

مجلة



العلوم و التكنولوجيا

العدد الثالث
2021

مجلة علمية تكنولوجياية محكمة نصف سنوية
تصدر عن المجلس الأعلى للغة العربية بالجزائر

المجلة العلمية و التكنولوجيا

مجلة العلوم و التكنولوجيا

العدد الثالث 2021



Journal of science and technology

Semestrial Journal of Science and Technology Published
by the High Council of the Arabic Language, Algeria

number
three
2021



المجلة العلمية و التكنولوجيا

العدد الثالث 2021

العدد الثالث 2021

العدد الثالث 2021

العدد الثالث 2021

العدد الثالث 2021

مجلة العلوم والتكنولوجيا

مجلة علمية تكنولوجية بحثية محكمة نصف سنوية

تصدر عن المجلس الأعلى للغة العربية بالجزائر

العدد الثالث 2021

الإيداع القانوني

ر.د.م.م

12-19

2716-7674

مسؤول النّشر

أ.د. صالح بلعيد، رئيس المجلس الأعلى للغة العربيّة

رئيس التّحرير

أ.د. إسماعيل رويّنة

نائب رئيس التّحرير

أ.د. عقبة كزار

مدير التّحرير

أ. حسن بهلول

أمين التّحرير

أ. أمال روايح

المسؤولة التّغنيّة للمجلة

أ. نورة مراح

هيئة التحرير

الفيزياء:

- 1-أ.د. عبد الرحمان غزال: كلية العلوم جامع هواري بومدين للعلوم والتكنولوجيا –باب الزوار-جرائر.
- 2-أ.د. كمال بداري كلية العلوم جامعة المسيلة. الجرائر.
- 3-أ.د. علاء الدين بهجت كلية العلوم جامعة الأزهر –مصر-
- 4-أ.د. شالة عبد الواحد كلية العلوم جامعة بسكرة. الجرائر.
- 5-د. مصطفى أولداش مدرسة العليا للأساتذة –القبّة-الجرائر.
- 6-د. رايح لاج مدرسة العليا للأساتذة –القبّة-الجرائر.

بيولوجيا:

- 1-أ.د. أحمد رفعت عزت: كلية العلوم جامعة عين الشمس –القاهرة-
- 2-أ.د. خنوف الصديق كلية العلوم جامعة سطيف –الجرائر-
- 3-أ.د. عبد الرحمان بوعيان كلية العلوم جامعة سطيف –الجرائر-
- 4-أ.د. قريشي لعلاوي كلية العلوم جامعة قسنطينة. الجرائر.
- 5-أ.د. أحمد عبد الوهاب عبد الحافظ كلية الزراعة جامعة عين شمس. القاهرة.
- 5-أ.د. عبد النور شريف كلية العلوم عنابة. الجرائر.
- 6-أ.د. الطاهر حليلات كلية العلوم جامعة ورقلة. الجرائر.
- 7-أ.د. نور الدين بوراس؛ جامعة غرداية. الجرائر. الجرائر.
- 8-د. مروش ربيعة –المدرسة العليا للأساتذة القبّة. الجرائر.
- 9-د. محمد محديد المدرسة العليا للأساتذة القبّة. الجرائر.

كيمياء:

- 1-أ.د. أبو بكر الناجمي – المدرسة العليا للأساتذة القبة. الجزائر.
- 2-أ.د. أيمن أحمد بوطرفاية كلية العلوم جامعة بسكرة. الجزائر.
- 3-أ.د. جلّول بلحادي – جامعة هواري بومدين للعلوم والتكنولوجيا -باب الزوار-الجزائر.
- 4-أ.د. محمد الأمين فرحات مدرسة العليا للأساتذة القبة. الجزائر.
- 5-أ.د. عبد العالي غربية جامعة الأغواط. الجزائر.

جيولوجيا:

- 1-أ.د. حافظ شمس الدين كلية العلوم جامعة عين الشمس-القاهرة-مصر.
- 2-أ.د. عبد الحميد صديقي كلية العلوم -وهران-الجزائر.
- 3-أ.د. حسيني مسعود كلية الجيولوجيا والمحروقات والطاقة المتجددة وعلوم الأرض والكون ورقلة. الجزائر.
- 4-أ.د. زهير عجريد المدرسة العليا للأساتذة – القبة-الجزائر.
- 5-أ.د. فاتن بن مرزوق بشيري المدرسة العليا للأساتذة – القبة-الجزائر.

تكنولوجيا:

- 1-أ.د. نور الدين عبد الباقي كلية العلوم أكلي محند أولحاج –البويرة-الجزائر.
- 2-أ.د. سعيد كنائي كلية العلوم جامعة سعد الله دحلب -البليدة – الجزائر.
- 3-أ.د. محمد يونس الحمالوي مصر الأزهر.
- 4-أ.د. شوقي محمود سليم؛ كلية الزراعة جامعة عين الشمس-القاهرة. مصر.
- 5-أ.د. عبد الله هلال هيئة الطاقة الذرية – مصر.
- 6-أ.د. صلاح عوبية صبري رئيس مدينة الزويل العلمية القاهرة –مصر.

رياضيات

- 1-أ.د. سعد الله المدرسة العليا للأساتذة – القبة-الجزائر.
- 2-أ.د. محمد سعيد مولاي جامعة هواري بومدين للعلوم والتكنولوجيا -باب الزوار-الجزائر.

3-أ.د. نبيل خلف الله كلية العلوم جامعة التكنولوجيا جامعة بسكرة. الجزائر.

4-أ.د. الصادق بورويي كلية الرياضيات جامعة باب الزوار. الجزائر.

إعلام ألي

1-أ.د. عقبة كزار كلية العلوم محمد خيضر-بسكرة-الجزائر.

2-أ.د. محمد طيب العسكري كلية العلوم جامعة عنابة. الجزائر.

3-أ.د. عبد الحق بوبترة كلية العلوم جامعة البرج. الجزائر.

4-أ.د. محمد الأمين خرفي كلية التكنولوجيات جامعة ورقلة. الجزائر.

5-أ.د. أمين عبد المالك كلية العلوم جامعة سعيدة. الجزائر.

6-أ.د. عبد الكريم حرز الله جامعة المسيلة كلية العلوم. الجزائر.

7-أ.د. سهام حاكم قصد علي المدرسة العليا للأساتذة – القبة-. الجزائر.

شروط النّشر

- تخضع المدخلات للتّحكيم وفقاً للشّروط الآتية:
- 1- تكون البحوث في ميادين العلوم والتّكنولوجيا.
 - 2- لغة النّشر بالعربيّة.
 - 3- تكون البحوث أصيلة ولم يسبق نشرها.
 - 4- تخضع البحوث للمنهجيّة العلميّة الأكاديميّة المعمول بها في المجالات العلميّة العالميّة، في هذه الميادين وفق الطّريقة الآتية:
- أ- الملخّص (Abstract)
 - ب- المدخل Introduction
 - ج- الوسائل والطّرق Materials and methods
 - د- النّتائج Results
 - هـ- المناقشة Discussion
 - و- الخلاصة Conclusion
 - ي- قائمة المراجع References
- 5- تثبيث المراجع والإسناد حسب APA
 - 6- يلتزم صاحب البحث بالتّعديل في الأجل المحدّدة، في حالة ما إذا طُلب منه ذلك.
 - 7- أن تكتب بخطّ simplified بنط 14، وبنظام (وورد).
 - 8- أن تكتب الهوامش آلياً بنفس الخطّ بنط 12. في آخر المداخلة.
 - 9- أن يكتب المقال على مقاس 16./24
 - 10- أن تكون المرجعيّات الكتابيّة: 2 سم أعلى الصّفحة، 2 أسفل الصّفحة، 2 يمين الصّفحة، 2 يسار الصّفحة.
 - 11- المقالات غير المقبولة لا تعاد إلى أصحابها.
 - 12- يكون الملخّص باللغة العربيّة وبإحدى اللغتين: الإنجليزيّة أو الفرنسيّة.
- ملاحظة: ترسل المقالة بنظام وورد/ word باسم رئيس التّحرير.

للاتّصال بالمجلّة

- البريد الإلكتروني: ouloumwatechnolougia@gmail.com

- النّاسوخ: 021 23 07 22

- النّقّال: 05 59 93 74 84

الفهرس

الصفحة	المؤلف	عنوان المقال
10-9	أ.د. إسماعيل روينه	كلمة رئيس التحرير
32-13	د. مهدي بن بتقة	دراسة مقارنة بين مفهومي الحرارة ودرجة الحرارة
46-33	ثريا قماز، لخميسي عرعار، عبد الرحمان بغياني	النشاطية المضادة للأكسدة لمستخلصين ميثانولين لنبات <i>Alkanna tinctoria L.</i>
52-47	أ.عبد الكريم كاملي	المعلوماتية الحيوية في تدريس العلوم الطبيعية
68-53	حزي صالح مجاجي حمزة	دراسة تقويمية لتحصيل مفاهيم الكيمياء الفضائية عند طلبة المدرسة العليا للأساتذة بالقبة- الجزائر
98-69	فاتن بشري-بن مرزوق ، مقدم سارة، رقية خلوي، عبلة عزوني، جون-بول ليجوا، برنار بونا، حميد بشري	كتلة سيلات (الهقار الغربي، الجزائر): إقليم من الأراضي الدخيلة دراسة جيولوجية وجيوكيميائية والتأريخ المطلق لبعض الباتوليتات من نمط (TTG) والمركبات الغرانيتية متأخرة النشأة (A- (type
108-99	أيوب حاجب ، محمد الصغير مهاوة ، محمد. العيد واكيد	اختبارات المكافحة البيولوجية بواسطة سبينوساد (مبيد حشري بيولوجي) ضد سوسة التمر <i>Ectomyelois ceratonia</i> في ظل ظروف خاضعة للرقابة

120-109	إبراهيم لجدل، غريسي نورالدين، عقبة كزار، أحمد قريشي	تحليل مشاعر رواد الشبكات الاجتماعيّة التي تستخدم اللهجة الجزائريّة
136-121	بورغدة عبد الوهاب، رزقي حياة، شوتري عبد العزيز	طريقة لحساب الأمواج الموجهة في ألياف بصرية غير دائرية المقطع في حالة التوجيه الضعيف
152-137	مختاري فارس	T-test ومسائل ناقصية ذات أسس متغيرة بمعطى قياس

كلمة رئيس التحرير

أ.د. إسماعيل روينه

ب - الوصول بها إلى التصنيف في واحد من المستويات (A.B.C) للمجلات الوطنية المعتمدة من طرف المجلس العلمي لتصنيف المجلات الجامعية الوطنية التابعة للمديرية العامة للبحث العلمي والتطوير التكنولوجي سابقة الذكر، وكذلك الاجتهاد في حصولها على معامل التأثير العربي arabic impact factor الذي يقع تحت وصاية اتحاد الجامعات العربية.

ج - الاجتهاد في الوصول بها إلى الشروط المطلوبة في التصنيف العالمي والحصول على معامل التأثير impact factor وهو مقياس لأهمية المجلات العلمية ضمن مجال تخصصها تعتمد قواعد البيانات مثل قاعدة بيانات Scopus العالمية.

د- توسع مجالات المجلة لتمتد إلى شعب وتخصصات وتطبيقات ميادينها مثل الطب والزراعة، مما يتطلب نشر أكثر من مقال واحد في الميدان، وقد يصل الأمر إلى تخصص حجم بكامله لكل ميدان في مستقبل الأيام عندما تتوفر الإمكانيات.

إنّ الغاية من العمل على تحقيق هذه الأهداف هو الوصول بالمجلة إلى قبولها لمناقشة الدكتوراه والتأهيل الجامعي والترقية إلى رتبة أستاذ التعليم العالي وفي أمور بحثية أخرى، خدمة للناشرين في المجلة وخدمة للغة العربية ذاتها، باعتبارها جزء من كياننا، وبذلك يصبح التمكن لها في مختلف الميادين العلمية والتكنولوجيا وغيرها ضرورة ملحة. وإذا كنّا

بعد أعدادها: التجريبي، الأول، والثاني ها هي مجلة العلوم والتكنولوجيا تطالعنا بعددها الثالث متوجا ببعض التحسينات التي أوصت بها هيئة التحرير، يمكن ذكرها فيما يلي:

1-الانتهاء من كلّ مراحل التسجيل في البوابة الجزائرية للمجلات العلمية ASJP التي تدار من طرف المديرية العامة للبحث العلمي والتطوير التكنولوجي بوزارة التعليم العالي والبحث العلمي، وأصبح بالإمكان الاطلاع عليها بسهولة بكتابة اسمها "مجلة العلوم والتكنولوجيا" في واحد من محركات البحث.

2 - اعتماد العمودين في المقالات المنشورة بها بدلا من اعتماد العمود الواحد المعتمدة في الأعداد السابقة.

3 - اعتماد هيئتي تحرير وتحكيم مستقلة لكلّ ميدان، على أساس أنّ كلّ ميدان يتضمن شعبا وتخصصات مختلفة، مع تدعيم الهيئتين بأعضاء جدد من ذوي الكفاءات العالية من الجزائر وخارجها.

وللتذكير فإنّ النقطة الأولى المتعلقة بتسجيلها في البوابة الجزائرية للمجلات العلمية ASJP كانت من الأهداف التي تعهدنا بالعمل على تحقيقها منذ صدور العدد التجريبي للمجلة وهي:

أ - الوصول بهذه المجلة إلى التسجيل في البوابة الجزائرية للمجلات العلمية ASJP.

قد حققنا الهدف الأول وهو التسجيل في ASJP فإننا عاقدو العزم بإذن الله على مواصلة المشوار لبلوغ الغاية المنشودة مهما كانت الصعوبات التي تجابه أي عمل جاد مثل التمكن للغة العربية في مجالات العلوم والتكنولوجيا لطبيعة هذه المجالات، وهو العمل الذي يتطلب الصبر والإخلاص والجديّة للارتقاء إلى النوعيّة في الإنجاز لتأكيد جدارة هذه اللغة في مسيرة التطور في ميادين العلوم والتقانات الحديثة.

وبناءً على ذلك يجدر التذكير بالساعة التي صُنعت في عهد هارون الرشيد حيث كانت العربية هي قاطرة لكل العلوم والفنون وقد كانت هذه الساعة متضمّنة مبادئ الاعلام الآلي ممّا جعل ملك فرنسا آنذاك يُعجب بها عندما قدّمت له كهديّة غير أنّ الكهنة اعتبروها سحراً ووصفوها بأنّها مسكونة بالجنّ وكسروها. وجاءت بعدها ساعة الفيل التي كانت أكثر تطوّر من الأولى حيث تضمّنت مبادئ الروبوتيك والدّكاء الاصطناعي. وبهذا تكون العربية لغة التقانات (التكنولوجيات) الحديثة بجدارة وصاحبة السبق فيها.

وإذا كانت وسائل النقل تحتاج إلى محرّك لتتحرك، فإنّ محرّك اللغة، هو الإرادة الصادقة والإخلاص في تمكينها بمختلف الميادين للمشاركة في إنجاز المشاريع الحضاريّة العالميّة، وتوفير إمكانات تحقيق ذلك، أمّا هي فجاهزة بكلّ جدارة نظراً لخصائصها المميّزة، بعيداً عن أيّة تبعيّة لغويّة كما يتوهّم البعض. وفي هذا السياق تجدر الإشارة إلى التّزايد الّآلاف للنظر في تعداد العلميّين الغيورين على اللغة العربيّة والحريصين على التّمكن لها في كل الميادين بمختلف رتبهم الجامعيّة في الجزائر أو خارجها بجانب أمثالهم من علماء هذه اللغة ذاتها، وهو ما يسرّ ويبشّر بمستقبل هذه المجلّة وغيرها من الإنجازات العلميّة والتكنولوجيّة، إذا توافرت الظروف الملائمة لذلك طبعاً.

وفي الختام لا يسعني إلّا أن أهيب بكلّ الإخوة الذين أسهموا في إنجاز هذا العمل العلمي الجادّ الذي نعمل على تحسينه واستمراره، سواء كانوا من المجلس أم من هيئات التحرير التّحكيّم، الكتاب وكلّ المهتمّين بالتمكين لهذه اللغة أينما وجدوا في الجزائر أو خارجها. فأقدّم لهم جميعاً خالص الشّكر والتّقدير وأطلب منهم المزيد من كلّ ما يفيد المجلّة.

رئيس التحرير

أ.د. إسماعيل رويّة

المقالات



دراسة مقارنة بين مفهومي الحرارة ودرجة الحرارة

د. مهدي بن بتقه

المدرسة العليا للأساتذة القبة

تاريخ الارسال: 11 ديسمبر 2020 / تاريخ القبول: 19 ماي 2021

الملخص (Abstract)

يهدف هذا البحث إلى دراسة مقارنة بين مفهومي الحرارة ودرجة الحرارة، والتعرف على التطور العلمي والعلمياتي (الإبستمولوجي) لهذين المفهومين، وارتباط مفهوم الحرارة بتطور التطبيقات الفيزيائية والتقنية لمفهوم درجة الحرارة حيث سيتم التطرق في المقام الأول إلى النظرية المادية (الفلوجستيك والكالوريك) والنظرية الحركية التي ظهرت مع ظهور الفيزياء الحرارية؛ حيث تم تناول مفهوم الحرارة كشكل

من أشكال الطاقة، ومفهوم درجة الحرارة كمقياس للاضطراب الحراري وحركة الجزيئات داخل المادة. وفي الجزء الثاني نهتم بالمشاكل التعليمية التي يطرحها مفهوما الحرارة ودرجة الحرارة من المنظور الفيزيائي، ولكن مع الأخذ بعين الاعتبار مختلف مكونات مجال الظواهر الحرارية الأساسية والتطبيقية.

الكلمات المفتاحية: التطور العلمي العلمياتي
مفهوم الحرارة، مفهوم درجة الحرارة

Une étude comparative des deux concepts chaleur et température

Résumé:

L'objectif de cette recherche est d'étudier la comparaison entre les deux concepts ; chaleur et température et d'identifier le développement scientifique et épistémologique de ces deux

concepts et la relation du concept chaleur avec le développement des applications physiques et techniques du concept température, en abordant premièrement la théorie de la matière (phlogistique et calorique) et la théorie cinétique

apparues avec l'apparition de la physique thermique, où le concept chaleur a été traité comme une forme d'énergie des molécules dans la matière. Dans la deuxième partie, nous nous intéressons aux problèmes didactiques posés par les concepts chaleur et température du point de vue physique, mais en tenant compte des

différentes composantes du domaine des phénomènes thermiques fondamentaux et appliqués.

Mots clés : Développement scientifique et épistémologique, chaleur, température

Eine vergleichende Studie der Konzepte von Wärme und Temperatur

Zusammenfassung:

Das Ziel dieser Studie ist es, einen Vergleich zwischen den Konzepten von Wärme und Temperatur zu untersuchen und die Erkenntnistheoretisch-wissenschaftliche Entwicklung dieser beiden Konzepte sowie die Verknüpfung des Konzepts der Wärme mit der Entwicklung der physikalischen und technischen Anwendungen des Temperaturkonzepts zu identifizieren. Es wird in erster Linie zur physikalischen Theorie (phlogistisch und kalorisch) und kinetischen Theorie, die mit dem Aufkommen der thermischen Physik aufkam, Wo das Konzept der Wärme als Energieform

angesprochen wurde und das Konzept der Temperatur als Maß für thermische Turbulenzen und die Bewegung von Teilchen innerhalb der Materie. Im zweiten Teil beschäftigen wir uns mit den didaktischen Problemen, die die Konzepte von Wärme und Temperatur aus physikalischer Sicht aufwerfen, jedoch unter Berücksichtigung der verschiedenen Komponenten des Feldes grundlegender und angewandter thermischer Phänomene.

Schlüsselwörter: Erkenntnistheoretische wissenschaftliche Entwicklung, Wärme, Temperatur.

A comparative Study of the two concepts heat and temperature

Summary:

The objective of this research is to study the comparison between the two concepts; heat and temperature and to identify the scientific and epistemological development of these two concepts and the relationship of the concept of heat with the development of physical and

technical applications of the concept of temperature, by first approaching the theory of matter (phlogiston and caloric) and the kinetic theory which appeared with the advent of thermal physics, where the concept of heat was treated as a form of energy of molecules in matter. In the second part, we are interested

in the didactic problems posed by the concepts of heat and temperature from a physical point of view, but taking into account the different components of the

domain of fundamental and applied thermal phenomena.

Keywords: Scientific and epistemological development, heat, temperature

الأساسي للنظريتين، المادية والحركية للحرارة، في هذه المراحل.

1. تطوّر مفهومي الحرارة ودرجة الحرارة

1.1. النظرية المادية والنظرية الحركية للحرارة:

يوجد عند معظم العلماء منذ القدم الفرق بين مفهومي الحرارة ودرجة الحرارة، ولكنهم لم يتحدثوا على الإطلاق، بأن لكلّ منها صفة خاصة بها إلا أن أرسطو حاول أن يربط العناصر الأساسية بما يقابلها في الكون، وعلى هذا الأساس بنى تصوّره حول الكون، فنسب الحرارة إلى النار والأرض إلى الجفاف، والماء إلى البرودة، والهواء إلى الرطوبة وقدّم المادة بأنها عبارة عن عنصر شفاف ورقيق ولقد دقق في تعريف العناصر الأربعة والبحث في مفهومها وعلاقتها بالعناصر الأربعة (الحرارة والبرودة والرطوبة والجفاف) وتعتبر بالنسبة إليه جميع المواد، خلائط بنسب متفاوتة من هذه العناصر الأربعة، وبالتالي الساخنة والباردة.

قال أرسطو، كما ذكرت أقابرا جاكين (Agabra, Jacqueline) "المادة لها أربع صفات أساسية ومتعاكسة: البرودة والسخونة، والرطوبة والجفاف واستخلص أربعة أزواج من الصفات الممكنة واستثنى في ذلك، الأزواج المتعاكسة والتي تُكوّن العناصر الأربعة: النار، الماء، الأرض، الهواء؛ بحيث يناسب كل عنصر مزدوجة:

المدخل (Introduction)

نريد في هذا البحث أن نتطرق إلى دراسة مقارنة بين مفهومي الحرارة ودرجة الحرارة والتعرف على التطوّر العلمي والعلمياتي (الإبستمولوجي) لهذين المفهومين وارتباط مفهوم الحرارة بتطوّر التطبيقات الفيزيائية والتقنية لمفهوم درجة الحرارة، كما نتناول الصعوبات ذات المظهر الفيزيائي والتعليمي، التي رافقت بناء مفهوم الحرارة على وجه الخصوص على أمل، أن يساعدنا هذا على فهم أفضل للوضع المزوج لمفهوم الحرارة بمظهره الكالوري والطاقي ولا يمكن اختزال مفهوم الحرارة في الصراع الموجود بين النظريات المادية والنظريات الميكانيكية. لذلك يبدو لنا في البداية، أنه لابد من التمييز بين المفاهيم الآتية: الحرارة ودرجة الحرارة، وكمية الحرارة والنظرية الميكانيكية، التي لم تكن فعالة للوصول إلى معرفة معامل التكافؤ بين الحرارة والعمل، نظرا لعدم تمكن هذه النظريات، والدعم التجريبي في تلك المرحلة التي أعلن فيها القانون الأول للديناميكا الحرارية، على الوصف الكيفي والكمي للتفاعلات على المستوى المجهرى (Joule 1843-1850) على الرغم من أن تأسيس هذه النظرية في هذه المرحلة كان ضروريا، وما سنتعرض إليه في هذه الدراسة ليس هو تاريخ بناء مفهوم الحرارة والمفاهيم ذات الصلة بها؛ ولكن نريد فقط، أن نبين المراحل التي مرّ بها هذا المفهوم والدور

بما أن الحرارة والبرودة، لهما طابع مادي، فلا بد إذن أن ينسب إليهما (يرفق بهما) مفهوم الثقل واستمرت فكرة خلط هاتين المادتين إلى القرن الثامن عشر^{١٧٨٨}.

