولة			الإيثان
	$N = 26$ $sp^3 = 1s$ et $3p$ et s/s ; s/p et p/p	OA: $N = 6$ غير موضحة	
مقبولة			الإيثيلين
	σ C-H et C-C في المستوي	$p/p(\pi)$: $N = 18$	
غير مقبولة			الإيثيلين
	$\frac{1}{2}$ OA p : $N = 8$	$N = 18$ $\frac{1}{2}$ OA p et et s/s ; s/p et p/p	
مقبولة			الأسيتيلين
	$N = 6$: تداخل التداخل غير صحيح		
مقبولة		$N = 11$ متعامد p/p بتداخل $\pi/2$ خطية σ C-C و C-H	الأسيتيلين

المصدر: من إعداد المؤلفين

الملاحظ في هذا الجدول هو أن كل التمثيلات وبدون استثناء، لا تحتوي على مجموع المعلومات الموجودة في الأجوبة المنتظرة. 1- في حالة الإيثان يمكن اعتبار مجموع 23 من 55 تمثيل مقبولا جزئيا. ثمانية (08) إجابة منها اعتبرت كذلك لأنها أعطت تمثيلا رباعي الوجوه للهندسة حول كل كربون بذكر الروابط σ ولكن لم تعين طبيعة الأوربيتالات OA التي تتداخل ($sp^3(C)$ و $s(H)$). وبالعكس، فالباقى (15) أشاروا إلى الأوربيتالات OA التي تتداخل ولكن مثلوها ب OA 4 هجينة متعامدة داخل المستوى. أما ما يميز 26 تمثيل من الصنف الأول الذي اعتبر غير موفق، هو أن الروابط C - H تنتج عن تداخل الأوربيتالات الذرية s و p أو s و p ، كما أن الرابطة C - C تنتج عن تداخل $2 \text{ } OA_{px}$ ومع كل هذا يبقى تمثيل الجزيء مستوى. زيادة عن هذا، يظهر في 6 تمثيلات (أنظر المثال الموجود داخل الجدول) تصور مفاده أن التسمية sp^3 ترجع بكل بساطة إلى توزيع الإلكترونات الأربعة للكربون على OA_{s1} و OA_{p3} ولا تظهر إلا عند تشكل الروابط. كما لوحظ أيضا، أن ستة طلبة آخرين اكتفوا بإعادة تمثيل الصيغة المنشورة ووضحوا فوقها وجود الروابط σ .

2- في حالة الإيثيلين، كل التمثيلات تحترم استوائية الهيكل σ وبزوايا 120° تقريبا (وإن لم تعطى هذه القيمة بصفة موضحة) بين الروابط C - H و C - C ومع هذا لم يشر إلى تسمية التهجين sp^2 إلا من طرف 16 من 50 تمثيلا، كما أن 18 منها فقط (مصنفة كمقبولة) أعطت تمثيلا صحيحا OA_{p1} الغير مهجنة والمتعامدة على المستوى. من ناحية أخرى فإن الأوربيتال π الناتج عن تداخلهما لم يمثل بطريقة لائقة إلا في 4 أشكال (الصورة الأولى من الجدول). في الأشكال الأخرى نجد التمثيلات تقتصر على رسم $\frac{1}{2}$ تداخل (أو $\frac{1}{2}$ أوربيتال كروي) (11 تمثيل من هذا النوع ممثلة بالصورة الثانية من الجدول)، أو أنها ممثلة بكرتين ذات شكل حلزوني متعامد على مستوى الجزيء وبالتالي فهو غير مميز بالمستوى العقدي. إن التمثيلات (32) التي صنفت ب "غير مقبولة" تميزت بأنها رسمت بنصف ($\frac{1}{2}$) أوربيتال كروي بالنسبة للمحطات OA_{p1} التي تتداخل أفقيا وبالتالي ينتج عن هذا التداخل $\frac{1}{2}$ أوربيتال كروي أيضا بالنسبة للأوربيتال π . ضمن النصف من هذه الإجابات، نجد روابط من نوع C - H ناتجة عن تداخل الأوربيتالات s و p أو s و p (C) ثم الرابطة