قد سبق لأفلاطون أن تصوّر الحرارة، على شكل نار، ككيان منفصل عن درجة الحرارة كما ذكر ذلك زيمرمان (Zimmerman, M.-L) "إن النار التي تنطلق من نفسها، لا هي حارقة ولا مضيئة، تخترق الجسم تضع الجسيمات في حركة، وتفصلها عن بعضها البعض، وإذا تمت إزالة النار، يبرد الجسم والهواء الذي يحل محل النار، يضغط مرة أخرى على الجسيمات، ويرافق التسخين التمدد". (زيمرمان 1990، ص. 29).

تطوّرت النظريات الميكانيكية للحرارة بالتوازي مع النظرية المادية، وتعايشت معها لفترة طويلة، حتى ظهور النظرية الحركية لبولتزمان (Ludwig Eduard Boltzmann, 1844-1906) وأتباعه في حوالي 1870م. وقد بدا للبعض من خلال تاريخ الحرارة وكأنها معركة بين النظريتين؛ حيث كانت فيها النظرية المادية خاطئة، وخرجت في الأخير شبه منهزمة. وعلى هذا الأساس أصر هالbfاكس (Halbwachs) على أن هذه "النظريات في حد ذاتها بسيطة وخاطئة، لأنها في الحقيقة ليست على نفس المستوى؛ كما أنها لا تتكلم على نفس الشيء" (أقابرا، 1985، ص. 3).

تتضمن النظرية المادية، مادة تتعلق بالكمية أو القيمة وهي محفوظة ومضافة، وتوحي أنها، تحمل معها مفهوم "كمية الحرارة" في التبادلات الحرارية وبالتالي تسمح ببناء المفهوم عمليا، وتكوين العلاقات.

-النار:الحرارة-الجفاف؛

-الماء:البرودة-الرطوبة؛

-الأرض: البرودة. الجفاف؛

- الهواء: الرطوبة. الحرارة. (أقابرا، 1985، ص. 2).

لكن مع وجود التمييز بين صفات المادة والمادة في حد ذاتها؛ حيث تعتبر الحرارة والبرودة صفتين متعاكستين للمادة وليست درجة "الحرارة"، ولا حتى مادية، وعند لوكريس (Lucrece)، فهو يتحدث عن مادتين متميزتين الحرارة الآتية من الشمس والبرودة الآتية من الأنهار.

ابتداء من القرن السابع الميلادي ازدهرت العلوم مع ظهور الحضارة الإسلامية التي أملت بكل العلوم التي سبقتها وأخذت منها أقوم ما فيها من العلوم وأعادت صياغتها ونشرها، وقد أسهم العلماء المسلمين في هذه الفترة في تعريف العناصر الأربعة وعلاقتها بالطبائع الأربعة، خاصة إذا علمنا أن هذه الفترة كانت بمثابة النهضة العلمية الحقيقية التي جمعت بين العلوم الفكرية والعقائدية والعلوم الطبيعية بتجارها وبحوثها المخبرية مع ظهور "نشأة المنهج التجريبي مع الحسن ابن الهيثم وعبد الرحمن الخازني" (فيلير، Willer، 1990، ص. 65).

فمثلا ورد مفهوم الحرارة والبرودة في "كتاب التعريفات" للجرجاني كما يلي:

- الحرارة: "كيفية من شأنها تفريق المختلفات وجمع المتشاكلات" (الجرجاني، 1985، ص. 96)؛

- البرودة: "كيفية من شأنها تفريق المتشاكلات وجمع المختلفات" (الجرجاني، 1985، ص. 51).

ومن الناحية التاريخية، وبدون شك أيضا حتى من الناحية التربوية، لربما، كان هذا هو الأنسب لبناء الفكرة حول الفرق والتمييز بين الحرارة ودرجة الحرارة، حتى وإن كان هذا يومها ليس بحاجة إلى معرفة أي شيء عن الطبيعة الحقيقية للحرارة.

لقد قدم هالباكس (Halbwachs) تحليلا لهذا البناء التاريخي، الذي كان مرجعا لكثير من الباحثين في تاريخ الحرارة أو حتى في تعليمية العلوم الفيزيائية. ولذلك مازال إلى يومنا هذا، يُنظر إلى الحرارة دوما بمظهرها المزدوج: الكالوري والطاقوي.

1- المظهر الكالوري، الذي يعتمد على المقاربة التجريبية والتي تتجه على العموم نحو القياسات كما تبحث بصراحة أولا عن الكمية (القيمة) المحفوظة.

2- المظهر الطاقوي، الذي يكون أكثر عرضة للبحث عن أسباب جديدة، في إطار النمذجة، التي نحاول من خلالها تحقيق نتائج التجربة.

وقد ترتب على ما سبق وجود توجهين أساسيين يتمثل الأول في أصحاب النظرية المادية، ويتمثل الثاني في أصحاب النظرية الميكانيكية أو الحركية كما تسعى عند البعض.

1.1.1. النظرية المادية:

هي النظرية التي تَرجع إلى العصور القديمة، كما ذكرنا من قبل (أرسطو، لوكريس، أفلاطون) ثم ظهرت في القرن السابع عشر، وكان من أهم أتباعها (جيلبرت / Gilbert)؛ (غاليلي / Galilée)؛ (غاساندي / Gassendi)؛ (بويل / Boyle)؛ حيث تلقت المحتوى العملي من نظرية فلوجيستون في حدود 1720م من طرف (لافوازييه / Lavoisier)، (بيشر / Becher)

و(شتال / Stahl) عند تطبيقها على التفاعلات الكيميائية، وفي هذه السنة أيضا شهدت هذه النظرية، أي نظرية (الكالوري / le calorique) تطورا من طرف (فولف / Wolf). وفي بداية القرن الثامن عشر، كان يُنظر إلى الحرارة، على أنها مائع يوفر إطارا مفاهيميا لتفسير كل الحقائق التجريبية المعروفة في ذلك الوقت، وحتى تسخين قطعة المعدن بالطرق كانت تُفسر انطلاقا من هذه النظرية: "الطرق يسبب تدفق السّعات الحرارية من مسام المعدن، كما يتدفق الماء من قطعة الإسفنج التي من المقرر أن تخضع لنفس المعاملة (المعالجة)" (أقابرا 1985، ص. 3).

حسب نظرية الكالوري السائدة آنذاك فقد كان للمعدن الصلب غير المجوف مقدرة أكبر على استيعاب التدفق (السيل) الحراري الغامض أكثر من البرودة الناتجة عن تجويف المعدن نفسه.

بالرغم من تطوّر المحرار في القرن الثامن عشر بصفة دقيقة بما فيه الكفاية، إلا أنه ما زال يُعتَقَد أن المحرار يحدد كل ما نريده، وكل ما نحتاج إلى معرفته عن الحرارة، وبعبارة أخرى، فإن الحرارة ليست في علاقة مع الجسم الذي تتطوّر فيه، ويكفي وسيط/ عامل واحد لتحديد مميّزاتها. لم يكن عندنا إلا كلمة واحدة "كالور(حرارة)" لوصف وتحديد كل خصائص ظاهرة معقّدة.

2.1.1. النظريات الحركية (الميكانيكية):

تسعى هذه النظريات إلى تفسير السّخونة والبرودة كحالات حرارية للمادة، ويتم تحديد هذه الحالات الحرارية إلى حالات ميكانيكية حركية أو اهتزازية على المستوى المجهرى، وظهرت لأول مرة

وكأنها نظريّة درجة الحرارة؛ كما ظهرت في المذكرة المشتركة بين (لافوازييه /Lavoisier) و(لابلاس / La) Place كوجهة نظر طاقيّة، وأن الحرارة تعين كميّة الحرارة أو هي كميّة الحرارة؛ حيث كان الأوّل (لافوازييه) مع نظريّة الكالوريك (الحراريّة)، رغم أنه اعتبرها دوماً مائعاً، والثاني (لابلاس) مع النّظريّة الحركيّة وكتبها يومها كما ذكر (روسمردوك / Rosmorduc) "مهما يكن على كل حال، لا يمكننا إلا تكوين هاتين النّظريتين عن طبيعة الحرارة، وكما يجب علينا أن نعتز بالمبادئ المشتركة بينهما" (روسمردوك، 1987 ص. 136).

لقد تطوّرت النّظريّة الميكانيكيّة كثيراً وبالخصوص في عصر النّهضة، وقد وصف (هاليفاكس / Halbwachs, 1980) هذه المرحلة في مقاله "تاريخ الحرارة"، بنوع من التّفصيل؛ حيث تكلم عن أهم أتباع هذه النّظريّة، منهم: باكون كيبلير ديكرت، هيقانز... وكان هذا ابتداء من القرن السّابع عشر؛ حيث أُرْجِعَ (باكون/Bacon) السّخونة إلى الحركة الدّاخليّة في المادّة؛ حيث كانت تجاربه مبنية على الاحتكاك بين الأجسام، وبالتالي فسّر الحرارة النّاتجة عن هذا الاحتكاك، على أنها نوع من الحركة وقد وُجِدَ هذا تصوّر أيضاً عند (كيبلير / Kepler) و(ديكرت / Descartes) و(هيقانز / Huygens). وكتب ديكرت حول الحرارة، كما ذكرت ذلك (أقابرا / Agabra)، يقول "إثارة أجزاء صغيرة من أجسام الأرض هي التي تسمى بالحرارة (مهما . تكن إثارتها من قبل أشعة الشّمس أو أي سبب آخر) وعندما تكون أكبر من المعتاد، يمكن أن تحرك أعصاب يدنا بما فيه

الكفايّة لكي نحس؛ لأن مصطلح الحرارة يرتبط باللمس" (أقابرا، 1985 ص. 4).

كما ذُكِرَ عند (أقابرا / Agabra)، فإن هاليفاكس يرى هنا نظريّة درجة الحرارة بدلا من نظريّة الحرارة وهذا قد لا يبدو واضحاً، ويضيف، من جانبنا، نعتقد أنها نظريّة "حرارة الإحساس" التي تتعلق بالطّبع بدرجة الحرارة، وكذلك بالعديد من المقادير (الكمّيات) الفيزيائيّة الأخرى، "درجة الحرارة ما هي إلا واحدة فقط من المتغيّرات المعقدة" ولذلك فالإحساس لا يمكن أن يوفّر، حتى تحديد درجات حرارة بسيطة، عند التّعامل مع الأجسام من موادّ وكتل مختلفة. وبالتالي صيغة نظريّة ديكرت توحى بعدم التّمايز بين مفهومي الحرارة ودرجة الحرارة. وعليه فإنّ النّظريات الميكانيكيّة، لا تزال عاجزة عن ترك المجال الكيفي الوصفي، على الرّغم من أنها كانت الاعتقاد السّائد في الأوساط العلميّة باستمرار في القرن الثامن عشر.

2.1. الانتقال من الكيفي الوصفي إلى الكميّ:

إن الانتقال من الكيف الوصفي إلى الكميّ حسب ما ورد عند (أقابرا / Agabra) هو الذي سمح ببناء المفاهيم كميّاً، ونحن ندرك أخيراً أن التّبريد السّريع للكرات، على سبيل المثال، لا يعتمد فقط على درجة الحرارة والسّطح الخارجيّ للكرات، كما ادعى من قبل نيوتن، ولكن تتعلق أيضاً بالمادّة المكوّنة لها؛ كما أدركنا أخيراً أن كميّة المادّة السّاخنة يجب أن تتدخل دون أن نجزم ما إذا كان هذا يعني حجمها أو كتلتها، وهكذا انطلاقاً من أفكار بسيطة التّركيب عن درجة الحرارة والكتلة يمكن التّمييز بين مفهومي الحرارة ودرجة الحرارة.

في عام 1747، أدرج (ريتشممان / Ritchmann) الجداء: الكتلة في (x) قيمة درجة الحرارة، كقياس "احتياطي الكالوري (السَّعرات الحرارية)" الذي يحتوي عليه الجسم؛ حيث يتفق مع مبدأ الجمع الذي يستند على مبدأ عدم تَلَفِيَّة الحرارة (مبدأ الانحفاظ).

على الرَّغم، من أن الظاهرة الكاملة للتبادل الحراري، لم تكن بعد مفهومة بشكل واضح، حتى يتمكن العلماء يومها من توضيح الدَّور المحدد للمادة ولذلك بين (لمبرت / Lambert) بوضوح بأن "جسمين متساويي الكتلة، ولكن من مادتين مختلفين، يتأثران بشكل مختلف لنفس الكميَّة من الحرارة." وفيما بعد وضع بلاك (Black, 1760) مفهوم الحرارة النوعية: وأقر بأن "الزئبق لديه أقل سعة للمواد الحرارية (الكالوري) من الماء، ويحتاج إلى كميَّة أقل من الحرارة لرفع درجة حرارة بعدد متساو من الدَّرجات"، أما فيما يتعلق بالمفهوم الحالي للحرارة في التَّغيرات الحالة، فهي تمثل صعوبات كبيرة؛ حيث، كيف يمكن أن نتصوَّر، بأن الارتفاع في درجات الحرارة يتوقف في اللحظة التي تكون فيها الحرارة أكثر إثارة؟

كما يرجع الفضل أيضا، إلى (بلاك / Black, Joseph) في إدخال مفهوم الحرارة الكامنة، وهذا يعتبر تحدي لكل الأفكار التي كانت لدى جميع الفيزيائيين في ذلك الوقت. وكتب (بلاك / Black) حسب (روسمرودوك / Rosmorduc, Jean)، عن ظاهرة الانصهار، يقول: "يحدث الانصهار على العموم، عن طريق امتصاص كميَّة صغيرة من الحرارة من جسم صلب بعد أن تم تسخينه إلى درجة الانصهار والرجوع إلى الحالة السائلة يحدث بنقصان طفيف جدا في

كميَّة الحرارة، بعد أن تم تبريد هذا الجسم بنفس الدَّرجة... وكان يُعْتَقَد أن هذه الإضافة الصغيرة للحرارة، خلال عمليَّة الانصهار كانت ضروريَّة لإحداث ارتفاع طفيف في درجات الحرارة المشار إليها في ترمومتر موضوع في السَّائل النَّاتج..." (روسمرودوك 1987، ص. 270).

وجد (بلاك / Black) في وقت لاحق أسبابا لرفض هذا الرَّأي، الذي يتناقض مع العديد من الحقائق الملحوظة، عند النَّظر فيها بعناية"، وقد تم تكوين هذا الرَّأي، من رصد دقيق للحقائق والظواهر على النَّحو التَّالي: "عند انصهار الجليد أو مادة أخرى يُعْتَقَد أنه تحصَّل على كميَّة كبيرة من الحرارة، التي لا يمكن تصوُّرها فورا إلا عن طريق ارتفاع درجة حرارة المحرار، أي أن هناك كميَّة كبيرة من الحرارة تخترق المادَّة في هذه الحالة، من دون أن تجعلها على ما يبدو أكثر سخونة، عما يمكن أن نلاحظها باستعمال هذه الأداة (المحرار). يجب أن تُعْطَى هذه الحرارة إلى المادَّة للوصول بها إلى الحالة السائلة، ونؤكد بأن إضافة الحرارة هي السَّبب الرَّئيسي والفوري للإسالة النَّاتجة."

إن واحدة من الحجج التي لفتت انتباه بلاك، هي الذوبان التَّدرجي والبطيء جدا للجليد: "إذا كانت إضافة صغيرة جدا من الحرارة النَّاتجة من الهواء في فصل الرَّبيع كافية لتخفيض (تقليص) الكميَّات الكبيرة من الثلوج والجليد التي تشكلت من خلال فصل الشَّتاء إلى مياه، وعندئذ يمكن للانصهار أن يحدث في بضع دقائق، وهذا يؤدي في كل مرة إلى حدوث فيضانات كارثيَّة"، والجدير بالملاحظة هنا أن

هذه النتيجة البسيطة، لم يُنظر إليها في الحين من قبل جميع العلماء في ذلك الوقت.

من أجل توضيح وتحديد المفاهيم، قام بلاك بقياس كمية الحرارة التي تم امتصاصها أثناء ذوبان الجليد، باستعمال طريقة الخلائط (المزج)، أو بالعكس كمية الحرارة المنتشرة (المفقودة) من التجمد من خلال دراسة ظاهرة الانصهار الفائق، إن تساوي هاتين الكميتين ينتهي بتشكيل/بتأسيس نظام التشغيل بأكمله: الكمية الكبيرة من الحرارة الممتصة في عملية الانصهار لم تُدمر، ولكنها تبقى مخفية وكامنة ويمكن استرجاعها تماما عند تجميد السائل.

3.1. مزايا وعيوب النظرية المادية:

تجدر الإشارة هنا، إلى أن جميع تجارب بلاك وجميع القياسات المسعريّة تتفق تماما مع النظرية المادية، رغم ذلك كانت عدة نقاط يومها محل تساؤلات وانشغالات البعض. وإذا فكرنا بشكل طبيعي على أن الحرارة هي مائع، ولكن لسوء الحظ ليس للحرارة كل الخصائص، وبالأخص تلك المتعلقة بالعطالة: وترتب عن هذا فشل المحاولات لتسليط الضوء على ثقل السّعات الحرارية، وعدم وجود الظواهر الاهتزازية قبل الوصول إلى حالة مستقرة كما هو الحال بالنسبة لغاز أو "الموائع الكهربائية" التي تمت دراستها قبل بضع سنوات.

مع ذلك، فإن القيمة العملية للنظرية المادية تكمن في المذكرة، التي قدمها لافوازييه (Lavoisier) ولابلاس (Laplace) على الحرارة في 1784م؛ وعرضا فيها النموذجين الميكانيكيين ورفضاً أن يُختار أحدهما وقالاً: "ربما كلاهما صحيحين"، والعرض الذي قدماه

حول النظرية الميكانيكية يمثل تقدماً كبيراً فيما يتعلق بالمظهر الطاقوي للحرارة.

بينما يعتبر الفيزيائيون الآخرون الحرارة نتيجة لاهتزازات غير محسوسة لجزيئات المادة فقط والفراغات الموجودة بين الجزيئات تسمح لها بالاهتزاز في كل الاتجاهات. وهذه الحركة غير المرئية هي الحرارة وبناء على مبدأ انحفاظ القوة الدافعة (الزخم/كمية الحركة)، يمكننا التعبير عن الحرارة بهذا المعنى: الحرارة هي القوة الدافعة/الحية لهذه الاهتزازات، أي مجموع جداءات كتلة كل جزيء في مربع السرعة.

4.1. من الكالوري إلى الطاقة:

من المؤكد، أن أحد مصادر مفهوم الحرارة الميكانيكية يكمن في الحصول على الحرارة من التصادمات

والحركة؛ ولقد وضّح فرانسييس باكون في عام (1620) م كما ذكرت أقابرا (Agabra) أن "في كل هذه الأمثلة، تنتج الحرارة أو تظهر فجأة في الأجسام والتي لم يتلقها، أي لم يحصل عليها بالطرق العادية من خلال الاتصال مع الأجسام الأخرى، ولكن السبب الوحيد لإنتاجها، قد يكون الاحتكاك الميكانيكي أو صدمة ميكانيكية أم عنف ميكانيكي، ولكن الأكثر شيوعاً ربما، التأثير الوحيد الناتج عن القوة أو صدمة ميكانيكية على جسم، هذا هو الذي يسبب بطريقة أو بأخرى حركة هذا الجسم" (أقابرا، 1985 ص. 5).

كنا قد رأينا، بأنه يمكننا أن نفسر هذه الظواهر كيفياً ووصفياً بالنظرية المادية. وبالمثل، فإن (سادي كارنو / Sadi Carnot) في "تأملاته في القوة المحركة

للنار" في عام (1824) م استند في البداية على هذه النظرية.

لكن يجب أن نلاحظ هنا، أنه إذا حصلنا على العمل من الحرارة والعكس بالعكس، فإن هذه الحقائق ليست كافية للتصريح أو القول بأن الحرارة هي مقدار طاقي أو كما يقال إنها "الشكل المتردي للطاقة" (la forme dégradée d'énergie).

في إطار النظرية المادية، الحرارة، ليست عملاً مكافئاً، وإذا ما اعتمد على وجهة نظر النظرية المادية الحرارة هي مائع، والعمل هو مقدار (كمية) مجردة يساوي جداء القوة في (x) الانتقال، هذان المقدران بينهما علاقة مشتركة، تتمثل في السببية العكسية. مرة أخرى، المقاربة الوصفية الكيفية تعطي بشكل سريع جداً مبرراً لهذه النظريات.

2. مجال الظواهر الحرارية:

لقد شهدت الحضارة الإنسانية تقدماً وتطوراً ملحوظين عبر التاريخ وخاصة في الميدان العلمي، حيث بدأ الإنسان بالتفكير والتدبر على شكل إبداء آراء فلسفية، أعقبها بعد ذلك بناء مفاهيم ونظريات مبنية أساساً على حقائق علمية، ومن خلال هذا التطور الحضاري خاض العلماء في عدة مسائل علمية، من بينها المفاهيم الأساسية في مجال الظواهر الحرارية.

يُعتبر مجال الظواهر الحرارية من أهم فروع الفيزياء وكما تسمى أحياناً بعلم الحرارة، وانطلاقاً من هذه التسمية، يمكن أن يفهم، بأن علم الحرارة يهتم بوصف وتفسير الظواهر الحرارية مع إبراز العلاقات التي تبين حالة الجسم ما إذا كان ساخناً أو

بارداً أي من حيث السخونة (الحرارة) أو البرودة كما أن علم الحرارة مهم لفهم الظواهر الطبيعية والأجهزة التقنية والآلات المختلفة في الحياة العملية.

كما ينبغي الاهتمام بفرع الحرارة في دروس الفيزياء لفهم الحياة على كوكب الأرض، الذي نعيش عليه والذي يحتاج إلى وجود التيار الحراري الآتي من الشمس حيث تحدد عن طريقه تغيرات حالة الطقس والجو وكذا التحولات الطبيعية لحالة المادة كتغيرات حالة الماء الفيزيائية في الطبيعة التي تحدث على الكرة الأرضية بسبب هذا التيار الحراري. وكما توجد أيضاً آلات في الحياة العملية تشتغل باستعمال قوانين علم الحرارة مثل محرك السيارة والتربينات البخارية كما في محطات توليد الكهرباء والمضخات الحرارية وفي الثلاجات.

كما أن الاستهلاك غير المفيد على شكل حرارة وكذا الوقاية منها في المنازل يمكن وصفه وتفسيره كميّاً عن طريق (بواسطة) علم الحرارة، وفي مجال الكيمياء تلعب الحرارة أيضاً دوراً مهماً في حدوث التفاعلات الكيميائية، ولكن لا يمكننا معالجة مفاهيم مجال الظواهر الحرارية بدون أن نشير إلى صيغته الأولى المعروفة بالتحريك الحراري أو الديناميكا الحرارية أو الفيزياء الحرارية.

مبدئياً يمكننا أن نميز بين التحريك الحراري ومجال الظواهر الحرارية في الفيزياء، لأن التحريك الحراري المعروف بصيغته العلمية في اللغة اللاتينية بـ Thermodynamique يشتمل في الأصل على الظواهر الحرارية، هذا المصطلح يتكون من كلمتين الأولى Thermo وتعني بالعربية حرارة والثانية dynamique وتعني بالعربية التحريك أو القوة عند

البعض، ومن هنا يمكن القول أن مجال الظواهر الحرارية بمفاهيمه الأساسية مثل الحرارة ودرجة الحرارة... الخ يتركز على "المقاربة الوصفية للظواهر أو نهج تقصي الظاهرة الحرارية (Phénoménologique Approche)" (عدنان مصطفى، 1988 ص 8).

كما أشار إلى هذا أيضا آستاس ريشار إيمانويل وبيلو فرانسيس (Eastes, R-E.; Pellaud, F, 2003) في مقالهما "نزع تصوّر العلم أو فضائل المقاربة الوصفية" والمقصود هنا بنزع تصوّر العلم، هو كيف يمكن تفسير الظواهر العلمية، عندما يصعب معالجتها من وجهة نظر العلم، أي من المنظور العلمي البحث، وذلك لأسباب تعليمية منهجية، وهنا نحتاج بالفعل إلى مقاربة أولية "تسمح بالانتقال إلى التّصوّر العلمي للظواهر، قد تظهر أهمية هذه المقاربة في كيفية الانتقال إلى المقاربة المفاهيمية (Approche conceptuelle) لتدريس العلوم" (ريشار؛ فرانسيس 2003، ص. 119).