C - C الناتجة عن التداخل المحوري لـ 2 (OA p). بما أن التهجين sp² ذكر في هذه التمثيلات، يمكن فرض أنه بالنسبة لهؤلاء الطلبة لا يمكن التكلم عن التهجين إلا إذا تشكلت الروابط. نلاحظ في شكلين آخرين أن الأوربيتالات OA py و OA pz قد مثلت بزواج من 1/2 أوربيتال كروي متعاكس حيث يتداخل اثنان منهم لتشكيل الرابطة π، بينما في 6 رسومات أخرى لم يحترم فيها التوازي لمحاور المحطات OA p 1/2 التي تتداخل لتشكيل الأوربيتال OM π. كل تمثيلات الأسيتيلين (41) المعطاة، تحترم خطية الجزيء، لكن لم يشر فيها إلى الحالة الهجينية sp بوضوح، إلا في 17 منها. لقد صنفت كتمثيلات مقبولة (11) تلك التي مثل فيها التداخل المحوري لأوربيتالين (يفترض أنهما sp) لذرة الكربون وتداخل أفقي لأوربيتالين p صافيتين ومتعامدتين فيما بينهما ومؤدية إلى تشكيل OM π. وكما لوحظ في حالة الإيثيلين، ففي هذه الحالة، لوحظ أيضا في تمثيلين أن مظهر الأوربيتالات OA p و OM π هي غير صحيحة لانقذاها للمستوى العقدي. الشيء الذي يميز النسبة الكبيرة للتمثيلات الغير موفقة (24 على 30) هو رسم الأوربيتالات OA py و OA pz تحت شكل زوج من 1/2 أوربيتال كروي متعاكس (أو متعامد كما في التمثيلين) يتداخل لتشكيل زوجا من OM π. كما يوجد في 12 منها تمثيل الرابطة σ (C - H) بتداخل s(H)/s(C) والرابطة C - C بتداخل محوري للأوربيتالات OA px لكل كربون. بالنسبة لهذه التمثيلات الغير موفقة حيث الحالة الهجينية sp قد ذكرت، يمكن أيضا الافتراض كما في حالتي الإيثان والإيثيلين أن هذه الحالة تصحب الكربون بعدما تتشكل الروابط.

المناقشة: إن التمثيلات تحت شكل تداخل الأوربيتالات الذرية تُظهر عند بعض الطلبة نقصاً في التحكم في المعارف المتعلقة بالنموذج الكوانتي: أ - **عدم التحكم في مفهوم التهجين الذي يترجم بـ:** تمثيلات تحتوي على 4 أوربيتالات متعامدة توجد في مستوى؛ تشبيه الحالات الهجينية بعدد الإلكترونات S و p لذرة الكربون (في تشكيلها الإلكتروني الجديد) الداخلة في تشكيل الروابط σ C-H و C-C (sp³): إلكترون S و 3 إلكترونات p؛ sp²: إلكترون S و 2 إلكترونات p؛ sp: إلكترون S و 1 p) مع غياب كلي لإقامة العلاقة بين هندسة الأوربيتالات المهجنة والغير مهجنة وربطها بهندسة الجزيئات: فإن

كانت الروابط في حالة الإيثان متموضعة في مستوى ومتعامدة بينها، فإن روابط جزيئي الإيثلين والأسيتيلين هي مرسومة بطريقة لائقة. يظهر أن هذا الوضع قد يكون ناتجا في غالب الأحيان، عن تشبيههم للتمثيلات في الفضاء بالصيغ المفصلة المستوية أكثر منها باعتبارات متعلقة بالتهجين. ب-عدم التحكم في مفاهيم الاوربيتالات الذرية والجزيئية الذي يترجم بـ: تمثيل الاوربيتالات $OA p$ بواسطة أنصاف أوربيتالات كروية px و py ؛ صعوبة تمثيل تشكل المحطات $OM \pi$ بفصين ناتجين عن تداخل الاوربيتالات p بحيث تكون محاورها متوازية وتظهر مستوى عقدي؛ عدم الأخذ بعين الاعتبار لشروط تناظر التداخل. يعتبر الأوربيتال $OA s$ للهدروجين الوحيد الذي مثل بطريقة لائقة احترم فيها التناظر الكروي. معظم الطلبة يلاقون صعوبات في وصف تشكل الروابط البسيطة، الثنائية أو الثلاثية في الجزيئات الثلاثة باستعمال وإقامة العلاقة بين مختلف المفاهيم المطلوبة. إن عدم التحكم في مفهوم التهجين، مصحوبا بعدم التمكن من مفاهيم الاوربيتالات الذرية والجزيئية، قد يكون أساس هذه الصعوبات. معظم الأجوبة الغير موفقة تشبه الحالات الهجينية للكربون (في حالته المثارة) بعدد الالكترونات s et p بدون ذكر طبيعة مختلف الروابط؛ الأوربيتالات الذرية المشاركة في التداخلات المعنية هي بالنسبة لكثير من الطلبة من النوع $(p/p, p/s$ ou $s/s)$ الطبيعية (المحورية أو الأفقية) وشرط (توازي المحاور في حالت الروابط π) هذا التداخل هي قليلة أو عديمة الذكر.