قد نجد بعض الأمثلة في هذا الاتجاه في منهاج مرحلة التّعليم المتوسط، مثل المقاربة الأولى لتدريس الطّاقة في السّنة الثالثة من مرحلة التّعليم المتوسط، حيث اعتمد المنهاج، كمدخل إلى السّلسلة الطّاقوية على معالجة السّلسلة الوظيفية كمقاربة أولية والتي "تعني استعمال ترميز خاص وألفاظ معينة وبيانات محددة تقرب الفهم وتسهل الدّراسة للسّلسلة الطّاقوية" (الوثيقة المرافقة لمنهاج التّعليم المتوسط 2013، ص. 338).

أكد هذا التّوجه أيضا (جيورج جوب/ Job Georg) في كتابه "العرض الجديد للديناميكا الحرارية" الذي نشره في عام (1972) وأعيد نشره في

طبعة جديدة في 2004، حيث قسّم محتوى الكتاب إلى أربعة محاور أساسية: مجال الظواهر الحرارية والديناميكا الحرارية العامة، والديناميكا الحرارية الكيميائية والديناميكا الحرارية والأنثروبيا.

لقد اهتم المحور الأول "مجال الظواهر الحرارية" الذي هو موضوع دراستنا، بالدّراسة الوصفية كمقاربة أولية لمعالجة الظواهر الحرارية المدعمة بالتّجارب الكيفية وتم التّطرق في هذا المحور إلى المفاهيم: الحرارة ودرجة الحرارة وتغيّر درجة الحرارة وتحديداتها والمميزات التي تتغيّر بتغيّرها (الحجم الطّول) وثبات درجة الحرارة (التّحولات الفيزيائية للمادة) ونقل الحرارة وتوظيف مفهوم الحرارة ودرجة الحرارة في وصف وتفسير بعض الظواهر الحرارية.

عالج المحور الثاني "الديناميكا الحرارية العامة": قواعد حساب حاصل القسمة التفاضلية أمثلة بسيطة على اقتران ميكانيكي حراري، الجسم تحت ضغط من جميع الجهات، المصطلحات التّقليدية طرق الحساب المعتادة...، كما عالج المحور الثالث "الديناميكا الحرارية الكيميائية": كمية المادّة، الجهد (الكمون) الكيميائي، تحويلات المادّة، الحد من القوانين لتخفيف كبير، تأثيرات المجالات الخارجيّة... وأخيرا تناول المحور الرابع "الديناميكا الحرارية والأنثروبيا": مثال ميكانيكي، مقاربة (نظرية) أوسغير (Onsager)، أمثلة أخرى...

كما أن إبراهيم شريف في كتابه "الحرارة والديناميكا الحرارية" (1963) قام أيضا بتقسيمه إلى جزأين الجزء الأول سماه علم الحرارة ويتناول مجال الظواهر الحرارية وأدرج ضمن هذا الجزء مفهومي

إلى موضوع التّعليم والتّلميز، وتدرّس الفيزياء ليس مناسبة مقدّسة يُحتَقَل بها، ولا مبادرة المبتدئ للتعرف على أسرار الكون، ولكن يجب أن يأخذ هدفه من واقع التّلميز كما هو فيه. وهذا يعني أن المشكلة تنقسم إلى قسمين:

- الدّوافع النّفسية للتّلميز، والمشاكل الفيزيائية التي تشكل انشغالاته وتسؤولاته عندما كان طفلاً.
- أهداف تدرّس الفيزياء كملح له عندما يكون راشداً في المستقبل.

هذان المظهران يُكوّنان فيزياء التّلميز" (هالفاكس، 1974، ص. 22).

قد نتفق مع هذا الرّأي، لأنّ دروس الفيزياء تتناول على وجه الخصوص مظهرين أساسيين يتمثل الأول في المظهر العلمي، ويتمثل الثاني في المظهر التّعليمي المنهجي.

المقصود بالمظهر العلمي، الفيزياء المحضّة التي تهتم بطرح أسئلة على الطّبيعة لاستكشاف فرضيات ونظريات ومفاهيم وقوانين ومبادئ فيزيائية من جهة ووصف وتفسير وتعليل الظواهر الطّبيعية بمساعدة هذه المفاهيم والقوانين والمبادئ من جهة أخرى. وترتكز طريقة العمل فيها على التّجريب والنّمذجة.

أما المظهر التّعليمي المنهجي فيتمثل في درس الفيزياء، الذي يظهر في نتائج الفيزياء نفسها، على شكل فرضيات ومفاهيم ونظريات وقوانين ومبادئ فيزيائية، تعالج في عمليّة التّعليم التّعلم وهي (الفيزياء) بهذه العمليّة تُعْتَبَر مادة تعليمية مثلها مثل بقية المواد التّعليمية الأخرى، التي تضمّنها المدرسة لتكوين الفرد تكويناً علمياً فيزيائياً، ليكون عنصراً نافعا في المجتمع. لكن ينبغي لدرس الفيزياء ألا يقتصر فقط على معالجة الظواهر الطّبيعية والحوادث الفيزيائية في

الحرارة ودرجة الحرارة والتّرمومترات، ويتناول الجزء الثاني الديناميكا الحرارية وأدرج فيه قوانين الديناميكا الحرارية (القانون الأول والثاني والثالث) والعلاقات والقوانين والمعادلات الخاصة بالديناميكا الحرارية، رغم أن هذا الكتاب موجه لطلبة كليّة الهندسة بجامعة الإسكندرية.

3. المشاكل التّعليمية لمفهومي الحرارة ودرجة الحرارة:

نريد من خلال هذه الدّراسة، أن نهتمّ بالمشاكل العلميّة التي تطرحها بعض المفاهيم، مثل مفهومي الحرارة ودرجة الحرارة، والتي يتم تدرّسها في العلوم الفيزيائية، وذلك انطلاقاً من اهتمامات الفيزيائيين في علم الفيزياء، ولكن مع الأخذ بعين الاعتبار المتطلبات والشروط المختلفة التي يفرضها النّظام التربوي مع التّركيز بشكل خاص على التّلميز.

قالت (زيمرمان / Zimmermann, 1990) في هذا السّياق أن "البحوث في تعليميّة العلوم الفيزيائية، هي بالدرجة الأولى، من مهام الفيزياء وبالتالي فالفيزيائيون هم الذين لهم الصّلاحيّة فقط في اتخاذ القرارات المتعلقة بمحتوى التّعليم. ولكن يجب عليهم الأخذ بعين الاعتبار مختلف مكونات الفيزياء الأساسيّة والتّطبيقات، ونظرياتها المعرفيّة وكذلك متطلبات النّظام التربوي (المدارس والتّلاميذ والمعلمين وأولياء التّلاميذ...)" (زيمرمان، 1990، ص. 36).

كتب أيضاً هالفاكس (Halbwachs, 1974) يقول: "... إنه حقاً من الضروري التّمييز بعناية بين هدف الفيزياء - فيزياء الفيزيائيين - والهدف من تدرّس الفيزياء أو دروس الفيزياء؛ حتى وإن لم تكن هنا الحاجة لتحديد هذا، ولكن لا بد أن نشير في البداية

عملية التعليم والتعلم فحسب، بل ينبغي له أيضا أن يعمل على إكساب التلميذ المعرفة العلمية الفيزيائية الضرورية للحياة اليومية تمكنه من مواصلة الدراسة، أو التوجه إلى التكوين المهني والتّمهين فيصبح تقنيا أو كهربائيا أو ميكانيكيا... الخ.

1.3. المعنى الفيزيائي لكل من مفهومي الحرارة

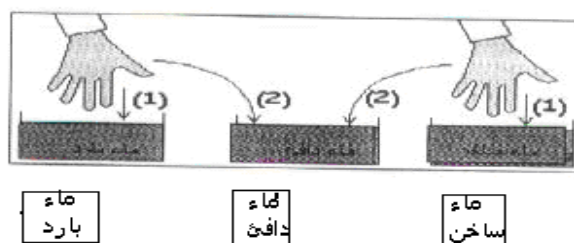
ودرجة الحرارة:

تجدر الإشارة هنا إلى المعنى الفيزيائي لكل من مفهومي الحرارة ودرجة الحرارة، حيث تُعتبر درجة الحرارة في الفيزياء متغيراً يميز حالة نظام (مقدار الحالة الذي يُعرّف فقط الحالة اللحظية للنظام) إنها لا تعتمد على الحالات الماضية ولا على تاريخ النظام لأن هذه النظم تفترض أن أجزاء النظام هي في كل لحظة في حالة "التوازن" فيما بينها؛ في حين تمت صياغة معنى الحرارة كنمط تحويل الطاقة. وبالتالي تُعتبر كمية الحرارة التي تقاس بالمسعريّة كقياس لكمية الطاقة المحولة من نظام إلى نظام آخر، بينما في اللغة اليومية لا يُعطى معنى الحرارة بهذا المعنى، بل يُعبّر عنه في كثير من الأحيان بدرجة الحرارة؛ كما يُعبّر أيضا عن درجة الحرارة بالحرارة لأننا كثيرا ما نتكلم في الحياة اليومية، عن مفهوم الحرارة؛ ولكن نقصد به: التسخين أو التبريد أو السخونة بدلا من الحرارة أو درجة الحرارة؛ كما تجدر الإشارة أيضا، إلى

مبدأ التوازن الحراري، الذي يمكن التعبير عنه على النحو التالي: الأجسام التي تكون في حالة الاتصال أو قريبة من بعضها، بعد مرور فترة زمنية كافية، تكون لها نفس درجة الحرارة.

سوف نتعرف في هذه المقاربة المعرفية على ظاهرة الإحساس أثناء اللمس، وذلك لتسليط الضوء على الفرق الذي نشعر به عند لمس مواد مختلفة. وحتى تتمكن من وصف وتفسير هذه الظاهرة، يجب علينا أولا الرجوع إلى الصفة الفسيولوجية لحاسة اللمس، حتى نستطيع، أن نعرف بأن جسم الإنسان هو أيضا جسم له درجة حرارة ثابتة، عالية عموما مقارنة مع درجة حرارة المحيط، وعليه يمكن القول في المستوى الأول من التفسير، أن أي جسم قد يكون موصلا أفضل من جسم آخر، وانتقال الحرارة من جسم الإنسان إلى أي جسم في الحقيقة أمر هام في بداية الأمر، لأن الجسم يبدو وكأنه بارد.

في محاولة لتقديم وصف وتفسير الظواهر المتعلقة بحاسة اللمس في مجال الحرارة، سوف نأخذ كمثال التجربة التقليدية المتداولة في كتب الفيزياء الجامعية والمدرسية: شخص يضع يده اليمنى في الماء البارد لبعض اللحظات، ويده اليسرى في الماء الساخن، ثم يضع في نفس الوقت كلتا يديه في الماء الدافئ. كيف يمكن وصف الأحاسيس المختلفة.



الشكل: يوضح تجربة لوصف الإحساس بالحرارة

لا يستطيع أن يتحمل لمس الأجسام الباردة والساخنة جدا.

لمعالجة مفهومي الحرارة ودرجة الحرارة في درس الفيزياء ينبغي التركيز على المقاربة المادية، أي على المقاربة العيانية؛ حيث قيمة درجة الحرارة تتحدد عن طريق القراءة على المحرار؛ كما سنعتبر درجة الحرارة بأنها مقدار حالة للنظام، أما بالنسبة للحرارة فأنها شكل من أشكال الطاقة.

1.1.3. مفهوم الحرارة:

تُعد الحرارة، شكلا من أشكال الطاقة، وبالتالي إدراج مفهوم الحرارة في درس الفيزياء في مرحلة التعليم المتوسط مثلا، يعد تحضيراً لمعالجة مفهوم الطاقة في المستويات الأعلى مستقبلا حيث سيتم التعرض إلى مفهوم الطاقة بنوع من التفصيل.

إن الحقيقة الهامة، "أن الجسم لا يحتوي الحرارة مطلقا، ولكن الحرارة تعرف كحرارة فقط عندما تتدفق من الجسم الساخن إلى الجسم البارد"، كانت دافعا للبحث عن مقدار فيزيائي مكافئ للتعبير عن الحرارة على أنها شكل من أشكال الطاقة في حالة عبور أو انتقال أو تدفق وهي ظاهرة حدودية ووقتيّة فمثلا عند تلامس جسم ساخن مع جسم بارد، فإن الحرارة ستتدفق من الجسم الساخن إلى الجسم البارد وهذا التدفق يستمر إلى أن يحدث التوازن الحراري، أي أن هذا التدفق لا يستمر أبدا، بل يتوقف عندما يحدث التوازن الحراري بين الجسمين.

إن هذا المقدار الفيزيائي المكافئ، هو طاقة على شكل حرارة أو (الحرارة على شكل طاقة)، حيث يشكل استعماله نوعا من الصعوبة التعليمية المنهجية في الدرس، ليس فقط عند المتعلمين، بل

لتقديم تفسير بسيط للظاهرة، نحاول أن نصف ما يحدث على مستوى أصابع اليد، لأن المشكلة فسيولوجية، وبالتالي سطح أصابع اليد فقط، هو الذي يخضع للتوازن، وسنحاول توضيح ذلك في الحالات التالية.

الحالة الأولى: الإحساس بالبرودة، أصابع اليد وضعت في الماء البارد، وبالتالي هناك تدفق للحرارة من الدّاخل إلى الخارج والإحساس بالبرد، وبعد لحظات قليلة، على السطح، تأخذ أصابع اليد درجة حرارة الخارج.

الحالة الثانية: الإحساس بالسخونة، يتم وضع أصابع اليد في الماء الساخن، وبالتالي هناك تدفق الحرارة من الخارج إلى الدّاخل والإحساس بالسخونة وبعد لحظات قليلة، على السطح تأخذ أصابع اليد درجة الحرارة الخارج، ثم يتم وضع أصابع كلتا اليدين في نفس الوقت في الماء الدافئ.

الحالة الثالثة: الماء يبدو ساخنا، أصابع اليد اليمنى سوف تكون موجودة في الماء الدافئ، الذي لديه درجة حرارة أعلى من درجة حرارة سطح جلد أصابع اليد، وبالتالي فإن الماء يبدو ساخنا.

الحالة الرابعة: الماء يبدو باردا، أصابع اليد اليسرى في الماء الدافئ، ولكن له درجة حرارة أقل من درجة حرارة سطح جلد أصابع اليد، وهكذا يبدو باردا. يمكننا أن نقول بأن أصابع اليد هي أدوات غير دقيقة، لأننا لا نستطيع تفسير المعلومات التي قدمتها لنا، ولا يمكننا بواسطتها تحديد درجة حرارة الجسم أي أن حاسة اللمس عاجزة عن تقدير درجة السخونة أو البرودة تقديرا كميّا أي عدديّا، فالإنسان

حتى عند بعض الأساتذة. وهذا له علاقة بتطور مفهوم الحرارة من الناحية العلمية (الإبستمولوجية) حيث مر هذا المفهوم بعدة نظريات: نظرية ذبذبة الجزيئات ونظرية الكالوريك وفي الأخير نظرية الطاقة، التي أعطت تصوّراً علمياً عن الحرارة، وذلك ابتداء من سنة 1840 من طرف العالم جول (Joule)، حيث "بدأ في عمل تجارب تثبت أن الحرارة ما هي إلا شكل من أشكال الطاقة، وأنه إذا تولدت حرارة فإن ذلك يكون بقدر العمل المبذول في توليدها وأن الطاقة في جميع صورها لا تفقد ولكنها تختفي لتظهر على صورة أخرى. (إبراهيم شريف، 1963، ص. 5).

على العموم ليس من الخطأ، عندما نقول أننا أعطينا أو منحنا جسماً حرارة، بدلاً من أن نقول أعطيناها طاقة، لأن التعبيرين في كلتا الحالتين صحيحان، ما دمنا قبلنا، بأن الحرارة هي شكل من أشكال الطاقة إلا أنه ينبغي، تفادي العبارة الآتية: تقديم/منح الحرارة لجسم، بنفس مصدر الحرارة يؤدي إلى زيادة كمية حرارة هذا الجسم، وهذا هو الذي يشكل الالتباس بين الحرارة ككمية قابلة للقياس أو كمية سعوية ودرجة الحرارة كمقدار كيميائي/شدي من جهة وبين الحرارة كشكل من أشكال الطاقة من جهة أخرى، لذلك ينبغي أن يتعامل المقلّمون بنوع من الحذر مع هذه العبارات في درس الفيزياء، لأنه قد يكون مفهوم الحرارة في هذه الحالة لا يعكس المعنى، الذي يحمله التلاميذ معهم إلى الدرس.

كما أن هذه العملية لا تؤدي إلى زيادة درجة حرارة جسم فقط، بل أحياناً إلى نقصانها أيضاً أي أن هذا لا يعني، بأن الجسم إما أن يحتوي كثيراً أو قليلاً من

الحرارة، وهذا الذي يشكل الالتباس أيضاً بين الحرارة ككمية قياس أو مقدار سعوي والحرارة كشكل من أشكال الطاقة، كما يمكن الإشارة إلى ظاهرة انتشار (انتقال) الحرارة بعدة طرق (بالتوصيل، بالحمل بالإشعاع).

في الأخير لا بد من الإشارة إلى بعض الملاحظات التي ستؤدي إلى إزالة الالتباس مستقبلاً في مرحلة التعليم الثانوي أو في التعليم الجامعي بين المفهومين "الحرارة والطاقة":

- تمثل الحرارة سبيلاً لتحويل أو نقل الطاقة، ولا تمثل طاقة ولا شكلاً من أشكالها، رغم تقديرها بنفس الوحدة التي تقدر بها الطاقة أي الجول؛

- لا وجود لمبدأ انحفاظ الحرارة، ولكن يوجد مبدأ انحفاظ الطاقة؛

- هناك فرق بين الطاقة الحرارية (وهي طاقة حركية مجهرية) والحرارة نفسها؛

- الحرارة لا تبرز إلا من خلال انتقالها من جسم إلى جسم آخر؛

- يمكن لجسم أن يعطي حرارة أو يستقبل حرارة ولكن لا يمكن أن تكون له حرارة.

إن الحرارة كمقدار فيزيائي أيضاً، هي السبب في تغيير درجة حرارة الجسم، أي أن الحرارة مقدار يمكن قياسه، وبالتالي هذا المقدار، لا يمكن أن يكون إلا "كمية الحرارة"، وحتى نؤكد فكرة التمييز بين الحرارة ودرجة الحرارة، يجب علينا أن لا نركز فقط على التجارب، التي يتم فيها تسخين الأجسام، على نفس مصدر للحرارة، مثلاً التسخين بموقد غازي، بل يجب علينا إجراء تجارب مختلفة لنبين، بأنه يمكن تسخين الأجسام بمصادر حرارة مختلفة، مثل التسخين بمكعب حديدي ساخن أو بالسوائل الساخنة أو

بضوء الشمس... وعندئذ يمكننا أن نبين بأن "الحرارة" التي تم توفيرها، بهذه المصادر المختلفة تؤدي إلى تغيير الحالة الحرارية للجسم، التي تظهر في تغيير درجة حرارة هذا الجسم، وقيمتها.

فمثلا تسخين وعاء كبير، فيه كمية كبيرة من الماء، إلى درجة الغليان، يحتاج إلى الكثير من الحرارة وبالتالي ينبغي وضع زر آلة الطبخ في رقم 3، حتى نستطيع توفير الحرارة لفترة طويلة، لكي يصل الماء إلى درجة الغليان، حيث نتعرض إلى علاقة كمية الحرارة بكمية المادة (الماء) والتغير في درجة الحرارة

إلى درجة الغليان، وإلى نوع المادة وطبيعتها.

كما يمكننا أيضا التعرض إلى نشاطات أخرى مثل الاحتكاك الذي يؤدي في العديد من الوضعيات إلى التسخين، أي ظهور الحرارة، على سبيل المثال الاحتكاك بين كفتي اليدين يسخن اليدين، وبالتالي فهو يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة الكفتين، وعند عملية الثقب بالمشقبة اليدوي أو الآلي أو عملية النشر بالمنشار... يتولد الاحتكاك ولكن غالبا ما يؤدي إلى تسخين غير مرغوب فيه حيث يؤدي إلى إتلاف الأداة، أو حرق ورقة بعدسة لامة أو مرآة مقعرة بحرارة (بضوء) الشمس.

إن الاحتكاك يمكن أن لا يؤدي فقط إلى ارتفاع درجة الحرارة، بل أيضا إلى تحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة حرارية، وتوضح النشاطات السابقة العلاقة بين أخذ الحرارة من الجسم وارتفاع درجة حرارة هذا الجسم، أي العلاقة السببية بين الحرارة ودرجة الحرارة، وهذا قد يسمح بالتمييز بين المفهومين، وانطلاقا من هذه النشاطات، ينبغي إيجاد مقدار فيزيائي، يناسب المصطلح المتداول في الحياة اليومية للتعبير عن مفهوم الحرارة، ككمية يمكن

قياسها، نستعملها لوصف وتفسير الظواهر فيزيائية أي على أنها شيئا ما يحتويه جسم أكثر من جسم آخر، كما يظهر ذلك في التجارب الآتية:

1- زجاجة مملوءة بماء ساخن وزجاجة أخرى مماثلة لها مملوءة بماء بارد، يمكننا القول بأن الزجاجة المملوءة بماء ساخن تحتوي شيئا ما أكثر من الزجاجة المملوءة بماء بارد.

2- زجاجة كبيرة فيها ماء ساخن تحتوي على شيء ما أكثر من زجاجة صغيرة فيها ماء ساخن بنفس السخونة، أي أن الماء الساخن في الزجاجتين له نفس درجة الحرارة.

في الحقيقة، إن التمكن من استعمال مقدار فيزيائي للتعبير عن الشيء، الذي تحتويه كل من الزجاجتين، كان معروفا وواردا منذ القرن الثامن عشر، حيث أن هذا المقدار الفيزيائي، الذي يعبر عن هذا الشيء، أطلق عليه "الحرارة" ككمية سعيوة أو كمقدار فيزيائي يمكن قياسه، وهذا أدى إلى حقيقة علمية هامة: وهي، أن الجسم لا يحتوي الحرارة مطلقا، ولكن الحرارة تعرف كحرارة فقط عندما تتدفق من الجسم الساخن إلى الجسم البارد.

إن وجود العلاقة السببية بين التغير في درجة الحرارة والحرارة بفعل تأثير الحرارة، يعني منح الحرارة للجسم أو فقد هذا الجسم للحرارة، وهذا يعني ارتفاع في درجة حرارة الجسم، عند منح هذا الجسم حرارة وفق التسلسل المنطقي: بالتسخين ← إعطاء/منح الحرارة للجسم ← ارتفاع درجة حرارة هذا الجسم. وانخفاض درجة الحرارة، عند فقد هذا الجسم للحرارة، وفق التسلسل المنطقي: بالتبريد ← يفقد الجسم حرارة ← انخفاض درجة حرارة هذا الجسم.

2.1.3. مفهوم درجة الحرارة:

إن درجة الحرارة كمقاربة أولية، هي مقدار فيزيائي يشير إلى مدى سخونة أو برودة جسم، لأن هذا هو المحتوى المعرفي الفيزيائي الوارد خاصة في الكتب المدرسية، حيث يمكن تحديده أو تعيينه بالمحرار ويقدر بدرجة مئوية ويرمز لها بالرمز $^{\circ}\text{C}$.

نحن في حاجة إلى المحرار (ميزان الحرارة الترمومتر) لتعيين وتحديد درجة حرارة الجسم أي المحرار ويبقى السؤال المطروح، هو كيفية تحديد درجة حرارة الجسم بالمحرار، لأن حاسة اللمس غير كافية لتحديد درجة حرارة هذا الجسم بسبب التباين عند الإنسان في الإحساس بالسخونة أو البرودة لذلك نحتاج إلى أداة تسمح بتحديد وتعيين درجة حرارة جسم بمقياس درجة الحرارة وبسلم معين مثل الدرجة المئوية.

لا يمكن تحديد درجة حرارة جسم بالمحرار، إلا عندما يكون المحرار في حالة تماس مع هذا الجسم وفي حالة توازن حراري معه، وقد يكون التطرق إلى مفهوم درجة الحرارة بهذه المقاربة، دون الإشارة إلى العلاقة الموجودة بينها وبين الحرارة، هو أحد المؤثرات في عدم التمييز بين المفهومين، لذلك يجب الاهتمام بهذه العلاقة: الحرارة، هي السبب في تغيير درجة حرارة الجسم، وهي (درجة الحرارة) مقدار فيزيائي يمكن تحديده كما أشرنا من قبل.

تجدر الإشارة هنا بأن الدرجة المئوية ليست ترجمة للعبارة اللاتينية ($^{\circ}\text{C}$ Grad Celsius، غراد سيلزيوس) لأن الدرجة المئوية في الواقع تُعبر عن تقسيمات المسافة بين درجتَي ذوبان الثلج (الجليد) وغلَيان الماء إلى درجات متساوية، والمعروفة باسم سلم سينتيجراد (Centigrade Scale) و(Celsius) اختير كوحدة لدرجة

يظهر من هذه العلاقة السببية من جهة اكتساب الحرارة من جسم وارتفاع درجة حرارته ومن جهة أخرى فقد الجسم للحرارة وانخفاض درجة حرارته يمكننا أن نعتمد هذه الفكرة كمقاربة أولية للتمييز بين المفهومين، الحرارة ودرجة الحرارة، حيث تبرز هذه المقاربة أهمية الحرارة في تغيرات الحالة للمادة أي بالإضافة إلى كون الحرارة هي سبب لتغيير درجة حرارة الجسم فهي أيضا سبب في تغيرات الحالة للمادة.

يمكن الإشارة أيضا إلى الحرارة على أنها مادة، وذلك عند مقارنتها بالبخر والهواء الساخن أو الدافئ عندما نقول مثلا "الحرارة هي الهواء الساخن". و"الحرارة هي بخار الماء" و"الحرارة تعطيها مصادر الحرارة، مثل الموقد والنار"، إن مثل هذه العبارات كثيرا ما نجدها في الحياة اليومية، وهي تؤدي إلى الغموض بين المعنيين الفيزيائيين لمفهوم الحرارة ودرجة الحرارة، وهذا يتفق، مع ما ذهب إليه بعض الفيزيائيين عبر التاريخ؛ حينما أعطوا أيضا الطبيعة المادية لمصطلحي السخونة والبرودة.

في الأخير يمكن الإشارة إلى مفهوم "الحرارة الكامنة"، وهي باختصار، الحرارة التي تستخدم في عملية تحويل حالة المادة من حالة إلى أخرى، مثلا من الحالة السائلة إلى الغازية عند درجة غليان (نقطة غليان) ثابتة، بالرغم من استمرار منح الحرارة للسائل، وتعني كلمة كامن باللغة اللاتينية (latent) أي مختبئ، وتعني أن الحرارة التي تضاف لا تؤدي إلى زيادة درجة حرارة السائل.

-الارتفاع المؤقت في درجة الحرارة، ولا يوجد أي تغيير في حالة الماء، حتى تصل درجة الحرارة إلى 100°C درجة مئوية.

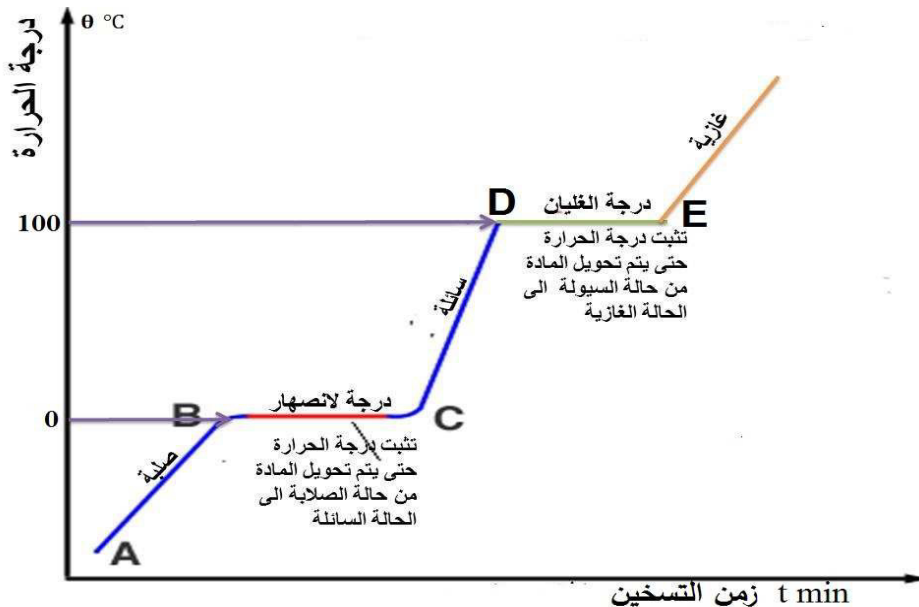
-درجة الحرارة تبقى ثابتة عند 100°C درجة مئوية (درجة الغليان)، تحت الضغط الجوي النّظامي حتى يتحول كل الماء إلى بخار على الرغم من المنح/التقديم المستمر للحرارة.

يمكن تمثيل تغير درجة حرارة الماء النقي، على سبيل المثال، خلال الزمن على المنحنى البياني أدناه الذي يوضح التّحول الفيزيائي للماء، يصف تغيرات درجة الحرارة عندما يتحول الماء من الحالة الصلبة (جليد) إلى الحالة السائلة وإلى الحالة الغازية، حيث نجد على هذا المنحنى كل البيانات المتعلقة بهذا التّحول.

الحرارة نسبة إلى عالم الفلك السويدي Anders Celsius. وهناك وحدات أخرى لتعيين درجة الحرارة: الكلفن (Kelvin) وهو السّلم المعتمد من قبل المنظومة العالمية (النّظام الدولي للوحدات) SI وهو سلم كثير الاستعمال في الميادين العلميّة والفهرنيت (Fahrenheit) وهو السّلم المعتمد في الولايات المتحدة الأمريكية.

كثيرا ما تستعمل درجة الحرارة كمترادف للحرارة في اللغة المتداولة (اليومية)، مثلا درجة الحرارة عدد يعبر عن قياس الحرارة، أو درجة الحرارة، هي مقدار عددي يعبر عن ارتفاع أو انخفاض الحرارة، في حين نتحدث في حقيقة الأمر عن ارتفاع أو انخفاض درجة حرارة الجسم، وليس عن ارتفاع أو انخفاض الحرارة من الواضح هنا بأن مفهوم الحرارة استخدم مرادفا لمفهوم درجة الحرارة.

كما يمكن وصف دور الحرارة وسلوك درجة الحرارة في التّحولات الفيزيائية للمواد، التي تحدث عند درجات حرارة مختلفة، مثلا أثناء غليان الماء النقي، يلاحظ ما يلي:



ينبغي الاهتمام بهذا التأثير المزدوج للحرارة في الدرس، كمقاربة تعليمية منهجية لمعالجة المفاهيم في مجال الظواهر الحرارية، لفهمها، لذا ينبغي التركيز في درس العلوم الفيزيائية على ارتفاع درجة الحرارة دون تغيرات حالة المادة من جهة، وعلى ثبات درجة الحرارة مع تغير حالة المادة من جهة ثانية وبالتالي لا بد من إبراز هذا التأثير المزدوج للحرارة على مختلف ظواهر تغيير الحالة الفيزيائية للمادة: التغير في درجة الحرارة من جهة، وثبات درجة الحرارة مع تغيير الحالة الفيزيائية للمادة من جهة ثانية.

تجدر الإشارة هنا إلى مصطلحات التبخر والتبخر والغليان، ظاهرة الغليان هي تحول حالة المادة من السائلة إلى الغازية عند درجة حرارة ثابتة، وظاهرة التبخر، تعني تحول حالة المادة من السائلة إلى الغازية، بينما ظاهرة التبخر، هي العملية التي يتم فيها التحول الفيزيائي للمادة من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية عند درجة حرارة أقل من درجة الغليان لهذه المادة.

قد لا يظهر الفرق بين التبخر والتبخر ولا استعمال المصطلحين بنفس المعنى عند الكثيرين، لأنه يصعب عليهم التركيز على العلاقة بين بخار الماء ودرجة حرارة الماء السائل أثناء الغليان ولا يمكنهم تفسير ذلك بتكوين فقاعات داخل السائل، وغلي الماء وانطلاق البخار وتناقص كمية الماء، لأن الماء تحول من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية (بخار)، مع الملاحظة، بأنه، على الرغم من استمرار تقديم الحرارة للماء تبقى درجة حرارته ثابتة وتسمى بنقطة غليان الماء أو درجة غليان الماء.

يمكن ربط مفهوم درجة حرارة الجسم بحركة الجزيئات (الجسيمات) المكونة للجسم، عند وصف مفهوم درجة الحرارة، لأن معنى مفهوم درجة الحرارة لا يكون واضحاً إلا بتوظيف حركة الجزيئات، كما نجد ذلك في كتب الفيزياء، حيث تشير إلى مفهوم درجة حرارة جسم، بأنها مؤشر على مدى حركية جزيئاته أو ذراته، حيث يمكن رياضياً إيجاد معادلة تربط بين الطاقة الحركية للجزيئات أو ذرات جسم ما ودرجة حرارته مقدرة بالكلفان (Kelvin).

ينطلق غيونسولي (Giancoli) من أجل التمييز بوضوح بين درجة الحرارة والحرارة، باستخدام النظرية الحركية للجزيئات، حيث يقول "درجة الحرارة بالكلفان (Kelvin) هي مقياس لمتوسط الطاقة الحركية للجزيئات، في حين الحرارة تتعلق بنقل الطاقة من نظام إلى آخر بسبب الفرق في درجة الحرارة" (غيونسولي، 2006، ص. 655).

4. الخلاصة (Conclusion)

لقد تعرضنا في هذا البحث إلى اهتمام العلماء بالمراحل المتتالية التي مر بها مفهوما الحرارة ودرجة الحرارة عبر التاريخ، بدءاً بالمعنى الفلسفي والميتافيزيقي، حيث كان مفهوم الحرارة من ضمن العناصر الأربعة المكونة للطبيعة (للكون)، وذلك قبل عدة قرون من ظهور الفيزياء الحديثة.

كما يتميز هذا البحث بمظهره العلمي الفيزيائي والتعليقي لتطور مفهوم الحرارة وارتباطه بالتطور التطبيقي لمفهوم درجة الحرارة، حيث تعرضنا في المظهر الأول، إلى النظرية المادية (الفلوجستيك والكالوريك) والنظرية الحركية التي ظهرت مع ظهور الفيزياء الحرارية أو علم التحريك الحراري؛ حيث تم

والتكنولوجيا، الوثيقة المرافقة لمنهاج مادة العلوم الفيزيائية والتكنولوجيا.

5- Agabra, Jacqueline (1985) : A travers l'histoire des sciences : Ou comment est-on passe de la chaleur sensible à la chaleur considérée comme un mode de transfert de l'énergie. Rapports de Recherche. n°3. INRP.

6- Eastes, R-E.; Pellaud, F. (2003) : Comment déconceptualiser les sciences?, ou les vertus de l'approche phénoménologique. In A. Giordan ; J.-L. Martinand ; D. Raichvarg (éds.), Actes des XXV^{es} Journées Internationales sur l'Education Scientifique. S. ;113-120.

7- Giancoli, Douglas C. (2006): Physik, Aus Amerikanischen von Micaele Krieger-Hauwede et al., Pearson Education Deutschland, München. S. 651-683.

8- Job, Georg (2004): Neudarstellung der Wärmelehre - Die Entropie als Wärme. Neue Auflage Akademische Verlagsgesellschaft, Verlag, Frankfurt am Main, Germany.

9- Halbwachs, Francis, (1974): La pensée physique chez les enfants et le savant. Neuchâtel, le Griffon.

10-Halbwachs, Francis, (1980): Histoire de la chaleur. Paris. CUIDE n° 17.Sept.

11- Rosmorduc, J. (1987): Histoire de la Physique, Tome 1, La formation de la physique classique. Technique et Documentation Lavoisier, Paris ; France.

12- Willer, Jörg (1990): Physik und Menschliche Bildung. Eine Geschichte der Physik und ihres Unterrichts. Verlag, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt Deutschland.

13-Zimmermann-Asta Ricardo, Marie-Louise (1990): Concept de chaleur: contribution à l'étude des conceptions d'élèves et de leurs utilisations dans un processus d'apprentissage. Thèse de doctorat: Univ. Genève, no. FPSE 172.

تناول مفهوم الحرارة كشكل من أشكال الطاقة ومفهوم درجة الحرارة كمقياس للاضطراب الحراري وحركة الجزيئات داخل المادة.

أما في المظهر الثاني، فإننا أردنا من خلاله، أن نهتم بالمشاكل التعليمية التي طرحها مفهوم الحرارة ودرجة الحرارة من المنظور الفيزيائي، ولكن مع الأخذ بعين الاعتبار مختلف مكونات الفيزياء الأساسية والتطبيقية، وكذلك المتطلبات والشروط المختلفة التي يفرضها النظام التربوي مع التركيز بشكل خاص على المتعلم.

إن الصعوبة في التمييز بين مفهومي الحرارة ودرجة الحرارة يرجع إلى استعمال المصطلحين في اللغة المتداولة في الحياة اليومية بنفس المعنى، حيث نجد مصطلح الحرارة مقرونا بدرجة، للتعبير عن مفهوم درجة الحرارة، بينما نعبر عن مفهوم الحرارة بمصطلح الحرارة. وبالرغم من هذا الالتباس من الناحية اللغوية، إلا أنه، يوجد فرق كبير بين الحرارة ودرجة الحرارة من الناحية العلمية، كما توضح ذلك كتب الفيزياء الجامعية والمدرسية.

المراجع (References)

- 1- إبراهيم، شريف (1963): الحرارة والديناميكا الحرارية الدار القومية للطباعة والنشر فرع الإسكندرية مصر.
- 2- الجرجاني، علي بن محمد الشريف (1985): كتاب التعريفات، طبعة جديدة، مكتبة لبنان، بيروت.
- 3- عدنان، مصطفى (1988): الفيزياء الحرارية. ديوان المطبوعات الجامعية، بن عكنون، الجزائر.
- 4- وزارة التربية الوطنية (2013): الوثيقة المرافقة لمنهاج التعليم المتوسط، اللجنة الوطنية للمناهج مديرية التعليم الأساسي، الرياضيات، علوم الطبيعة والحياة، العلوم الفيزيائية



النشاطية المضادة للأكسدة لمستخلصين ميثانولين لنبات

Alkanna tinctoria L.

ثريا قماز، لخميسي عرعار، عبد الرحمان بغياني

مخبر البيوكيمياء التطبيقية: كلية علوم الطبيعة والحياة، جامعة فرحات عباس سطيف.

تاريخ الارسال: 04 جانفي 2021 / تاريخ القبول: 16 جوان 2021

الملخص (Abstract)

تهدف هذه الدراسة إلى تقدير محتوى مستخلصين ميثانولين، لنبات حمائر العلك *Alkanna tinctoria* ، من عديدات الفينول والفلافونويدات وتقييم النشاطية المضادة للأكسدة لهذين المستخلصين. تجدر الإشارة إلى أن نبات *Alkanna tinctoria* L. محدود الاستعمال في الطب الشعبي الجزائري. حضر مستخلصان ميثانوليان؛ الأول للجزء الهوائي (AP) والآخر للجذور (R). بين تقدير محتوى المستخلصين من عديدات الفينول والفلافونويدات، احتواء المستخلص (R) على أعلى محتوى من عديدات الفينول (264.018 مغ مكافئ حمض الغاليك/ غرام من المستخلص) ومن الفلافونويدات (7.247 مغ مكافئ quercetin / غرام من المستخلص). قيمت

النشاطية المضادة للأكسدة باختبار إزاحة DPPH واختبار القدرة الإرجاعية واختبار تثبيط أكسدة β -كاروتين. أبدى المستخلص (AP) أعلى نشاطية إزاحة لجذر DPPH ($IC_{50} = 0.048 \pm 0.0012$ مغ/مل). تميز المستخلص (R) بنشاطية إرجاع عالية ($EC_{50} = 0.022 \pm 0.001$ مغ/مل) إلا أنها أقل من نشاطية BHT ($EC_{50} = 0.017 \pm 0.0002$ مغ/مل). كما أبدى المستخلص (R) في اختبار β -كاروتين، نشاطية جيدة في تثبيط الأكسدة (88.8 %) لكنه أقل فعالية مقارنة بـ BHT (98.16 %). تؤكد هذه النتائج، الخصائص العلاجية التي تتميز بها نبتة *A. tinctoria* والتي يجب استكمالها بهدف استعمالها على مستوى العلاج السريري.

1. المدخل (Introduction)

تتميز النباتات الطبية بمجموعة متنوعة من الأنشطة البيولوجية والدوائية. إنها خزان لمجموعة واسعة من المستقلبات الثانوية؛ بما في ذلك القلويدات والفلافونويدات والديغ والتربينويدات (Zerargui وآخرون، 2015). تتدخل هذه المستقلبات الثانوية في وظائف مختلفة في النباتات، ولها أنشطة بيولوجية مختلفة، لاسيما القدرة المضادة للأكسدة وخاصة ضد الأكسدة الناجمة عن الأنواع الأكسجينية؛ السبب المباشر للأمراض مختلفة مثل الشيوخة والسرطان (Ou وآخرون، 2019).

من بين هذه النباتات، *Alkanna tinctoria* L. المعروفة باللغة العربية باسم عود حواء وبالفرنسية باسم Orchanet، (Elsharkawy وآخرون، 2013) وتعرف، محليا، عند بعض سكان منطقة سطيف بحماير العلك. *Alkanna* هو جنس من النباتات العشبية التي تضم حوالي 50 نوعاً من عائلة Boraginacea (Salimikia وآخرون 2015).

A. tinctoria عشبة معمرة يبلغ ارتفاعها حوالي 40 سم. السيقان كثيفة وخضراء رمادية وناعمة ذات شعيرات طويلة. الأوراق مستطيلة الشكل ورمحية وناعمة، بينما الأزهار ذات لون أزرق فاتح. جذورها محاطة بلحاء بلون بني محمر داكن (Darshan وDoreswamy، 2004 : Wichtl 2004).

أستعملت هذه التبتة منذ عصور قديمة، إذ أن الطبيب اليوناني أبقرراط ذكر أنه يمكن استعمال جذور *A. tinctoria* لعلاج الأمراض الجلدية المختلفة (Papageorgiou وآخرون 2008). تستخدم الجذور

الكلمات الدالة (Keywords): *Alkanna* L.

tinctoria ، عديدات الفينول ، الفلافونويدات النشائية المضادة للأكسدة.

Abstract

The aim of this study is to estimate the content of two methanolic extracts of *Alkanna tinctoria* L., of polyphenols and flavonoids, and to evaluate the antioxidant activity of these extracts. It should be noted that the use of *Alkanna tinctoria* L. in Algerian folk medicine is limited.. Two methanolic extracts were prepared, one for the aerial part (AP) and the other for the roots (R). The determination of the content of the extracts of polyphenols and flavonoids, indicate that the extract (R) contained the highest content of polyphenols (264.018 mg gallic acid equivalent / g of extract) and of flavonoids (7.247 mg equivalent of quercetin / g of extract). The antioxidant activity was assessed by the DPPH scavenging test, peroxidation inhibition assay using β -carotene and the reducing power test. The extract (AP) exhibited the highest DPPH root scavenging activity ($IC_{50} = 0.048 \pm 0.0012$ mg / mL). In the β -carotene test, the extract (R) showed significant activity in inhibiting oxidation (88.734%), but was less effective compared to BHT (98.16%). The extract (R) was characterized by a high reducing activity ($EC_{50} = 0.022 \pm 0.001$ mg / ml) which was lower than that for BHT activity ($EC_{50} = 0.017 \pm 0.0002$ mg / ml). These results confirm the therapeutic properties of *A. tinctoria* that must be explored for possible use in human therapy.

Key words: *Alkanna tinctoria* L. , polyphenols, flavonoids, antioxidant activity

: النشاط الإزاحي لجذر DPPH وتثبيط فوق أكسدة الحمض لينولييك والقدرة الإرجاعية.

2. المواد والطرائق (Materials and methods)

2.1. النبتة

جريت نبتة *Alkanna tinctoria* من منطقة واد بوسلام ولاية سطيف. تم التعرف عليها من قبل الأستاذ بشير أوجحيج من جامعة الحاج لخضر باتنة. غسلت النبتة جيدا ثم فصل الجزء الهوائي للنبتة عن الجذور ثم قطع كلا الجزئين إلى قطع صغيرة وترك ليحفظ كليا في درجة حرارة الغرفة وفي الظل، طحن بعدها للحصول على مسحوق يحفظ بعيدا عن الضوء إلى حين استعماله.

2.2. تحضير المستخلصين الميثانوليين لنبتة

Alkanna tinctoria

حضر المستخلص الميثانولي لكلا الجزئين من النبتة؛ الجزء الهوائي والجذور حسب طريقة Abdelouhab وآخرون (2019). تم نقع مسحوق كلا الجزئين للنبتة على حدة في الميثانول النقي بنسبة 10 / 1 (وزن / حجم)، لمدة أسبوع في درجة حرارة المخبر، كررت العملية مرتين. تم ترشيح المستخلص وتبخير الميثانول باستعمال جهاز التبخير، حفظ المستخلص المتحصل عليه إلى حين الاستعمال.

على نطاق واسع ضد اليرقان وحصى الكلى ولها تأثير مضاد للجراثيم وقابض. كما تستخدم في علاج القرحة المعدية والالتهابات والحروق (Yousefi وآخرون، 2009 Khan وآخرون، 2015). من جانب آخر، يتم استخدام لحاء جذر *A. tinctoria* في مستحضرات التجميل مثل صبغة الشعر ذات اللون الأحمر (Dighe و Barve، 2016)، وكذلك في الصناعات الغذائية والمكملات الغذائية كملون طبيعي (Chaitanya Lakshmi، 2014).

يحتوي لحاء جذر *A. tinctoria* على خليط من أصباغ حمراء قابلة للذوبان في الدهون، والتي تتمثل أساسًا في 5,8-dihydroxy-1,4-naphtoquinone مثل shikonin و alkannin ومشتقات أخرى (Papageorgiou وآخرون 2008؛ Assimopoulou وآخرون، 2009).

تستخدم نبتة *A. tinctoria* في أوروبا خصوصا اليونان وباكستان وغرب آسيا كالصين وبعض البلدان المطلة على البحر الأبيض المتوسط (Salimikia وآخرون، 2015)، إلا أنها عندنا في الجزائر، تقريبا غير معروفة كنبتة ذات خصائص علاجية.

حسب المعلومات المتوفرة لدينا، تركزت الدراسات حول جذور هذه النبتة، أما الجزء الخضري فالمعلومات حول خصائصه العلاجية قليلة جدا، تهدف هذه الدراسة إلى تحضير مستخلصين ميثانوليين للجزء الخضري والجذور كل على حدة، ثم المقارنة بين هذين المستخلصين من حيث المحتوى من عديدات الفينول والفلافونويدات. ثم دراسة نشاطيهما المضادة باستعمال ثلاثة اختبارات

2.3. تقدير المركبات الفينولية والفلافونويدية

للمستخلصين الميثانولين لنبته *Alkanna tinctoria*

2.3. 1. تقدير عديدات الفينول الكلية

تم تقدير عديدات الفينول الكلية بطريقة Folin-Ciocalteu (Bentaher وآخرون، 2016). يتكون كاشف Folin-Ciocalteu من حمض الفوسفوموليبيديك وحمض الفوسفوتنغستيك تحدث عملية الأكسدة بين الكاشف والمجاميع الفينولية في وسط قاعدي ويؤدي ذلك إلى ظهور لون أزرق تقاس شدته بجهاز التحليل الطيفي. يتم وضع 100 ميكرو لتر من كلا المستخلصين في أنبوب الاختبار، يضاف لها 500 ميكرو لتر من Folin-Ciocalteu (مخفف 10 مرات). بعد 4 دقائق من الحضانة، يضاف 400 ميكرو لتر من كربونات الصوديوم Na_2CO_3 (7.5 %). بعد مرور ساعة ونصف من الحضانة في الظلام في درجة حرارة المخبر، تقاس امتصاصية الخليط في طول موجة 765 نانومتر. يحدد تركيز عديدات الفينول عن طريق منحني عياري ويعبر عن تركيز عديدات الفينول بمكافئ الملغرام من الحمض غاليك / غرام من وزن المستخلص .