4. خاتمة

يظهر من تحليل الاجوبة المتعلقة بوصف مختلف الروابط، باستعمال النموذجين أن المجال الوظيفي لمفاهيم النموذج هو الذي يطرح المشكل. في مواجهتهم، لمختلف النماذج لشرح نفس الكائن المعرفي ولمختلف التمثيلات لنفس النموذج، كالجزيء، بدلالة حقائق معينة المطلوب شرحها (Kuo et al، 2004)، فإن الطلبة غير قادرين على تعريف المفهوم ووضعه في عقدة من عقد الشبكة المتضمنة لعلاقات متماسكة ومنظمة. فالمعرفة المُحصَّلة من طرف غالبية الطلبة تبقى ناقصة ولا يمكن وصفها بمعرفة تفسيرية ذات دراية نظرية، لقد تحصلوا فقط على بعض المعارف التي يمكن أن توصف بأنها "إجرائية" بالنسبة لمختلف نماذج الرابطة التساهمية. كما تبين أيضا، أن عددا كبيرا من الطلبة غير قادر على شرح وتبرير المفاهيم المعنية بالأمر،

بحيث يكسبها معنى يمكن من توظيفها في مجال استعمالها. بالنسبة لنموذج لويس، لديهم صعوبة في وصف الروابط (البسيطة، المزدوجة والثلاثية) وفقا للمفاهيم المطلوبة؛ حيث أن هذا الوصف لم يقرن أبدا بدلالة " الاشتراك في الثنائية". أضف إلى أن الاستعمال الحصري للأوصاف "تكافؤية" و"ثنائية رابطة" لوصف الرابطة البسيطة $C - H$ يوحي بوجود تصور بديل يتمثل في أن العبارة "تكافؤية" لا يمكن إطلاقها إلا على الرابطة البسيطة (σ). على هذا الأساس تكون هذه الأخيرة مختلفة عن الروابط المضاعفة، التي لا يمكن اعتبارها "تكافؤية" لأنها توافق روابط ($\sigma + \pi$) أو ($\sigma + 2 \pi$). إن هذه الأولوية المعطاة للمفاهيم الكوانتية من طرف الطلبة، لوصف الروابط الثنائية والثلاثية، يمكن شرحها على أساس أنهم استعملوها حديثا في الكيمياء العضوية خلال شرح الفاعلية. وبالتالي هذا لا يتطلب منهم مجهودا كبيرا لاسترجاع هذه المفاهيم. اما صعوبات التحصيل المتعلقة بالنموذج الكوانتي فقد تمثلت أساسا في عدم قدرتهم على الترجمة الصحيحة، للروابط (البسيطة، المزدوجة والثلاثية، في صيغ لويس) باستخدام مفاهيم نموذج الكم (أوربيتال ذري، أوربيتال جزيئي σ و π ، الخ.). إن أساس هذه الصعوبات يكمن في عدم التحكم في مفهوم التهجين، مصحوبا بعدم التمكن من مفاهيم الاوربيتالات الذرية والجزيئية. هذه الصعوبات أدت إلى ظهور بعض اللبس تمثل في الخلط بين تشكل الأوربيتالات (الأفلاك) الذرية المهجنة $OA sp^n$ على نفس الذرة (s, p) وتشكل الأوربيتالات الجزيئية σ, π, OM المؤدية الى تكوين الروابط بين الذرات حسب LCAO. لقد لاحظنا عند البعض منهم، نفس التصور المشاهد في نموذج لويس، تمثل في أن الروابط الثنائية والثلاثية هي بالنسبة لهم كيانات غير قابلة للفصل ($\sigma + \pi$) ($\sigma + 2\pi$)، وليست رابطتين (2) أو ثلاث (3) روابط بطبيعة مختلفة. هذا الالتباس ناتج بصفة كبيرة عن عدم استيعابهم لمفهوم التهجين وكيفية مساهمته في تشكيل الروابط. إن عدم الاستطاعة على ربط طبيعة (σ et π) OM مع الاوربيتالات OA الداخلة في التداخل، أخذا بعين الاعتبار حالات التهجين لذرات الكربون المعنية وصعوبة تعيين طبيعة وعدد الروابط البسيطة و/أو المضاعفة في الإيثيلين والأسيتلين، تبين صعوبات تحصيل مفاهيم OA و OM ونوع من عدم استيعاب مفهوم الرابطة التكافؤية.