2.3. 2. تقدير الفلافونويدات

تم تقدير محتوى المستخلص للفلافونويدات بطريقة كلوريد الألمنيوم AlCl_3 (Boussoulim وآخرون، 2015). تتكون رابطة قوية بين AlCl_3 وجذر OH للفلافونويدات ينتج عنها مركب أصفر عالي الامتصاصية عند طول موجة 430 نانومتر. عمليا، يضاف 500 مل من المستخلصين إلى 500 مل من

AlCl_3 مذاب في الميثانول بتركيز 2 %. ترج الأنابيب وتحضن 10 دقائق في درجة حرارة المخبر، تقاس بعدها الامتصاصية في طول موجة 430 نانومتر. يحدد تركيز الفلافونويدات عن طريق منحني عياري ويعبر عن تركيز الفلافونويدات بمكافئ الملغرام من الكرستين / غرام من وزن المستخلص الجاف.

2.4. دراسة النشاط المضادة للأكسدة

للمستخلصين الميثانولين لنبته *Alkanna tinctoria*

2.4. 1. اختبار إزاحة جذور DPPH

تم اختبار التأثير الإزاحي للمستخلصين لجذر DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) حسب Belkhiri وآخرون (2017). يعتمد هذا الاختبار على استعمال جذر DPPH ذي اللون البنفسجي الداكن والذي يتحول إلى اللون الأصفر عند إزاحته (إرجاعه) بواسطة المركبات المضادة للأكسدة، مما يؤدي إلى انخفاض الامتصاصية عند طول موجة 517 نانومتر. تحضن 50 ميكرو لتر من عدة تراكيز من المستخلص مع 1250 ميكرو لتر من محلول PPH الميثانولي بتركيز 0.004 % . بعد 30 دقيقة من الحضانة في الظلام تقاس الامتصاصية عند طول موجة 517 نانومتر. أستعمل BHT كمضاد أكسدة مرجعي وتم حساب نسبة إزاحة جذر DPPH كما يلي:

$$I \% = [(A_c - A_s) / A_c] \times 100$$

A_c : امتصاصية محلول DPPH؛

A_s : الامتصاصية في وجود المستخلص؛

تم التعبير عن النتائج بالتركيز المزيح لـ 50 % من جذر DPPH (IC₅₀).

2. 4. 2. اختبار القدرة الإرجاعية

يعتبر إرجاع Fe^{3+} كاشفاً لنشاطية منح الالكترونات والتي تمثل آلية مهمة في النشاط المضاد للأكسدة للمركبات الفينولية. تم قياس القدرة الإرجاعية للمستخلصين باستعمال طريقة Bencheikh وآخرون (2016). يمزج 0.2 مل من المستخلص بتراكيز مختلفة مع نفس الحجم من المحلول المنظم (0.2 مولر، pH = 6.6) و 0.2 مل من K_3FeCN_6 بعد الحضان لمدة 20 دقيقة في درجة حرارة 50°م لإرجاع ferricyanide إلى ferrocyanide، يضاف 0.2 مل من حمض Trichloroacetic (1%) لإيقاف التفاعل، ثم تجري عملية طرد مركزي بسرعة 3000 دورة /دقيقة لمدة 10 دقائق. يؤخذ 0.4 من الجزء الطافي ويضاف له 0.4 مل من الماء المقطر و 0.08 مل من $FeCl_3$ (0.1 %)، تقرأ الامتصاصية عند طول موجة 700 نانومتر لتقدير كمية ferrocyanide ferric المتشكل.

2. 4. 3. اختبار β -carotene / حمض

اللينولييك

تم تقدير النشاطية المضادة للأكسدة للمستخلصين بواسطة اختبار β -carotene حمض اللينولييك (Bouaziz وآخرون، 2015). ينتج عن أكسدة حمض اللينولييك جذور البيروكسيل، تؤدي هذه الجذور الحرة إلى أكسدة β -carotene، مما يؤدي إلى تغير اللون من الأحمر

إلى الأصفر، تقاس شدة اللون بجهاز التحليل الطيفي عند طول موجة 490 نانومتر. تقوم مضادات الأكسدة بإزاحة الجذور الحرة الناتجة عن أكسدة حمض اللينولييك، يؤدي إلى حماية β -carotene (Kartal وآخرون، 2007). يذاب 0.5 مغ من β -carotene في 1 مل من الكلوروفورم فيضاف له 25 ميكرو لتر من حمض اللينولييك و 200 مغ من Tween 40 يمزج هذا الخليط جيداً ثم يتم تبخير الكلوروفورم في جهاز التبخير في 40°م، تضاف 100 مل من الماء المقطر المشبع بالأكسجين. يمزج 2.5 مل من المستحلب مع 350 ميكرو لتر من المستخلص الميثانولي 2 مغ/مل تكرر العملية مع BHT كشاهد موجب والميثانول كشاهد سالب. يحضن المزيج في الظلام وتقرأ الامتصاصية عند طول موجة 490 نانومتر وذلك خلال الأزمنة 0 سا و 1 سا و 2 سا و 3 سا و 4 سا و 6 سا و 12 سا و 24 سا و 48 سا. تحسب النشاطية المضادة للأكسدة للمستخلصين عند 24 ساعة حسب العلاقة التالية:

$$AA\% = A_s / A_{s0} \times 100$$

A_{s0} : الامتصاصية في وجود المستخلص في الزمن 0 ساعة؛

A_s : الامتصاصية في وجود المستخلص.

2. 5. التحليل الإحصائي

يعبر عن كل القيم المحصل عليها بالمتوسط الحسابي (M) $\pm$ الانحراف المعياري (SD). عموماً، حلت النتائج إحصائياً عن طريق اختبار ANOVA one-way متبوعاً باختبار Tukey. استعمل برنامج

Graphpad Prism v.5.0 في رسم المنحنيات والتحليلات الإحصائية.

3. النتائج والمناقشة (Results and Discussion)

3.1. استخلاص وتقدير المركبات الفينولية والفلافونويدية للمستخلصين الميثانوليين لنبتة *Alkanna tinctoria*

تم الاستخلاص باستعمال الميثانول النقي 98 %، يسمح هذا باستخلاص عديدات الفينول والفلافونويدات وللزيادة في مردود الاستخلاص دامت عملية التّقع 7 أيام ثم تُكرّر عملية الاستخلاص مرتين أخريين. تميز مستخلص الجزء الهوائي (AP) بلون أخضر وبقوام لزج، في حين تميز مستخلص الجذور (R) بلون أحمر وبشكل مسحوق. قدر مردود الاستخلاص للجزء الهوائي وللجذور بـ 7 % و 8.28 % على التّرتيب.

عموماً، يعتمد مردود الاستخلاص على طبيعة المادة النباتية وأصلها ومحتواها من الرطوبة وحجم جزيئات أنسجة النبات وطول فترة الاستخلاص ونسبة المذيب / العينة (نسبة العينة إلى محلول الاستخلاص) والمذيب المستخدم للاستخلاص؛ يسمح الميثانول باستخلاص أكبر عدد ممكن من المركبات Tiwari وآخرون (2011).

تم تطبيق طريقة Folin-Ciocalteau لتقدير عديدات الفينول الكلية باستعمال حمض الغاليك لتحديد المنحنى العياري، تتميز هذه الطريقة بسهولة وفعاليتها. تم التعبير عن المحتوى الفينولي في المستخلص بعدد الملغرامات المكافئة

من حمض الغاليك لكل غرام من المستخلص، أظهرت النتائج أن مستخلص الجزء الهوائي يحتوي على 31.88 ± 94.11 مغ مكافئ حمض الغاليك/غ بالمقارنة مع مستخلص الجذور الذي يحتوي على 72.22 ± 234.83 مغ مكافئ حمض الغاليك/غ، نلاحظ أن كمية عديدات الفينول في الجذور أكبر منها في الجزء الهوائي.

تم تطبيق طريقة $AlCl_3$ لتقدير الفلافونويدات باستعمال quercetin لتحديد المنحنى العياري، يتم قياس كمية هذا المعقد لونها وكلما كانت كمية المعقد أكبر كلما كانت الامتصاصية في 430 نانومتر أعلى. يعبر عن النتائج بعدد ميلغرامات المكافئة لـ quercetin لكل غ من المستخلص، أظهرت النتائج أن مستخلص الجزء الهوائي يحتوي على 2.45 ± 6.61 مغ مكافئ quercetin / غ من المستخلص وبمقارنته مع مستخلص الجذور الذي يحتوي على 1.75 ± 7.4 مغ مكافئ quercetin / غ من المستخلص، نلاحظ أنه لا يوجد اختلاف في المحتوى من الفلافونويدات (الجدول).

الجدول: مردود مستخلص الجزء الهوائي والجذور لنبتة *Alkanna tinctoria* ومحتواها من عديدات الفينول والفلافونويدات.

المستخلص	المردود %	عديدات الفينول الكلية (مكافئ مغ حمض الغاليك / غ من المستخلص)	الفلافونويدات (مكافئ مع quercetin / غ من المستخلص)
AP	7	31.88 ± 94.11	2.45 ± 6.61
R	8.28	40.6 ± 264.83	0.208 ± 7.4

AP : الجزء الهوائي

R : الجذور

للأمراض ، والإصابات ، وتلوث الهواء وكذلك التعرض لدرجات حرارة عالية. المتطرفين (Treutter, 2006).

3. 2. دراسة النشاطية المضادة للأكسدة

لمستخلصي نبتة *Alkanna tinctoria*

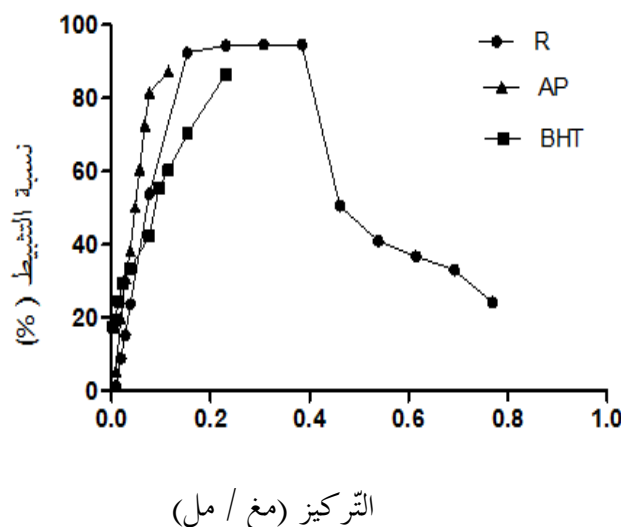
3. 2. 1. اختبار التأثير الإزاحي لجذور DPPH

تم تقدير التأثير الإزاحي للمستخلص عن طريق اختبار DPPH الذي يعتبر من أكثر الاختبارات استعمالا وفعالية في تحديد التأثير المضاد للأكسدة للمركبات الفينولية والمستخلصات النباتية حيث أن درجة التغير من اللون البنفسجي إلى اللون الأصفر يرتبط بالتركيزات المختلفة للعينات، تقاس الامتصاصية في طول موجة 517 نانومتر، حيث تتناقص الامتصاصية كلما ارتفع تركيز المستخلص. أظهرت النتائج أن المستخلصين لهما القدرة على إزاحة جذر DPPH بشكل يتناسب طرديا مع تركيزهما (شكل 1).

حسب Ozer وآخرون (2010)، يحتوي المستخلص الميثانولي لجذور *Alkanna tinctoria* على عديدات الفينول بمعدل 0.46 ± 58.56 مغ مكافئ حمض الغاليك / غ من المستخلص وعلى الفلافونويدات بقيمة 0.36 ± 24.81 مغ مكافئ quercetin / غ من المستخلص..

يختلف محتوى عديدات الفينول والفلافونويدات من حيث النوعية والكمية من نبات إلى آخر. يمكن أن يعزى ذلك إلى عدة عوامل: العوامل المناخية والبيئية والمادة الوراثية وفترة الحصاد، ومرحلة تطور النبات وطريقة الاستخلاص، كما يمكن أن تؤثر طريقة القياس الكمي أيضًا (Ebrahimi وآخرون، 2008).

يمكن أن يرتفع محتوى بعض المركبات الفينولية، بما في ذلك الفلافونويدات، أيضًا في ظل الظروف المجهدة التي تسببها الأشعة فوق البنفسجية ، والتهابات بالميكروبات والطفيليات المسببة

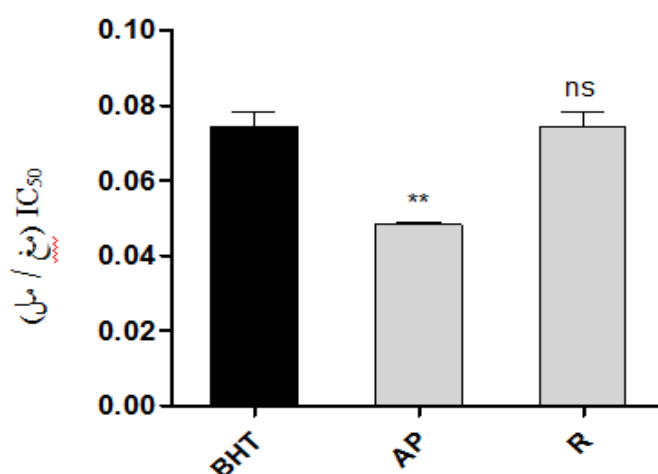


الشكل 1 : نسبة تثبيط جذور DPPH بمستخلصي نبتة *Alkanna tinctoria* بدلالة التركيز. R : الجذور ؛ AP : الجزء الهوائي. القيم عبارة عن المتوسط الحسابي (n=3).

أبدى مستخلص الجذور تأثيراً مؤيداً للأكسدة (pro-oxdyant)، ابتداءً من التركيز 0.4 مغ / مل. لوحظت هذه الظاهرة مع مضادات أكسدة أخرى؛

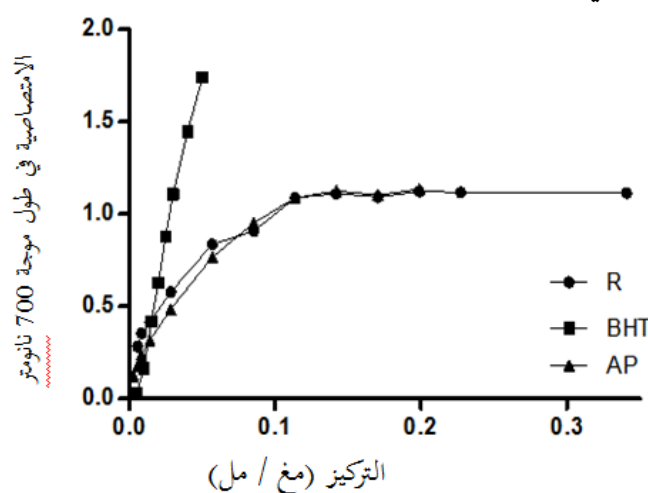
مثل الفيتامين C وذلك عند اختباريه بتركيز عالٍ (Rahal وآخرون، 2014).

تم حساب IC_{50} للمستخلصين وهو التركيز الموافق لتثبيط 50 % من جذر DPPH وأدنى قيمة له تعكس أحسن فعل إزاحي للمركبات. يبين الشكل 2 قيم IC_{50} لكلا المستخلصين وBHT.



الشكل 2 : قيم IC_{50} لمستخلصي نبتة *Alkanna tinctoria* بدلالة التركيز. R : الجذور ؛ AP : الجزء الهوائي. القيم عبارة عن المتوسط الحسابي $\pm$ الانحراف المعياري (n=3). ($p > 0.001$).

المضادة للأكسدة. تتفاعل المستخلصات التي تملك قدرة على الإرجاع مع فريسيانيد البوتاسيوم (Fe^{3+}) لتشكيل فيروسيانيد البوتاسيوم (Fe^{2+})، يتفاعل هذا الأخير مع كلورور الحديد لإعطاء مركب يمتص في طول موجة 700 نانومتر. من خلال هذه التجربة يتحول اللون الأصفر للمركبات المدروسة إلى اللون الأزرق المخضر بدرجات متفاوتة حسب درجة الإرجاع للمواد المضادة للأكسدة (Belkhiri وآخرون، 2017). يبين الشكل 3 أن المستخلصين لهما قدرة على إرجاع Fe^{3+} إلى Fe^{2+} ، يعبر عنها بالزيادة في الامتصاصية عند طول موجة 700 نانومتر وذلك بزيادة التركيز.



الشكل 3: القدرة الإرجاعية لمستخلصي نبتة *Alkanna tinctoria* بدلالة التركيز. R: الجذور؛ AP: الجزء الهوائي. القيم عبارة عن المتوسط الحسابي (n=3).

كلا المستخلصين يُرجعان Fe^{3+} إلى Fe^{2+} (شكل 3) لكن بنسب متفاوتة. يبين الشكل 4 قيم EC_{50} لكل من مستخلص الجزء الهوائي ($EC_{50} = 0.004 \pm 0.034$ مغ/مل) ومستخلص الجذور

أظهر مستخلص الجزء الهوائي ومستخلص الجذور قدرة على إزاحة جذر DPPH بقيمة $IC_{50} = 0.0012 \pm 0.048$ مغ/مل وبقيمة $IC_{50} = 0.074 \pm 0.006$ مغ/مل على الترتيب.

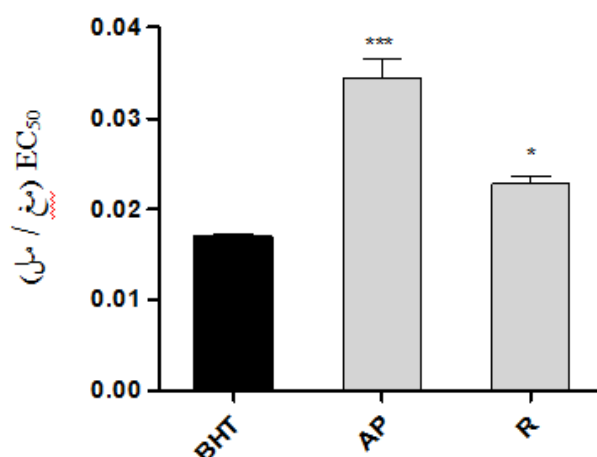
تظهر مقارنة هاتين القيمتين مع BHT ($IC_{50} = 0.087 \pm 0.001$ مغ/مل)، أنه لا يوجد فرق معنوي في حالة مستخلص الجذور. وأن مستخلص الجزء الهوائي يتميز بفعالية أكبر من تلك لـ BHT. قد يعود التأثير الإزاحي المرتفع لمستخلصي *Alkanna tinctoria* إلى غناهما بالمركبات الفينولية والفلافونويدات.

3. 2. 2. اختبار القدرة الإرجاعية.

تعكس الخاصية الإرجاعية قدرة المركبات الفعالة على منح الإلكترونات والتي تعتبر من الآليات

تم حساب التركيز الفعال (EC_{50} : effective concentration) الذي يوافق قيمة الامتصاصية 0.5، وكلما كانت قيمة EC_{50} أقل دلت على قدرة إرجاعية للمستخلص أكبر.

$EC_{50} = 0.001 \pm 0.022$ مغ/مل) و BHT ($EC_{50} = 0.0003 \pm 0.0170$ مغ/مل).



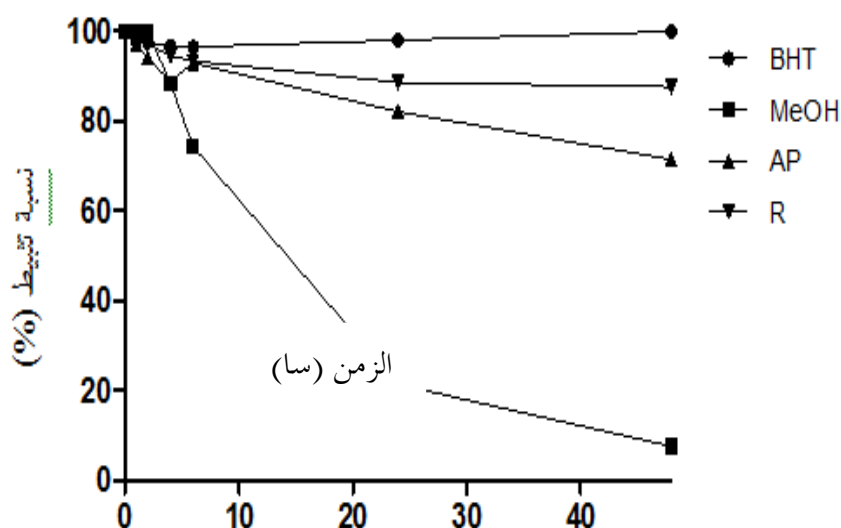
الشكل 4: القدرة الإرجاعية لمستخلصي *Alkanna tinctoria* R : الجذور ؛ AP: الجزء الهوائي (القيم عبارة عن المتوسط الحسابي ± الانحراف المعياري، n=3) (0.001 > p).

3. 2. 3. اختبار β -Carotène / حمض لينولييك

خلال عملية الأكسدة تفقد مجموعة الميثيلان لحمض اللينولييك ذرة هيدروجين (Baghiani وآخرون، 1998)، تقوم الجذور المتشكلة بمهاجمة الروابط المزدوجة لـ β -carotene لاستعادة استقرارها مؤدية بذلك إلى فقدان اللون البرتقالي الذي تتميز به الكاروتينويدات بصفة عامة وبذلك زوال لونها وانخفاض امتصاصيتها عند طول موجة 490 نانومتر. تبين نتائج حركية التثبيت (شكل 5) قدرة المستخلصين على تثبيت أكسدة β -carotene لكن بنسب مختلفة خلال 48 ساعة.

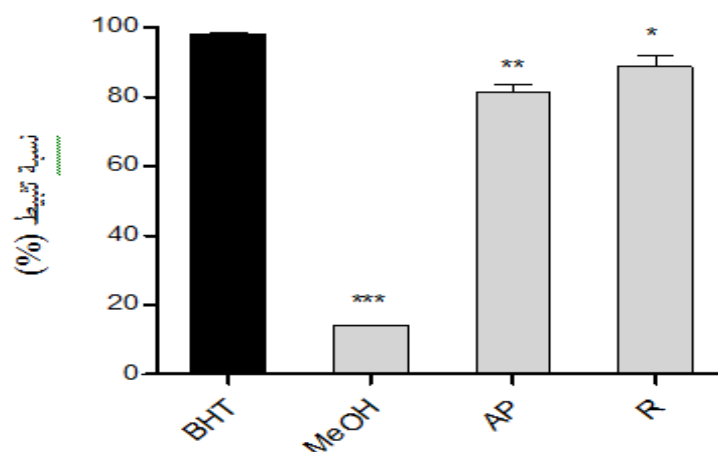
عند المقارنة بين قيم التراكيز الفعالة للمستخلصين و BHT ؛ تبين أن الفرق بين مستخلص الجذور و BHT معنوي (*، $p > 0.001$). تعكس القدرة الإرجاعية إمكانية منح الالكترونات وبالتالي القدرة على إبطال مفعول الجذور الحرة. قد تعود القدرة الإرجاعية للمستخلص إلى وجود المركبات الفينولية (Djidel وآخرون، 2013).

تجدر الإشارة إلى كون المستخلصات الحاوية على مركبات قطبية (مثل المستخلصات المحضرة بالماء أو الميثانول) تُظهر نشاطاً مضاداً للأكسدة معتبراً. نظراً لخصائصه غير القطبية، يتميز الزيت الأساسي لجذور *Alkanna tinctoria* بنشاط مضاد للأكسدة ضعيف (Ozer وآخرون، 2010).



الشكل 5: قدرة مستخلص *Alkanna tinctoria* على تثبيط أكسدة β -carotene بدلالة الزمن. R : الجذور ؛ AP : الجزء الهوائي. (القيم عبارة عن المتوسط الحسابي $\pm$ الانحراف المعياري n=3).