ختاما يمكن القول بأن التحصيل المفاهيمي المنشود الذي يؤدي إلى اكتساب معارف يمكن وصفها بـ "النظرية" لم يحدث عند غالبية الطلبة. لقد تحصلوا فقط على بعض المعارف التي يمكن أن توصف بأنها "إجرائية" بالنسبة لمختلف نماذج الرابطة التساهمية. **الإقتراحات:** يتميز مفهوم الرابطة التكافؤية بشبكة تضم عددا كبيرا من المفاهيم المبهمة لنموذجي لويس والكوانتي والتي يمكن أن تعطي تمثيلات مختلفة. لتحسين التحصيل المفاهيمي، ينبغي على الأساتذة أن يفرقوا بوضوح خلال تدريسهم، بين مختلف عناصر النموذجين المدرسة. يجب التركيز من جهة ثانية، على المعنى المعطى للنموذج مع الشرح الدقيق لطبيعة المفاهيم المعنية حتى نجنب سقوط الطلبة في التعلم الميكانيكي والسطحي. الشيء الذي يتطلب تشجيعهم على التفكير في الروابط والعلاقات الموجودة بين مختلف المفاهيم والقيام في آن واحد بالتمييز بين النموذجين. للوصول إلى مثل هذا الهدف، يقترح (Frailich et al, 2007) استعمال الأدوات التوضيحية (التقنيات الحديثة) مقرونة بتعلم تشاركي.

5. قائمة المراجع

- Agrebi, S. (2004). Les mécanismes en chimie organique. Thèse de doctorat, Université Lyon 2.
- Barker, V. E., & Millar, R. (2000). Students' Reasoning about basic chemical thermodynamics and chemical bonding: What Changes Occur During a Context-based Post-16 chemistry course? *International Journal of Science*.
- Barlet, R., & Plouin, D. (1997). La dualité microscopique- macroscopique un obstacle sous jacent aux difficultés en chimie dans l'enseignement universitaire. pp. 143-174.
- Bhattacharyya, G., & Bodner, G. (2005). It gets me to the product: how students propose organic mechanisms. *Journal of Chemical Education*, pp. 1402-1407.
- Bucat, B., & Mocerino, M. (2009). Learning at the sub-micro level: Structural representations. In J. K. Gilbert & D. Treagust (Eds), *Multiple representations in chemical education: Models and modeling in science education*, 4, 11–29.
- Cokelez, A., & Dumon, A. (2005). La liaison chimique : du savoir de référence au savoir appris au lycée. *Bulletin de l'Union des Physiciens*.
- Dumon, A., & Sauvatre, H. (1995). Comment les étudiants s'approprient-ils le modèle quantique de la liaison chimique ? *L'Actualité Chimique*, 4, 13-22.
- Ferguson, R., & Bodner, G. (2008). Making sense of the arrow-pushing formalism among chemistry majors enrolled in organic chemistry. *Chemical Education Research and Practice*, 9, 102–113.
- Frailich, M., Kesner, M., & Hostein, A. (2007). The influence of web-based chemistry learning on students' perceptions, attitudes and achievements. *Research in Science and Technological Education*, 179-197.
- Gillespie, R. (1996, July). Bonding without orbitals. *Education. Chemical*, 103-106.