يبين الشكل 6 نسب النشاطية المضادة للأكسدة بالنسبة لاختبار β -carotene / حمض اللينولييك لكل من مستخلص الجزء الهوائي للنباتة ومستخلص الجذور وBHT.



الشكل 6 : نسب التثبيط لمستخلصي *Alkanna tinctoria* عند 24 ساعة باستعمال طريقة β -carotene / حمض اللينولييك. R : الجذور ؛ AP : الجزء الهوائي ؛ MeOH : شاهد سالب. (القيم عبارة عن المتوسط الحسابي $\pm$ الانحراف المعياري، n=3) ($p > 0.001$).

خلاصة (Conclusion)

وفقاً لنتائج هذه الدّراسة، أبدى المستخلصان الميثانوليّان لـ *Alkanna tinctoria* نشاطاً مضاداً للأكسدة معتبراً. تميز مستخلص الجزء الهوائي بأعلى نشاطية إزاحية لجذر DPPH، في حين أظهر مستخلص الجذور قدرة إرجاع عالية ونشاطية معتبرة في تثبيط أكسدة الليبيدات. قد تعود هذه النّشاطيات إلى محتوى المستخلصين من عديدات الفينول والفلافونويدات.

المراجع (References)

- Abdelouhab, K., Aouachria, S., Guemmaz, T., Charef, N., Baghiani, A., Louaileche, H., and Arrar, L. (2019). Comparative study of the polyphenol content related-antioxidant and anti-inflammatory activities of methanolic extracts from different parts of *Hertia cheirifolia*. Intern J Pharmac Res., 11 (4): 209-215.
- Assimopoulou, A. N., Sturm, S., Stuppner, H., Papageorgiou, V. P. (2009). Preperative isolation and purification of alkannin/shikonin derivatives from natural products by high-speed counter chromatography, Biomed. Chromatogr., 23(2): 182-198.
- Baghiani A., Boumerfeg S., Adjadj M., Ameni J., Djermouni M., Khelifi-Touhami F., Charef N., Khennouf S. and Arrar L. (2011). Antioxidants, free radicals scavenging and xanthine oxidase inhibitory potentials of *Ajuga iva* L. extracts. Free Radic Antioxid. J. 1(4): 21—30.
- Barve, K., Dighe, A. (2016). Hair Colours/Dyes, The chemistry and application of sustainable natural hair products, Springer, United States, pp. 45-50.
- Belkhiri F., Baghiani A., Zerroug M.M. Arrar L.(2017). Investigation of antihemolytic, xanthine oxidase inhibitory, antioxidant and antimicrobial properties of *Salvia verbenacal* L. Aerial part extracts. Afr J Tradit Complement Altern Med., 14(2): 273-281.

من خلال مقارنة نسب تثبيط المستخلص مع BHT الذي يعتبر من أقوى مضادات الأكسدة المنتجة صناعياً بعد مرور 24 ساعة (الشكل 6) حيث قدرت نشاطية BHT بـ 98.15%. في حين أظهر مستخلص الجزء الهوائي نشاطية مضادة للأكسدة قدرت بـ 82.22%، أما مستخلص الجذور فقد تميز بنشاطية مضادة للأكسدة قدرت بـ 88.73%. من خلال النّتائج المتحصل عليها في اختبار β -carotene / حمض اللينولييك، يتضح أن هناك علاقة طردية بين محتوى المستخلص من المركبات الفينولية والفلافونويدات والنّشاطية التثبيطية لأكسدة β -carotene. يمكن تفسير النّشاطية المضادة للأكسدة الكبيرة للمستخلصين لاحتوائهما على المركبات الأكثر قطبية حيث تملك قدرة عالية على التثبيط وقد يعود ذلك إلى أن هذا المستخلص يجمع بين عدد كبير من المركبات المحبة والكارهة للماء لها نشاطية مضادة للأكسدة بشكل تعاوني (Ivanova و Kyselova، 2006).

وفقاً لـ Haddadi (2005)، يبدو أن هناك عدة عوامل تتدخل في تثبيط أكسدة حمض اللينولييك، وهي طبيعة مضادات الأكسدة القابلة للذوبان في الدّهون أو القابلة للذوبان في الماء وتراكيزها. إن قابلية ذوبان الفلافونويدات وتوزيعها بين طورين في وسط دهني- مائي تؤثر على حماية الدّهون (Burda و Oleszek، 2001).

- Haddadi H. (2005). Détermination de l'activité antioxydante de quelques fruits. Mémoire de magister Université de Béjaïa, p76.
- Khan UA., H Rahman H., Qasim M., Hussain A., Azizllah A., Murad W, Khan Z., Anees M. and Adnan M. (2015). *Alkanna tinctoria* leaves extracts: a prospective remedy against multidrug resistant human pathogenic bacteria. BMC Complem Altern. Med., 15(127):1-6.
- Kyselova Y. and Ivanova D. (2006). Correlation between the in vitro antioxidant activity and polyphenol content of aqueous extracts from Bulgarian herbs. Phytother Res., 20: 961-965.
- Ou J, Wang M, Zheng J, and Ou, S. (2019). Positive and negative effects of polyphenol incorporation in baked foods. Food chem., 284: 90-99.
- Ozer MS, Sarikurkcü C, Tepe B, and Can S. (2010). Essential Oil Composition and Antioxidant Activities of Alkanet (*Alkanna tinctoria* subsp. *tinctoria*). Food Sci. Biotechnol., 19(5): 1177-1183.
- Papageorgiou, V., Assimopoulou, A., Ballis, A. (2008). Alkannins and shikonins: a new class of wound healing agents. Curr. Med. Chem., 15(30): 3248-3267.
- Rahal A, Kumar A, Singh V, Yadav B, Tiwari R, Chakraborty S, and Dhama K. (2014). Oxidative Stress, Prooxidants, and Antioxidants: The Interplay. BioMed Res Int., 19.
- Salimikia I, Yazdinezhad AR, Golfakhrabadi F, Esfahani HRM. (2015). *In vitro* antioxidant and free radical scavenging activity of four *Alkanna* species growing in Iran. Pharmacog. Res. 7 (1): 100-104
- Tiwari P, Kumar B, Kaur M , Kaur G , and Kaur H. (2011). Phytochemical screening and Extraction: A Review. Intern Pharmac Sc, 1: 98-106.
- Treutter, D. (2006). Importance des flavonoïdes dans la résistance des plantes: une revue. Lettres de chimie environnementale , 4 (3) : 147.
- Wichtl, M. (2004). Herbal drugs and phytopharmaceuticals: a handbook for practice on a scientific basis, CRC press, United States.
- Bencheikh D., Khenouf S., Bouaziz A., Baghiani A., Dahamna S., Amira S., Arrar L. (2016). Antioxidant and antidiabetic activities of the methanolic extract of *Olea europaea* L. leaves in streptozotocin induced diabetes in rats. Intern J Pharmacogn Phytochem Res; 8(8); 1347-1357.
- Bentaher A, Khenouf S, Bouaziz A, Baghiani A, Dahamna S, Amira S, Arrar L. (2016). Polyphenols Content and Antioxidant Activities of Selected Algerian Plants Used for Gastro-duodenal Ulcers. Der Pharma Chemica. 8 : 88-99.
- Bouaziz A, khennouf S., Abu zarga M., Abdalla S., Baghiani A., and Charef N. (2015) Phytochemical analysis, hypotensive effect and antioxidant properties of *Myrtus communis* L. growing in Algeria. Asian Pac J Trop Biomed; 5(1): 19-28.
- Boussoulalim N., Baghiani A., Krache I., Trabsa H., Kenouf S. and Arrar L. (2015). Inhibitory effects of *Anchusa azurea* extracts on xanthine oxidase activity and its hypouricemic effects on mice. Intern J Pharm Pharmac Sc., 7(8) : 195-199.
- Burda S and Oleszek W. (2001). Antioxidant and antiradical activities of flavonoids. J Agric Food Chem., 49: 2774-2779.
- Chaitanya Lakshmi, G. (2014). Food coloring: the natural way, Res. J. Chem. Sci., 4: 87-96.
- Darshan, S. and Dorewamy, R. (2004). Patented antiinflammatory plant drug development from traditional medicine. Phytother. Res., 18(5) : 343-357.
- Djidel S., Khenouf S., Ameni D., Baghiani A., Arrar L., and Charef N. (2013). Antioxidant proprieties of *Pistacia lentiscus* L. leaves extracts. Pharmacognosy Communications, 3(2) : 28-34.
- Ebrahimi, N.S., Hadian, J., Mirjalili, M.H., Sonboli A., et Yousefadi, M. (2008). Essential oil composition and antimicrobial activity of *Thymus caramanicus* at different phonological stages. *Food chemistry*, 110(4), 927-931.
- Elsharkawy E, Elshathely M, Abdeljaleel G, Ibrahim Al-johar H. (2013). Anti-inflammatory effects of medicinal plants mixture used by Bedouin people in Saudi Arabia. Herba Pol. 59 (3): 76-87.

Yousefi R, Ghaffarifar F, Dalimiasl A. (2009). The Effect of *Alkanna tinctoria* and *Peganum harmala* extracts on Leishmania major (MRHO/IR/75/ER) *in vitro*. Iran J Parasitol., 4 (1): 40-47.

Zerargui F, Boumerfeg S, Charef N, Baghiani A, Djarmouni M, Khenouf S, Arrar L, Musa H. Abu Zarga, Mohammad SM. (2015). Antioxidant Potentials and Xanthine Oxidase Inhibitory Effect of Two Furanocoumarins Isolated from *Tamus communis* L. Med. Chem. 11:506-513.

المعلوماتية الحيوية

في تدريس العلوم الطبيعية

أ.عبد الكريم كاملي

ظهور البيومعلوماتية كعلم مستقل كان نتيجة للحاجة الماسة التي تتطلبها كثرة البيانات البيولوجية التي تم الحصول عليها.

تتكون كلمة البيومعلوماتية أو المعلوماتية الحيوية من كلمتين:

بيولوجيا = علم الأحياء (Biologie (Biology

المعلوماتية = علم الحاسوب وتطبيقاته Informatique (Computer science)

علم الأحياء من تسميته هو العلم الذي يدرس الكائنات الحية من حيث الشكل والوظيفة. أي أن علم الأحياء يدرس وظائف الكائنات الحية وأسس التنوع بين الكائنات الحية الحيوانية والنباتية والكائنات الدقيقة وغيرها.

تحول علم الأحياء بداية من منتصف القرن الماضي من علم أحياء كلاسيكي يعتمد أكثر على الوصف والملاحظة إلى علم أحياء جزيئي يهدف إلى فهم الأسس الجزيئية لوظائف وأشكال الكائنات الحية. ويقصد بالمستوى الجزيئي هو دراسة الجزيئات والتي تنحصر أساساً على دراسة البروتينات بالدرجة الأولى والأحماض النووية (ADN و ARN).

والبروتينات هي جزيئات كبيرة (macromolécules) تتكون من عدد كبير من الأحماض الأمينية (يفوق

المعلوماتية الحيوية أو البيومعلوماتية هو ميدان علمي جديد عمره لا يتعدى 30 سنة. وهو علم هجين يجمع بين علمي الأحياء (البيولوجيا) وعلم الحاسوب (المعلوماتية). كما يحتاج هذا العلم الجديد إلى علوم أخرى أهمها الرياضيات، الفيزياء والكيمياء خاصة منها الفيزياء الحيوية (البيوفيزياء) والكيمياء الحيوية (البيوكيمياء).

تعريف البيومعلوماتية: هناك عدة تعريف

يمكن ذكرها ومنها:

1. تنظيم واستغلال المعطيات البيولوجية باستعمال تكنولوجيا المعلومات من حواسيب وبرامج وبنوك وشبكات.

2. تطبيق تكنولوجيا المعلومات (علم الحاسوب أو المعلوماتية) في تنظيم وتحليل البيانات البيولوجية. أي أن الحواسيب تستعمل لجمع، تخزين، تحليل ودمج البيانات البيولوجية. يمكن أن يقول قائل أن هذا ينطبق على كل ميادين العلوم المختلفة ولا يقتصر على علم الأحياء. هذا صحيح لكن ما يشهده علم الأحياء من انفجار كبير في كمية المعلومات المتوفرة لم يشهده علم آخر، كما أن هذه المعلومات هي ثمرة نتائج تجريبية لا يمكن استغلالها إلا بتخزينها بطريقة صحيحة وتطوير البرامج المناسبة لاستغلالها واستخراج معلومات تطبيقية منها. لذلك فإن

100 عادة وقد يصل إلى عدة آلاف) وهي الجزيئات المسؤولة عن وظائف الكائنات الحية. لا توجد وظيفة حيوية لا تتدخل فيها بروتينات (التنفس، الرؤية، الحركة، المناعة.... إلخ).

بدأ عصر البيولوجيا الجزيئية في خمسينيات القرن الماضي باكتشاف تتابع أول بروتين وهو الإنسولين من طرف العالم (Frederick Sanger) في سنة 1951 واكتشاف بنية الحمض الريبي النووي منقوص الأكسجين (ADN) من طرف العالمين (Watson) و (Crick) في سنة 1953 واكتشاف بنية أول بروتين (الميوغلوبين) سنة 1958 من طرف العالم John Kendrew.

تبع ذلك اكتشاف الشفرة الوراثية من طرف العالم (Marshall Nirenberg) في 1964 والأحماض النووية الريبية وآلية تركيب البروتين بعد ذلك في ستينيات القرن الماضي.

في السبعينات تمكن العلماء من اكتشاف طرق تسمح بتحديد تتابع القواعد في ADN مما سمح بانطلاق عمليات تحديد تتابع أنواع الجينوم في مختلف الكائنات بداية بالفيروسات في نهاية السبعينات ووصولاً إلى مشروع جينوم الإنسان الضخم في بداية التسعينات والذي دام أكثر من

10 سنوات وتم استكماله في سنة 2003. كانت سرعة الاكتشافات تزداد بتطور طرق التحليل التي أصبحت مع مرور الوقت أكثر دقة وتتم بصورة آلية (Automatique).

تزايد حجم المعلومات كان في 3 ميادين:

تتابع الأحماض الأمينية في البروتينات؛

البنيات الفراغية للبروتينات؛

تتابع القواعد في أنواع الجينوم؛

هذا التزايد كان واضحاً في العشرية الأولى من القرن الحالي ويمكن توضيح ذلك من خلال الإحصائيات المتوفرة في بعض البنوك المعروفة والتي يمكن الرجوع إليها على الشبكة.

1- بلغ عدد البروتينات التي تم تحديد تتابع

الأحماض الأمينية فيها يوم 6 أبريل 2019

559228 بروتين تحتوي على ما يقارب

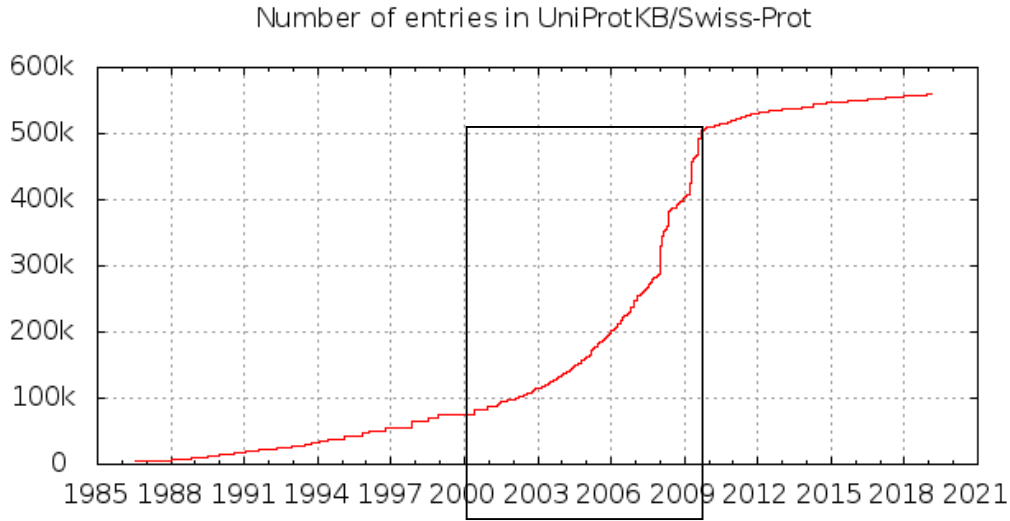
200905869 حمض أميني وكان التزايد في حجم

المعلومات كبيراً بين سنتي 2000 و 2010 (العشرية

الأولى من القرن الحالي) تنتمي هذه البروتينات إلى

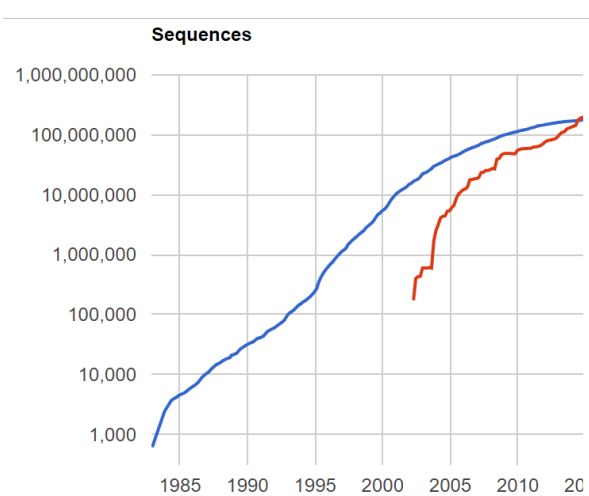
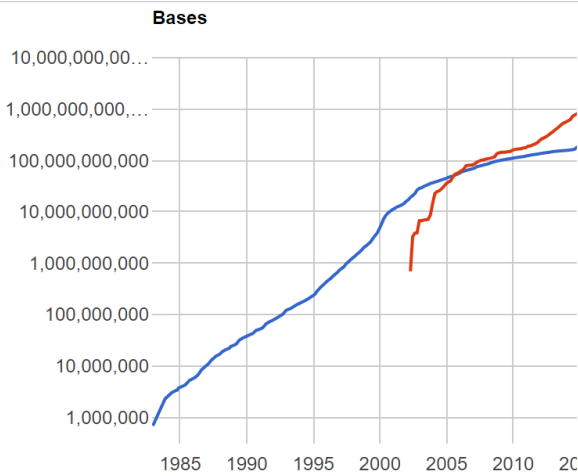
عدد كبير من أنواع الكائنات الحية (الإنسان

والحيوان والنبات والكائنات الدقيقة).



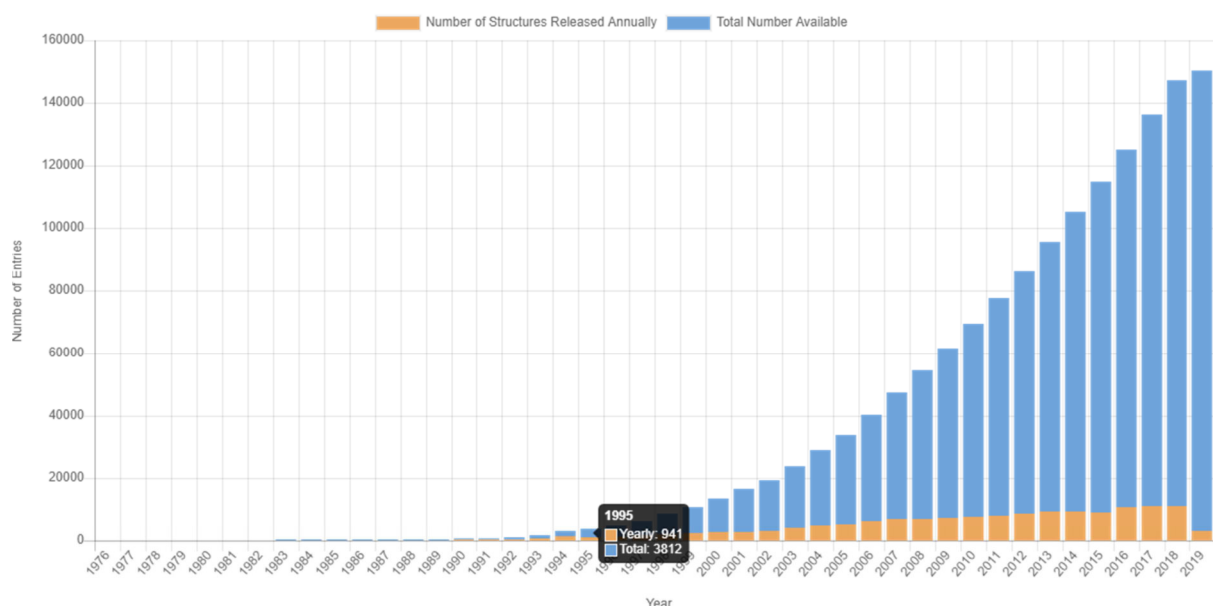
مليار قاعدة في البنك يوم 08 أبريل 2019. وهذه القواعد تابعة لأكثر من 100 مليون جزيئة ADN أو ARN.

كما تزايد عدد القواعد الآزوتية في بنوك المورثات بدرجة أكبر من الأحماض الأمينية ويمكن ملاحظة ذلك من خلال بنك المورثات المعروف بـ (Genbank). يشير المنحنى إلى بلوغ عشرة آلاف



ويوضح المنحنى الموالى كذلك التزايد الكبير في المعلومات منذ بداية القرن الحالي (منذ سنة 2000).

أما عدد البنيات الفراغية التي تم تحديدها إلى غاية 08 أبريل 2019 في البنك الخاصّ بالبنيات الفراغية والمعروف باسم PDB (Protein Data Bank) فكان 150593 بنية فراغية لبروتين.



بهذه الطريقة ولد البيومعلوماتية التي عمرها الآن حوالي 30 سنة.

يمكن تلخيص اهتمامات هذا العلم في مايلي:

- الحصول على المعلومات البيولوجية ثم تخزينها في بنوك المعلومات؛
- تطوير برامج (برمجيات) لتحليل المعلومات التي تم تخزينها في بنوك المعلومات؛
- استعمال البرمجيات لتحليل المعلومات وتفسير العديد من الظواهر البيولوجية والتنبؤ (اكتشاف) وظائف أو ظواهر أو علاقات جديدة؛
- تطوير برامج لعرض البنية ثلاثية الأبعاد للبروتينات أو الأحماض النووية لفهم الوظائف الحيوية على المستوى الجزيئي؛

للتعامل مع هذا التزايد الكبير للمعلومات تم إنشاء بنوك البيانات (المعلومات) Databases ابتداء من نهاية الثمانينيات من القرن الماضي وتم وضعها على شبكة الإنترنت في متناول الباحثين والمهتمين بصورة مجانية كما تم تزويد المواقع بمحركات بحث تسمح بإيجاد المعلومات المناسبة بسرعة. كما تم بالموازاة تصميم برامج متخصصة في معالجة وتحليل هذه البيانات من طرف مختصين في الإعلام الآلي (البيومعلوماتية) وتوفير هذه البرامج للمستعملين بصورة مجانية أو بالمقابل. والعمل متواصل لتحديد وظيفة هذه المعلومات أو هذه الجزيئات ويحتاج إلى وقت طويل لإكماله.

-استعمال لمورثات سليمة لمعالجة مورثات مريضة (بإستبدالها أو منع التعبير) عنها أصبح ممكنا
تطلب هذا الميدان العلمي كذلك أشخاص مؤهلين يمكن أن نطلق عليهم البيومعلوماتين أو Bioinformaticiens.

ولهذا الغرض تم إحداث تكوين جديد وشهادات جديدة في تخصص جديد هو البيومعلوماتية في العديد من جامعات العالم في مستوى ليسانس (التدرج) أو الماستر والدكتوراه (بعد التدرج). يتم خلال هذا التكوين إدراج مقررات خاصة بالبيولوجيا وأخرى بالإعلام الآلي. الجيل الأول من المختصين كانوا بيولوجيين مهتمين بالإعلام الآلي أو العكس. لكن الأجيال الجديدة تلقت تكويناً مزدوجاً حيث يحتاج المختصون في البيومعلوماتية إلى نوعين من التكوين.