- Gold, M. (1988). Chemical education: an obsession with content . *Journal of Chemical Education* , 65, 780-781.
- Hassan, A., Hill, R., & Reid, N. (2004). Ideas underpinning success in an introductory. Course in organic chemistry. *University Chemistry Education* , 8, 40-50.
- Kuo, M.-T., Jones, L., Pulos, S. M., & Hyslop, R. M. (2004). The relationship of molecular representations, complexity, and orientation to the difficulty of stereochemistry problems. *The Chemical Educator* , 9, (5), 321-327.
- Laszlo, P. (2002). Describing reactivity with structural formulas, or when push comes to shove. *Chemistry Education Research and Practice* , 3, 113-118.
- Nakiboglu, C. (2003). Instructional misconceptions of turkish prospective chemistry teachers about atomic orbitals and hybridization . *Chemistry Education Research and Practice* , 4, 2, 171-188.
- Papaphotis, G., & Tsaparlis, G. (2008). Conceptual versus algorithmic learning in high school chemistry: the case of basic quantum chemical concepts. Part 1. Statistical analysis of a quantitative study. *Chemistry Education* , 9, 323- Research and Practice 3.
- Rivera- Huizar, A. (1997). *Etude didactique et épistémologique de l'enseignement expérimental de la chimie organique*, Thèse. Grenoble: Université Joseph Fourier.
- Robert, A., & Bouillaguet, A. (2002). *L'analyse de contenu (2e édition)*. PUF : Paris.
- Rushton, G., Hardy, R., Gwaltney, K., & Lewis. (2008). Alternative conceptions of organic chemistry topics among fourth year chemistry students. *Chemistry Education Research and Practice* , 9, 122-130.
- Shane, J. W., & Bodner, G. M. (2006). General chemistry students' understanding of structure- function realationships. *Chemical Educator* , 11, 1-8.
- Taber, K. (2001). Building the structural concepts of chemistry: some consideration from educational research . *Chemical Education Research and Practice in Europe* , 2, 123-158.
- Taber, K. (2002b). Compounding quanta: probing the frontiers of student understanding of molecular orbitals. *Chemistry Education Research and Practice* , 3, 159-173.
- Taber, K. (2002a). Conceptualizing quanta: illuminating the ground state of student understanding of atomic orbitals. *Chemistry Education Research and Practice* , 3, 145-158.
- Taber, K. S. (2005). Learning quanta: barriers to stimulating transitions in student understanding of orbital ideas. *Science Education* , 89, 1, 94-116.
- Tan, K. D., & Treagust, D. (1999). Evaluating students' understanding of chemical Bonding. *School Science Review* , 81, 294, 75-83.
- Treagust, D. F. (2004). Students' Understanding of the Descriptive and predictive Nature of teaching Models in Organic Chemistry . *Research in Science Education* , 34, 1-20.
- Tsaparlis, G. (1997). Atomic orbitals, molecular orbitals and related concepts: conceptual difficulties among chemistry students . *Research in Science Education* , 27 , 271-287.
- Tsaparlis, G., & Papaphotis, G. (2002). Quantum-chemical concepts: are they suitable for secondary students? . *Chemistry Education Research and Practice* , 3, 2, 129-144.

- Tsaparlis, G., & Papaphotis, G. (2002). Quantum-chemical concepts: are they suitable for secondary students? *Chemistry Education Research and Practice* , 3, 2, 129-144.
- Tsaparlis, G., & Papaphotis, G. (2002). Quantum-chemical concepts: are they suitable for secondary students? *Chemistry Education Research and Practice*. 129-144.
- Tsaparlis, G., & Papaphotis, G. (2002). Quantum-chemical concepts: are they suitable for secondary students? *Chemistry Education Research and Practice* , 3, 2, 129-144.
- Zoller, U. (1990). Students' misunderstandings and misconceptions in college freshman chemistry (General and Organic). *Journal of Research in Science Teaching* , 27, 10, 883-903.