تتلخص النظرة الحالية للتكوين في ميدان البيومعلوماتية في مستويين:

تكوين عام في أسس البيومعلوماتية لكل طلبة علم الأحياء والفروع المرتبطة به مثل العلوم الطبية والزراعية وغيرها في شكل مقرّر واحد أو اثنين خلال سنوات التكوين حتى يتمكن طالب البيولوجيا من استغلال البيانات بصورة أفضل؛ تكوين متخصص لتخريج مختصين في البيومعلوماتية لتصميم التطبيقات وتنظيم البيانات بالإضافة إلى مساعدة الباحثين غير المختصين في شكل فرق بحث متعددة التخصصات.

• مقارنة تسلسل القواعد لاكتشاف اختلاف أو تقارب المعلومات الوراثية بين أنواع الكائنات المختلفة

تحتوي بنوك المعلومات الأساسية على معلومات تخص تتابع القواعد في ADN والبروتينات بالإضافة إلى بنيات البروتينات وبيانات التعبير المورثي؛

كما تحتوي بنوك المعلومات الثانوية على معلومات ناتجة من تحليل المعلومات الأساسية ويتعلق ذلك بتصنيف البنيات وإيجاد العلاقات بين التتابعات واكتشاف الطفرات؛

• من أهم مميزات البنوك هو التنظيم الجيد للبيانات وتسهيل الوصول إليها من مختلف أنحاء العالم

• بالإضافة إلى أدوات معلوماتية لعرض البيانات في أشكال أسهل للمستعمل.

ولهذا العلم تطبيقات متعددة في عدة ميادين من بينها:

الطب الجزيئي Molecular medicine:

-الحصول على معلومات حول الجينوم سمح بإيجاد المورثات الخاصة بالأمراض أي الأساس الجزيئي للمرض الوراثي مما يسمح باقتراح علاجات أفضل أو اختبارات مبكرة للوقاية من المرض؛

-فهم الأسس الجزيئية للمرض ودراسة تأثير الدواء باستعمال الطرق البيومعلوماتية يسمح بإنتاج أدوية أكثر فعالية وخاصة تثر على أسباب المرض وليس فقط الأعراض بأقل الأعراض الجانبية الممكنة؛

ماهي الوضعية في الجزائر؟

هناك أفراد مهتمين بالبيومعلوماتية في بعض الجامعات الجزائرية قد يكون بعضهم قد تلقى تكويناً متخصصاً في جامعات أجنبية. وهناك مبادرات فردية لإدراج تطبيقات بيومعلوماتية في برامج التكوين لطلبة البيولوجيا. كما تم إدراج بعض المبادئ الأساسية (برامج معلوماتية بسيطة) في السنة الثالثة من التعليم الثانوي لمادة العلوم الطبيعية.

مثال: برنامج (Anagene) لتحليل ومقارنة المعلومات الوراثية وبرنامج (Rastop) لغرض ودراسة البنية الفراغية للبروتينات.

إدخال البيومعلوماتية في التعليم في الجزائر.

بالإضافة إلى أهمية البيومعلوماتية في البحث فإن لها كذلك في التعليم حيث أصبح تعلم وتعليم كل جوانب علم الأحياء يحتاج إلى توظيف الأدوات والطرق البيومعلوماتية.

تحتوي البرامج الجامعية في الجامعات المتطورة على مختلف التخصصات المرتبطة بعلم الأحياء مثل الطب مختلف فروع وعلم الأحياء بمختلف فروع بالإضافة إلى العلوم الزراعية والبيطرية وغيرها على مقررات تدرس وتعلم الطلبة هذه الأدوات البيومعلوماتية والبنوك المعلوماتية المختلفة وتطبيقاتها المختلفة.

سيتم خلال المداخلة تقديم أمثلة عن أهمية استعمال الأدوات البيومعلوماتية في تعليم وتعلم مادة العلوم الطبيعية في عدة مواضيع مثل دراسة المعلومات الوراثية والطفرات وتركيب البروتين وبنية

البروتينات والنشاط الإنزيمي وغيرها من المواضيع الأساسية في تدريس مادة العلوم الطبيعية ابتداء من المستوى الثانوي (الثانية والثالثة ثانوي) وفي المستوى الجامعي بصورة أكثر تفصيلاً وتعمقاً في عدة وحدات ومعظم التخصصات المرتبطة بالبيولوجيا والعلوم الطبيعية.

ماذا يضيف إدخال الوسائل والطرق البيومعلوماتية لتعليم مادة العلوم الطبيعية خاصة في المستوى الثانوي؟

في المستوى الثانوي يبدأ التلميذ بالتعرف على بعض أسس البيولوجيا الجزيئية مثل دراسة الحمض الريبي النووي منقوص الأكسجين (ADN) وآلية التضاعف. كما يدرس أثر التغير في المعلومات الوراثية (الطفرات) في ظهور الأمراض الوراثية.

كما يدرس التلميذ في نهاية المرحلة الثانوية كيفية تحويل المعلومات الوراثية في عملية الاستنساخ والترجمة أثناء عملية تركيب البروتين.

بالإضافة إلى دراسة الأسس الجزيئية لوظائف حيوية هامة مثل المناعة والتنفس والتركيب الضوئي والاتصال العصبي. حيث يقوم التلميذ بدراسة البنية الفراغية للبروتينات لغرض الوصول إلى فهم آلية عمل هذه البروتينات وبالتالي فهم الوظيفة الحيوية بدرجة أفضل.

وقد أسهم إدخال الطرق والوسائل البيومعلوماتية في توضيح العدد من الظواهر التي كانت غامضة وإجراء عمليات تحويل كمية كبيرة من المعلومات الوراثية بطريقة سريعة ودقيقة.



دراسة تقييمية لتحصيل مفاهيم الكيمياء الفضائية عند طلبة المدرسة العليا للأساتذة بالقبة- الجزائر

حزي صالح¹، مجاجي حمزة²

¹ استاذ محاضر بالمدرسة العليا للأساتذة بالقبة الجزائر. مخبر تعليمية العلوم الفيزيائية.

hazzi_salah@yahoo.fr

² ماستر بالمدرسة العليا للأساتذة. القبة-الجزائر-

تاريخ الارسال: 21 جانفي 2021 / تاريخ القبول: 27 أفريل 2021

الملخص (Abstract):

في نهاية دراستهم يتوجب على الطلبة – الأساتذة، المشرفين على التخرج أن يكونوا قد شكلوا بنية مفاهيمية فعالة تعكس بصورة واضحة تحصيلهم للمعارف المستهدفة من طرف التعليم.

إنّ عدم تحكم الطلبة في مفاهيم الكيمياء الفضائية في الحالة الساكنة مقرونة بالقدرة على استعمال وشرح مختلف التمثيلات الفضائية قد يشكل لهم عائقا في دراسة الكيمياء العضوية (Barlet & Plouin 1997).

نحاول من خلال هذا العمل تحليل مدى قدرة الطلبة الأساتذة للمدرسة العليا بالقبة على تحصيل المعارف المتعلقة بسجل التماكب الفضائي (التماكب

الفضائي، الامتثال التشكيل، التخيل الدياستيريوميرية). لقد تم التعرف من خلال هذا العمل على بعض الصعوبات والالتباسات التي يعاني منها الطلبة في تحصيل هذه المفاهيم. كما تمّ تسجيل بعض التصوّرات البديلة التي طوّروها خلال تحصيلهم لمفهوم التماكب الفضائي. انطلاقا من النتائج المتحصل عليها، أدلينا ببعض الاقتراحات لتعليم هذا المحتوى التخصّصي.

الكلمات المفتاحية (keywords):

التماكب، طرق التمثيل، التماكب الفضائي التخيل، الدياستيريوميرية، الامتثال، التشكيل التصورات البديلة.

**Title : La stéréochimie à l'état statique :
Etude et évaluation de la compréhension conceptuelle des
étudiants de l'ENS Kouba-Alger.**

Hazzi Salah¹, Medjadji Hamza²

¹ MCA à l'Ecole Normale Supérieure de Kouba, Alger, Laboratoire de didactique des sciences,

hazzi_salah@yahoo.fr

² Master, Ecole Normale Supérieure de Kouba, Alger

Abstract :

Les futurs enseignants en fin de formation, devraient être construits une structure efficace de connaissance qui reflète au mieux l'appropriation des connaissances cibles fixée par l'enseignement.

Le non maîtrise des concepts de la stéréochimie en milieu statique accompagné d'une incapacité à utiliser et à expliquer les différentes représentations spatiales peut constituer un obstacle à l'interprétation de la réactivité (Barlet & Plouin 1997).

Dans ce travail nous chercherons à analyser dans quelle mesure de futurs enseignants de l'ENS Kouba ont intégré les savoirs relatifs à la stéréo-isométrie (isométrie, stéréo-isométrie,

conformation, configuration, énantiométrie, diastéréoisométrie).

Des difficultés et confusions dans l'intégration de ces concepts ont été mises en évidence. De leur incapacité à définir les concepts relatifs à la stéréo-isométrie et à expliquer les différentes représentations spatiales nous avons inféré quelques conceptions erronées et émis quelques suggestions pour l'enseignement de ce contenu disciplinaire.

Keywords :

Isométrie, stéréo-isométrie, conformation, configuration, énantiomère, dia-stéréomère, conceptions erronées.

1- المدخل (Introduction)

يعتبر تعليم الكيمياء الفضائية مدخلا أساسيا لتدريس الكيمياء العضوية لأن دراسة فاعلية الجزيئات العضوية في كل المراحل البيداغوجية تتطلب معرفة أولية لهندسة الجزيء (Pellegrin et al., 2003) والتماكب الفضائي الإمتثالي أو التشكيلي (Barlet & Plouin 1997).

إنّ حلّ المشكلات في إطار التماكب الفضائي يتطلب معرفة مفاهيم الكيمياء الفضائية مقرونة بالقدرة على استعمال وشرح مختلف التمثيلات الفضائية.

وقد يصعب مبدئيا معرفة فيما إذا كانت أخطاء الطلبة ناتجة عن نقص معرفي لهذه المفاهيم أم هي راجعة بكلّ بساطة إلى عدم قدرتهم على التعامل مع طرق التمثيل وشرحها.

لقد بيّنت عدّة أبحاث، أنّ عدم القدرة والشرح متواجدة بنسبة سائدة ضمن صعوبات الطلبة في دراسة التماكب الفضائي أثناء التعامل مع طرق التمثيل،

(Kozma et al., 2000 ; Kozma, 2003; Pellegrin, 1999; Boukhechem et al., 2011 ; Stull et al., 2012)

لقد قمنا من خلال هذا العمل بتقييم صعوبات الطلبة الناتجة عن النقص المعرفي لمفاهيم الكيمياء الفضائية والمتعلقة أساسا بمفاهيم التماكب الفضائي (الامتثال، التشكيل التخيل والدياستيريوميرية) وكذا عدم قدرتهم على التعامل مع طرق التمثيل (كرام، نيومن فيشر والمنظوري) التي قد

تعقد العملية التعليمية نظرا لهذا الاختلاف في المفاهيم وتعدّد طرق تمثيلها .

فما مدى قدرة الطلبة على استرجاع مختلف مفاهيم التماكب الفضائي من جهة وتوظيف تصوّره المذهني للتنسيق والربط بين مختلف التمثيلات من جهة أخرى إذ يعتبر هذا الرصيد المعرفي ضروريا لفهم محتوى التماكب الفضائي. إنّ عدم تحكمهم في هذا المدخل الأساسي، قد يكون عائقا في دراسة الكيمياء العضوية.

يتمحور الإطار النظري للتحليل حول الاعتبارات التالية:

- اعتبارات كيميائية:

إنّ تطبيق الصيغ الفضائية للمركبات كوسيلة لشرح الفاعلية، يعتبر مدخلا أساسيا لدراسة الكيمياء العضوية. حيث أنّ دراسة التماكب الفضائي تستلزم إدخال مفاهيم التماكب الامتثالي والتماكب التشكيلي وما ينبثق عنهما من مفاهيم تتعلق بالتخيل، والدياستيريوميرية. إنّ عدم تحكم الطلبة في مفاهيم الكيمياء الفضائية مقرونة بالقدرة على استعمال وشرح مختلف التمثيلات الفضائية قد يكون عائقا في دراسة الكيمياء العضوية (Barlet & Plouin 1997).

اعتبارات ديداكتيكية:

حتىّ هناك تحصيل مفاهيمي، يجب على الطالب أن يكون قادرا على تعريف المفهوم ثم موقعته في عقدة من عقد الشبكة المفاهيمية بطريقة منسجمة تمكّنه من حلّ المشكلات (Giordan, A. & De Vecchi, 1987)،

للقيام بهذا العمل وبطريقة صحيحة ينبغي على الطلبة، انطلاقاً من المعلومات المتحصّل عليها من خلال مختلف الدّروس، أن يكونوا قد حقّقوا "تحصيلهم المفاهيمي" بربط مختلف المفاهيم المتواجدة ويكثرون بهذا قد بنوا "بنية معرفيّة ذاتيّة" (Taber, 2005) تمكّنهم من إيصال المعرفة بطريقة صحيحة.

لقد أظهرت الدّراسات في هذا الموضوع أن تعليم وتعلم الكيمياء الفضائيّة يرتكز أساساً على طرق التّمثيل، حيث أن مختلف هذه الطّرق تمكن من شرح مفاهيم الكيمياء الفضائيّة (التّماكب الفضائي الامتثالي والتّشكلي مثلاً). من المعروف أنّ ذوي الاختصاص في الكيمياء يستعملونها بأريحيّة، بعكس غير المختصّين الذين يلاقون في غالب الأحيان صعوبات في التّعامل معهم (Kozma, 2003). إنّ الدّراسات قد بيّنت أنّ الطّلبة يعانون في معظم الأحيان من التّنسيق بين هذه الأنظمة والقيام بعملية المرور من تمثيل إلى آخر).

Bucat, B. & Mocerino, M. 2009). kozma & Russell, 1997; stieff & Mc Combs, 2006;

هذه الصّعوبات تظهر بوضوح خلال عملية التّقييم في القسم (Kozma, 2003). حتى يحقق الطلبة النّجاح في تعليمهم وحلّ مشاكل الكيمياء العضويّة بصفة عامّة والكيمياء الفضائيّة بصفة خاصّة يتوجّب عليهم القيام بتطوير قدرات البناء الشّرح والتّحويل لمختلف التّمثيلات (Stull et al., 2012).

وقد يصعب مبدئيّاً معرفة فيما إذا كانت أخطاء الطّلبة ناتجة عن نقص معرفي للمفاهيم أم هي

راجعة إلى عدم قدرتهم على التّعامل مع طرق التّمثيل وشرحها. لقد بيّنت عدّة أبحاث، أنّ عدم القدرة والشّرح متواجدة بنسبة سائدة ضمن صعوبات الطّلبة في دراسة التّماكب الفضائي أثناء التّعامل مع طرق التّمثيل (Kozma et al. 2000 ; Kozma, 2003 ; Pellegrin, 1999 ; Boukhechem et al. 2011 ; Stull et al. 2012).

إنّ نتائج أبحاث (Barlet et Plouin 1997) تظهر أيضاً أنّ بعض الطّلبة الفرنسيّين (ليسانس العلوم الفيزيائيّة) يجهلون الدّوران الحرّ لمجموعة من الذرّات حول الرّابطة البسيطة في الجزيء وما ينتج عنها من عدد لا متناه من الامتثالات. إنّ التّعرف على جزيئات المتماكبات الفضائيّة الامتثاليّة في سجل نيومان، ليست أيضاً سهلة وتنتج عن نقص في عدم التّحكم لتعريف المفاهيم (Boukhechem et al., 2011).

الطّلبة يعانون من إجراء عمليات الدّوران للتمييز بين مختلف امتثالات كرام (حالة الطّلبة الأمريكيّين في الكيمياء العضويّة، (Kuo et al., 2004).
الإشكاليّة: .

إنّ دراسة فاعليّة المركبات العضويّة في كل المراحل البيداغوجيّة، تتطلب معرفة أوليّة لهندسة الجزيء والمتماكبات الفضائيّة الامتثاليّة والتّشكليّة. (ص. القادري وآخرون، 1992) كما أنّ حلّ المشكلات في إطار التّماكب الفضائي يتطلّب معرفة مفاهيم التّماكب المستوي مقرونة بمفاهيم التّماكب الفضائي والقدرة على استعمال وشرح مختلف التّمثيلات الفضائيّة.

جمعت المعطيات بواسطة استبيان مكتوب
اشتمل على أربعة أسئلة تدور حول تعريف:
(أ)- التماكب البنوي. Isomérisie de constitution
(ب)- التماكب الفضائي. Stéréoisomérisie
(ج)- المتخايلات. Énantiomères
(د) -الدياستريومرات. Diastéréomères
تمت الدراسة على 50 طالباً (السنة الخامسة)
يحضرون شهادة الليسانس تخصص فيزياء-كيمياء
وقد درسوا نفس مقرر الكيمياء العضوية في السنة
الثالثة. هؤلاء الطلبة ينتمون إلى قطاع تكوين
أساتذة الثانوي بالمدرسة العليا للأساتذة بالقبة
(الجزائر). موضوع الاستبيان يخص المحتوى المدرس
خلال الجذع المشترك علوم دقيقة.

لقد وضّح الباحث للطلبة شروط الأجوبة على
اسئلة الاستبيان، (إغفال الاسم عدم تنقيط
الإجابة، المفاهيم الفردية، الخ). حدّد زمن الإجابة
ب 30 د، علماً أنّ محتوى الاستبيان كان قد حكم
من طرف أستاذ المادة بعد أن عرض على مجموعة
مكوّنة من 10 طلبة (خارج المجموعة المعنية) للتأكد
من أنّ الأسئلة المطروحة غير غامضة وهي في متناول
المستجوبين. إنّ اختيار طلبة المدرسة العليا دون
سواهم أملت الظروف التنظيمية الغير مواتية
للمؤسسات الاخرى.

ارتكز تحليل الأجوبة على التصنيف انطلاقاً من
الإطار المعرفي والأبحاث السابقة والمعطيات الجديدة
التي تظهر في الأجوبة. من أجل كل سؤال نسجّل
عناصر الأجوبة المفتاحية حتّى يتسنى لنا ترتيبها تحت
نفس الصّنف من أجل تقييم النّسب والبدء في
التمييز والشّرح (Robert & Bouillaguet, 2002, p28)

وقد يصعب مبدئياً معرفة فيما إذا كانت أخطاء
الطلبة ناتجة عن نقص معرفي لهذه المفاهيم أم هي
راجعة إلى عدم قدرتهم على التعامل مع طرق
التمثيل وشرحها أم الاحتمالين معا؟

فرضية البحث

"إنّ صعوبة حلّ المشكلات في إطار التماكب
الفضائي عند الطلبة هي ناتجة عن نقص معرفي
لمفاهيم التماكب بصفة عامّة مقرونة بعدم القدرة
على التمييز بين التماكب البنوي والتماكب
الفضائي"

أسئلة البحث:

هل بمقدور الطلبة استرجاع التعريفات المتعلقة
بمفاهيم التماكب البنوي، الفضائي، المتخايلات
والدياستريومرات؟ ما طبيعة الصّعوبات التي
يعانون منها في التمييز بين مفاهيم التماكب البنوي
ذي البعدين والتماكب الفضائي ذي الثلاثة أبعاد؟

2- الموادّ والطرائق (Materiels and Methods)

طريقة جمع وتحليل المعطيات:

تناول البحث دراسة كشفية، سعينا من خلالها
إلى معرفة مدى قدرة الطلبة على استرجاع سجل
مفاهيم التماكب أو الإيزوميرية انطلاقاً من فرضية
البحث.

تهدف الأسئلة إلى تقييم مدى قدرة الطلبة على
تعريف مفاهيم التماكب البنوي والفضائي والتمييز
بوضوح بين النوعين.

3-النتائج (Results)

النتائج المتعلقة بالتماكيبين: المستوي والفضائي .

1.3-التماكيب المستوي

(أ) تعريف التماكيب البنيوي:

التعريف النموذجي: هي جزيئات لها نفس

الصيغة المجملية (تشكل من نفس نوع وعدد

الذرات) ولكن تتميز بتنظيم مختلف لترتيب ذراتها أي
تختلف بطبيعة روابطها الكيميائية.

الجدول (05): تصنيف أجوبة الطلبة لتعريف
التماكيب البنيوي.

النسبة %	العدد	الإجابة
44%	22	مركبات لها نفس الصيغة المجملية وتختلف في الصيغة المفصلة.
16%	08	مركبات لها نفس الصيغة المجملية وتختلف في الصيغة المفصلة أي تختلف في ترتيب الذرات في المستوي.
20%	10	مركبات عضوية تملك نفس الصيغة الكيميائية / نفس الصيغة الجزيئية وتختلف بهندستها المستوية/ توزيع الذرات/ موضع الوظيفة/ موضع الجذور.
16%	08	التماكيب المستوي ينقسم إلى أنواع منها: موضعي، وظيفي، هيكلي.
04%	02	عدم الإجابة.

عشوائياً يدلّ على النقص المعرفي لمفهوم الصيغ
(مجملية، جزيئية، كيميائية ... الخ) أمّا عدم الإجابة
فيبقى في حدود (04%).

(ب)-تعريف التماكيب الفضائي:

التعريف النموذجي: (جزيئات تتميز بنفس
الصيغة المجملية (نفس الذرات) ونفس الترتيب
التسلسلي للذرات (نفس الروابط) وتختلف بترتيبها
في الفضاء

الملاحظة المباشرة للأجوبة تظهر أن الأغلبية
الساحقة (44%) من الطلبة استطاعت أن تعرف
التماكيب البنيوي على أنه يتميز بنفس الصيغة
المجملية ويختلف بالصيغ المفصلة. (16%) من بينهم
حسنوا هذه الإجابة بإضافة مفهوم "ترتيب الذرات
في المستوي" للتعريف السابق.

بالنسبة للأجوبة الغير موقفة البعض منهم
(16%) أعطى أنواع التماكيب المستوي بدلا من
تعريفه والبعض الآخر (20%) عرّف التماكيب تعريفا

الجدول (06): تصنيف أجوبة الطلبة لتعريف التماكب الفضائي.

النسبة %	العدد	الإجابة
18%	09	جزيئات لها نفس الروابط ولكن تختلف بموقع المتبادلات في الفضاء.
16%	08	متماكبات لها نفس الصيغة المجملية وتختلف بتشكيلها في إسقاط كرام كما في حالة التماكب الضوئي.
22%	11	ينقسم إلى متماكبات دورانية، هندسية، تشكيلية.
12%	06	التماكب الفضائي هو نوع مقرون - مفروق.
24%	12	تمثيل الجزيئات في ثلاثة أبعاد بإسقاط كرام، فيشر ونيومان.
08%	04	عدم الإجابة.

(ج)-تعريف المتخيلات:

يمكن تصوّر الإجابة النظرية الشاملة المحتملة لتعريف المتخيلات تبعا لقطع الأجوبة المجزئة التي ظهرت ضمن أجوبة الطلبة كالتالي:

هما متماكبان فضائيان لهما نفس الصيغة المجملية، نفس الروابط ويختلفان بموضع الذرات في الفضاء، وهما متناظران بالنسبة للمرآة المستوية يشكّلان صورا لبعضهما البعض، لكنهما غير قابلين للانطباق، يتميزان بتشكيل مطلق متعاكس.

أجوبة الطلبة:

لقد جمّعت أجوبة الطلبة ضمن مختلف التصنيفات تبعا للكلمات المفتاحية المستعملة ضمن أجوبتهم. يمكن أن تظهر في الإجابة الواحدة عدّة كلمات مفتاحية. لقد حسبت مختلف النسب تبعا للعدد الكلي للطلبة المعنيين.

الملاحظة المباشرة للأجوبة تظهر أنّ نسبة صغيرة (18%) من الطلبة، وفّقت إلى حدّ ما في تعريف المتماكبات الفضائية على أنّها متماكبات تتميز بنفس (الروابط) وتختلف بترتيب ذراتها في الفضاء مع عدم ذكر الصيغة المجملية التي تعتبر شرطا أساسيا في التعريف. البعض منهم (16%)، حسن هذه الإجابة بإضافة العوامل المشتركة بين المتماكبات الفضائية أي "... نفس الصيغة المجملية (نفس الذرات)" ونفس الترتيب التسلسلي للذرات (نفس الروابط) وأخيرا نسبة (22%) قسمتها إلى متماكبات دورانية هندسية وتشكيلية.

بالنسبة للأجوبة الغير موفّقة نسبة (12%) منهم حصرت التماكب الفضائي في نوع من الأنواع التشكيلية (مقرون-مفروق) دون سواه، والبعض الآخر (24%) قرن التماكب الفضائي بطرق التمثيل «.. كل مركب يمكن إسقاطه في ثلاثة أبعاد بواسطة طرق التمثيل الثلاثة (كرام، فيشر، نيومان)»

الجدول (07): مكّونات تعريف المتخايلات المسترجعة من طرف الطّلبة.

الإجابة	العدد	النّسبة
المتخايلان هما متماكبان فضائيان.	03	06%
لهما نفس الصّيغة المجملّة، نفس الرّوابط ويختلفان بموضع الذّرات في الفضاء.	07	14%
متناظران بالنّسبة للمرآة المستويّة.	06	12%
صور لبعضهما البعض.	17	34%
غير قابلين للانطباق.	04	08%
يتميّزان بتشكيل مطلق متعاكس.	08	16%
عدم الإجابة.	05	10%

الملاحظة المباشرة للأجوبة تظهر أنّ قطع الأجوبة المجزّئة للطّلبة، تبين أنّهم يواجهون صعوبات في تعريف المتخايلات.

عدد مهمّ من الطّلبة (34%) استطاع أن يسترجع العنصر الأكثر شيوعا الذي يتميّز بها المتخايلات (صور لبعضهما البعض) وكذا التناظر بالنّسبة للمرآة المستويّة (12%) إلّا أنّ ميزة "عدم الانطباق" لم تذكر إلّا من طرف نسبة ضئيلة منهم (08%). بالرّغم من أنّ (14%) منهم ذكرت الشرط الأساسي المتمثل في "نفس الصّيغة المجملّة" واختلاف تموقع الذّرات في الفضاء، فوصف «المتخايلان كمتماكبان فضائيان» لم يذكر إلّا من طرف عدد ضئيل منهم (06%). أمّا الإشارة إلى خاصيّة التشكيل المتعاكس فلم تسترجع إلّا من طرف (16%).

(د) -تعريف الدياستيريومرات:

بعض التعريفات من المعرفة المدرسة:

- إنّ المتماكبات الفضائيّة التي لا تشكّل متخايلات (ليست صوراً لبعضها البعض وغير قابلة للانطباق على بعضها البعض) هي دياستيريومرات؛

- الدياستيريومرات هي متماكبات فضائيّة تحتوي على الأقلّ على مركز كيرالي مشترك (له نفس التشكيل) وتختلف بتشكيل مركز كيرالي على الأقلّ؛ مقارنة بالمعرفة المدرسة يمكن تصوّر الإجابة النظريّة الشّاملة المحتملة لتعريف الدياستيريومرات تبعا لقطع الأجوبة التي ظهرت ضمن أجوبة الطّلبة كالآتي:

مركبات لها نفس الصّيغة المجملّة والمفصلة ولكّنها تختلف في التشكيل، ليست صوراً لبعضها البعض. المرآة المستويّة، غير قابلة للانطباق على بعضها البعض.

أجوبة الطّلبة:

لقد جمعت أجوبة الطّلبة ضمن مختلف التصنيفات تبعا للكلمات المفتاحيّة المستعملة. يمكن لعدّة كلمات مفتاحيّة أن تظهر في الإجابة الواحدة. لقد حسبت مختلف النّسب تبعا للعدد الكلّي للطّلبة المعنّين.

الجدول (08): مكوّنات تعريف الدياستيريومرات المسترجعة من طرف الطّلبة

النّسبة	العدد	الإجابة
X	X	هي تماكبات فضائيّة لا تشكل متخيلات (من المعرفة المدرسة).
%26	13	ليست صورا لبعضها في المرآة المستويّة.
%18	09	غير قابلة للانطباق على بعضها البعض.
X	X	تماكبات فضائيّة تحتوي على مركز كيرالي مشترك على الأقل (له نفس التشكيل) (من المعرفة المدرسة).
X	X	تماكبات فضائيّة تختلف بتشكيل مركز كيرالي على الأقل (من المعرفة المدرسة).
%20	10	مركبات لها نفس الصّيغة الجعلة والمفصلة ولكنها تختلف في التشكيل.
%36	18	عدم الإجابة.

4- المناقشة (Discussion)

لقد قمنا في هذا العمل بمحاولة التعرّف على مدى استيعاب واسترجاع الطّلبة -الاساتذة لسجّل مفاهيم التّماكب بصفة عامّة والتّماكب الفضائي بصفة خاصّة، علما أنّ هذا السّجل يميّز بترباط عدد كبير من المفاهيم المهمة اللازمة لوصف الهندسة المجسّمة للجزيئات.

من خلال هذا العمل المنجز والمناقشة التي قمنا بها، حاولنا التعرّف على الصّعوبات المتعدّدة التي تعترض الطّلبة في التعامل مع مختلف المفاهيم التّماكب.

(أ) تعريف التّماكب البنيوي:

يظهر من خلال الإجابات الموفقة للطلبة أنّه بالرّغم من تمكّنهم من تعريف التّماكب البنيوي على أنّه يعبر عن الحالة التي يمكن فيها لصيغة جعلة أن تتوافق مع عدة مركبات مختلفة بصيغها

الملاحظة المباشرة للأجوبة تظهر أنّ هناك نسبة مرتفعة (36%) لعدم الإجابة على السّؤال. هذه النّسبة جاذبة للانتباه إذا ما قورنت بمثلتها في تعريف المتخيلات.

بالنّسبة للذين أجابوا، نلاحظ أنّهم استرجعوا عددا محدودا من العناصر الدّاخلية في التعريف. وقد حصروا أجوبتهم في التّصنيفات المألوفة لديهم: (26%) منهم أجاب على أنّها "ليست صورا لبعضها في المرآة المستويّة"، نسبة (18%) وصفتها بأنّها "غير قابلة للانطباق على بعضها البعض" والباقي (20%) عرّفوا الدياستيريوميرات على أنّها تماكبات لها "نفس الصّيغة الجعلة وتختلف في التشكيل". إنّ هذه الإجابات المجزئة إنّ دلّت على شيء فإنّها تدلّ وتؤكد عجز الطّلبة عن إعطاء تعريف كامل للدياستيريوميرات.

(ب)-تعريف التّماكب الفضائي:

إنّ تحصيل التّماكب الفضائي يتطلب في آن واحد معرفة مفاهيم الكيمياء الفضائية والقدرة على استعمال وشرح مختلف التّمثيلات الفضائية فهل أخطاء الطّلبة ناتجة عن نقص معرفي لهذه المفاهيم أم هي راجعة بكل بساطة إلى عدم قدرتهم على التّعامل مع طرق التّمثيل وشرحها أم هي ناتجة عن الحالتين معا.

يظهر من خلال أجوبة الطّلبة -بغض النّظر، عن أن ولا أي منهم، استطاع أن يعرف التّماكب الفضائي تعريفا كاملا-إن مفهوم "الاختلاف في التّرتيب الفضائي للذرات" حاضر في أذهانهم إلا أنهم يواجهون صعوبات في ربط هذا المفهوم بالشّبكة المفاهيميّة المعرّفة للتّماكب الفضائي. فهم واعون بأنّ التّعبير عن هذا الاختلاف يتطلب استعمال طريقة من طرق التّمثيل (كرام، فيشر، نيومن) إلا أنهم يعانون من صعوبات في فهم العلاقة التي تربط طريقة التّمثيل بالجزء الجسم في الفضاء بمعنى كيفية رسم 3 أبعاد في بعدين (3D→2D). بالنّسبة للطلبة الذين أجابوا (..هو تمثيل الجزيئات في ثلاثي الأبعاد أي في الفضاء) الأمر يتعلق برسم بعدين في ثلاثة أبعاد (3D←2D) (والحال عكس ذلك. التّفكير بهذه الطّريقة يظهر بكل بساطة عدم قدرة الطّلبة على التّعامل مع طرق التّمثيل وشرحها. إن معظم الطّلبة مُلمون بأسماء الطّرق التّمثيليّة (كرام، فيشر، نيومن) إلا أن الوظيفة الإسقاطيّة المنوطة بكل تمثيل وكيفية استعمالها بإتباع قواعد الأوليّة (CIP) تبدو غائبة عند مجملهم.

المفصلة إلا أنهم لم يظهروا بوضوح المعنى الذي تتضمنه الصّيغة المفصلة التي تتبع لخاصيّة ترتيب ترابط الذرات داخل الجزيء حيث أن المتماكبات البنيويّة تتميز بالصّيغ المستويّة ذات البعدين وتوصف أنواعها الثلاثة (الوظيفي، الهيكلي والموضعي) بالصّيغ المفصلة والنّصف المفصلة وتتميز بتنظيم مختلف لترتيب ذراتها أي تختلف بطبيعة روابطها الكيميائيّة.

في الأجوبة الغير موفقة نلاحظ أن نسبة (16%) من الطّلبة يكتفون بذكر أنواع المتماكبات (وظيفي هيكلي، موضعي) بدلا من التّعريف. قد يرجع هذا في نظرنا، زيادة عن عدم تحكمهم في تعريف المفهوم إلى الالتباس بين مختلف أنواع المتماكبات وعدم القدرة على إقامة العلاقة بين هذه المتماكبات الثلاثة وربطها بخاصيّة ترتيب ترابط الذرات المختلف في كل منها داخل الجزيء.

بالنّسبة للفئة التي عرّفت المتماكبات البنيويّة على أنها مركبات عضويّة لها نفس الصّيغة الكيميائيّة/ نفس الصّيغة الجزيئيّة وتختلف بهندستها المستويّة/ توزيع الذرات/ موضع الوظيفة/ موضع الجذور. إن هذه الأجوبة توحى بأن هؤلاء الطّلبة يعانون صعوبات ولبسا في التّمييز بين الصّيغ المجملّة والصّيغ الجزيئيّة الكيميائيّة. إذا كانت الأولى تعبر عن عدد وطبيعة الذرات المكوّنة للجزيء ولا تعطي أي توضيح للبناء الفضائي للذرات ولا لطبيعة الرّوابط الكيميائيّة فإن الصّيغة الجزيئيّة، التي يعبر عنها بالصّيغة المفصلة أو النّصف مفصلة توضح طبيعة وترتيب الرّوابط.

- جزيئات لها نفس الروابط ولكن تختلف بموقع المتبادلات في الفضاء.

نسبة صغيرة (18%) من الطلبة، وُفقت إلى حدّ ما في تعريف المتماكبات الفضائية على أنها تماكبات تتميز بنفس الروابط وتختلف بترتيب ذراتها في الفضاء. فإذا ما قبلنا جدلا أن الطلبة عبّروا عن " نفس التّرتيب التسلسلي للذرات " ب عبارة " نفس الروابط " ولم يتعرضوا للشرط الأساسي " نفس الصّيغة المجملّة " (عدد الذرات) على أساس أنهم يعتبرونه ضمّنيا تحصيل حاصل.

البعض من الذين وفقوا أيضا وإلى حدّ ما، في تعريف المتماكبات الفضائية على أنها تماكبات لها نفس الصّيغة المجملّة وتختلف بتشكيلها، فإنهم زيادة على عدم ذكر الشرط الأساسي " نفس التّرتيب التسلسلي للذرات (نفس الروابط) فإنهم حصروا التعريف في الجزيئات الكيرالية.

هؤلاء الطلبة ربطوا المتماكبات الفضائية بجزيئات تحتوي على C^* وتتميز بتشكيل معين يمكن تمثيله بإسقاط كرام". إن هؤلاء الطلبة يكونون قد طوروا مفهوما بديلا فيما يتعلق بالتّماكب الدوراني إذ لا يمكن بالنّسبة إليهم، التّكلم عن التّماكب الفضائي إلا في حالة المركبات الكيرالية التي يمكن تعيين تشكيلها في إسقاط كرام، أما المركبات الخالية من الكربون اللاتناظري كأمثالات الهيدروكربونات المشبعة مثلا، فلا يمكن لها أن تمثل تماكبات فضائية. فالمعنى الذي يعطونه " للاختلاف في التّرتيب الفضائي للذرات " هو التّرتيب الفضائي حول C^* الكيرالية. وقد يعود هذا في نظرنا إلى الطّريقة التّعليمية لتدريس مفهوم التّماكب الإمتثالي الذي

يرتكز على جزيء الإيثان دون سواه، إذ يصعب على الطلبة تخيل مواقع ذرات الهيدروجين بعد دورانها حول المحور C—C في إسقاط كرام، خاصة وأن الجزيء عديم الفعالية الضوئية ولا يمكن تحديد تشكيل ذرتي الكربون له وبالتالي لا يمكن تحديد "ترتيب ذراته في الفضاء". علما أن المتماكبات الفضائية الامتثالية تنتج عن بعضها البعض بدوران بسيط لمجموعة بالنّسبة للأخرى حول الرّابطة C—C لتعطي عددا لا متناهيا من المتماكبات الفضائية المائلة والمكسوفة.

إن أخطاء الطلبة ناتجة مبدئيا عن نقص معرفي لهذه المفاهيم وقد تكون راجعة بكل بساطة إلى عدم قدرتهم على التّعامل مع طرق التّمثيل وشرحها.

البعض منهم (12%) ربط التّماكب الفضائي بخصائص هندسية. إلا أنهم حصروا هذه الخصائص في نوع واحد من التّماكب الفضائي (مقرون-مفروق) متجاهلين المتماكبات التّشكيلية الأخرى كالتّماكب الضوئي، الامتثالي والتّماكب Z,E... الخ

إن أجوبة (22%) الذين قسّموا التّماكب الفضائي إلى متماكبات دورانية، هندسية وتشكيلية بدلا من تعريفه، تدل بشكل واضح عن نقص معرفي لهذه المفاهيم.

بالنّسبة لهؤلاء التّماكب الفضائي يمكن أن يكون دوراني بمعنى امتثالي وخالي من الفعالية الضوئية كما في حالة الإيثان. وقد يكون هندسي بمعنى مقرون-مفروق أو Z,E. أما التّماكب التّشكيلي فقد خُصّ بالمتماكبات الفعالة ضوئيا.

النسيان لقدم مدة تلقي المعلومة أو إلى نقص معرفي واضح لمفهوم المتخيلات.

(د) -تعريف الدياستريومرات:

بالرجوع إلى عدد العناصر المسترجعة، إضافة إلى النسبة المعتبرة من عدم الإجابة، يتبين جليا أن الطلبة يواجهون صعوبات في تعريف هذا النوع من المتماكبات الفضائية. إن هذه الصعوبات يمكن إرجاعها إلى عامل النسيان لهذا النوع من التماكب الفضائي إذا ما احتسبنا أقدمية المعرفة المحصلة إذ لم تسجل أي إجابة من المعرفة المدرسة مثل (لا تشكل متخيلات) أو (تحتوي أو تختلف على مركز كيرالي مشترك على الأقل).

ثم إن اقتصار معظمهم على استرجاع الإجابات المجزئة المتمثلة في " ليست صورا لبعضهما في المرآة المستوية " و " غير قابلة للانطباق على بعضهما البعض " دون التطرق إلى مسببات هذه الظاهرة بمعنى الاحتواء على مركز كيرالي مشترك على الأقل (له نفس التشكيل) والاختلاف في تشكيل مركز كيرالي على الأقل أو كما في حالة المتماكبات الحلقية (سيس-ترانس) والإثيلينية (Z, E) يعود إلى عدم تحكمهم في مفهوم الدياستريوميرات. وقد يتعزز هذا الافتراض بالعودة إلى الإجابة المجزئة للطلبة " مركبات لها نفس الصيغة الجزيئية والمفصلة ولكنها تختلف في التشكيل ". إن الحقيقة المتمثلة في "الاختلاف في التشكيل يسبب عدم الانطباق" حاضرة في أذهانهم بسبب تطبيقها في حالة المتخيلات، إلا أنهم عاجزين عن شرح الظاهرة في حالة الدياستريوميرات (التي يجب أن تكون مختلفة عن المتخيلات) فلجئوا إلى استعمال الاختلاف في

إن التفكير بهذه الطريقة يبدي بعض صعوبات الطلبة الدالة على عدم تحكمهم في تعريف المفاهيم.

يظهر هذا جليا في إشارتهم إلى مفهوم المتماكبات التشكيلية التي حصرت في " التماكب الضوئي " والتي لا تعتبر في أي حال من الأحوال امتثالية بالنسبة إليهم.

إن نفى الفعالية الضوئية عن المتماكبات الامتثالية ناتج عن عدم تحكم ونقص لهذه المفاهيم. قد يرجع هذا، زيادة عن عدم تحكمهم في تعريف المفهوم، إلى الالتباس الحاصل بين مختلف أنواع المتماكبات وعدم القدرة على إقامة العلاقة بين المتماكبات الامتثالية والتشكيلية وربطها بالخصائص الهندسية "الناتج عن اختلاف ترتيب الذرات في الفضاء داخل الجزيء".

(ج) -تعريف المتخيلات:

انطلاقا من تحليل إجابات الطلبة لتعريف المتخيلات، يظهر أنهم يواجهون صعوبات حقيقية في إعطاء التعريف الكامل للمتخيلات. يمكن الملاحظة أنهم حتى وإن استرجعوا بعض مكونات التعريف مثل " صورا لبعضهما البعض " وكذا "التناظر بالنسبة لمرآة مستوية" وحتى "نفس الصيغة الجزيئية" إلا أنهم يواجهون صعوبة حقيقية، تكمن في ربط كل هذه المكونات للحصول على تعريف منسجم ومتكامل للمتخيلات. إن ضعف الإجابة (80%) على الحقيقة المتمثلة في أساس التعريف "عدم انطباق الصورة على الجزيء" وما ينتج عنها من " متخيلات مختلفة هندسياً أي بتشكيل متعاكس " تبدو غائبة من ذاكرتهم. قد يعود هذا إلى

التشكيل بصفة مطلقة دون ذكر المراكز الكيرالية المشتركة والمختلفة بين المتماكين بغض النظر عن أنهم لم يشيروا إلى حالة المتماكبات سيس-ترانس E, Z .

5-الخلاصة (Conclusion)

بعد تحليل ومناقشة أجوبة الطلبة على الأسئلة الأربعة للاستبيان تبين صدق فرضية البحث المتمثلة في أن صعوبة حل المشكلات في إطار التماكب الفضائي عند الطلبة هي ناتجة عن نقص معرفي لمفاهيم التماكب بصفة عامة مقرونا بعدم القدرة على التمييز بين التماكب البنيوي والتماكب الفضائي.

يظهر من خلال الإجابات أنهم غير متحكمين في مفهوم التماكب البنيوي إذ يميزونه عن الأنواع الثلاثة الأخرى (وظيفي، هيكلي، موضعي) وكأن هذه الأخيرة ليست بنيوية مستوية. معظم الطلبة لا يقيمون العلاقة بين هذه المتماكبات الثلاثة وخاصة ترتيب ترابط الذرات المختلف في كل منها داخل الجزيء. البعض من الطلبة، يعاني صعوبات ولبس في التمييز بين الصيغ المجملة والصيغ الجزيئية / الكيميائية، مما أدى إلى الالتباس الحاصل عند البعض منهم، بين مختلف أنواع المتماكبات المستوية.

يظهر من خلال أجوبة الطلبة، بغض النظر عن أن ولا طالب، استطاع أن يعرف التماكب الفضائي تعريفا كاملا، أن مفهوم "الاختلاف في الترتيب الفضائي للذرات" حاضري أذهانهم إلا أنهم يواجهون صعوبات في ربط هذا المفهوم بالشبكة المفاهيمية المعرفة للتماكب الفضائي. فهم يعانون

من نقص معرفي لمفهوم التماكب الفضائي. يتمثل هذا النقص في تقسيم هذا التماكب إلى دوراني (بمعنى امتثالي وخالي من الفعالية الضوئية)، هندسي من النوع مقرون-مفروق أو Z, E وتشكيلي (بمعنى فعال ضوئيا). قد يرجع هذا، إلى اللبس الحاصل بين مختلف أنواع المتماكبات المذكورة وعدم ربطها بالخصائص الهندسية للتماكب الفضائي. لقد نتجت عن مثل هذا التفكير تصورات بديلة محتملة تتمثل في أن الامتثالات لا يمكن أن تكون فعالة ضوئيا ولا يمكن ربطها بالخصائص الهندسية. وأن التماكب الوحيد المعني بالخصائص الهندسية هو التماكب مقرون-مفروق أو Z, E . كما أن عبارة "تشكيل" يجب أن تقرر دائما بالفعالية الضوئية.

هؤلاء الطلبة ربطوا المتماكبات الفضائية بجزيئات تحتوي على C^* وتتميز بتشكيل معين يمكن تمثيله بإسقاط كرام". بهذا يكونون قد طوروا مفهوما بديلا فيما يتعلق بالتماكب الدوراني إذ لا يمكن بالنسبة إليهم، التكلم عن التماكب الفضائي إلا في حالة المركبات الكيرالية التي يمكن تعيين تشكيلها في إسقاط كرام، أما المركبات الخالية من الكربون اللاتناظري كامتثالات الهيدروكربونات المشبعة مثلا، فلا يمكن لها أن تمثل متماكبات فضائية.

أمام صعوبة إعطاء تعريف كامل ومنسجم للمتخيلات والديستيريوميرات، يقتصر جل الطلبة على إعطاء أجوبة مجزئة تظهر بوضوح عدم قدرتهم على تعريف المفهومين. إن "عدم انطباق الخيال على الجزيء" في حالة المتخيلات وما ينجر عنه من انعكاس في التشكيل يبدو غائبا لدى معظمهم.

بالنسبة للدياستيريوميرات وبغض النظر عن أن ولا طالب أشار إلى أنها تختلف عن المتخايلات، يمكن الملاحظة أنهم حتى وإن استرجعوا بعض مكونات التعريف مثل "ليست صورا لبعضهما البعض" وكذا «عدم الانطباق على بعضهما البعض» وحتى «الاختلاف في التشكيل» إلا أنهم يواجهون صعوبات حقيقية، في ربط هذه المكونات ببعضها وتبرير مسبباتها المتمثلة في أنها تحتوي على مركز كيرالي مشترك (أو مختلف) على الأقل.

بعض الاقتراحات للتعليم

إن مفهوم التماكب الفضائي يتميز بترابط عدد كبير من المفاهيم المهمة اللازمة لوصف الهندسة المجسمة للجزيئات. العمل المنجز بين أن الطلبة يلاقون صعوبات كثيرة في التعامل مع مختلف هذه المفاهيم. لتحسين التحصيل المفاهيمي للتماكب

الفضائي ينبغي على الأساتذة، التمييز بوضوح من خلال تدريسهم، بين مختلف التماكبات الفضائية. يجب أن ينصب التركيز على المعنى المعطى لنوع التماكب مقرونا بشرح واف ودقيق للمفاهيم المعنية. حتى يمكن تجنب سقوط الطلبة في التعلم السطحي والميكانيكي للتماكب، يجب تشجيعهم على التفكير في الروابط المتواجدة بين مختلف المفاهيم مما يؤدي إلى التمييز بين مختلف التماكبات: أنواع التماكبات الفضائية مثلا، كلها تنطوي تحت الخصائص الهندسية أكانت تشكيلية أم امتثالية أما التماكبات البنيوية فهي تتبع في اختلافها لترتيب الروابط داخل المستوى ولا تمت بصلة للهندسة.

للوصول إلى مثل هذا الهدف يقترح (Frailich et al. 2007) استعمال الأدوات التوضيحية مصحوبة بتعلم تشاركي.

المراجع (References):

- 1- صالح القادري وآخرون. الكيمياء العضوية، الماكبات الفراغية. الطبعة 6. (1992). دمشق.

References

- 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.
- Kozma, R. B. & Russell, J. (1997). Multimedia and understanding: Expert and novice responses to different representations of chemical phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 34, 949–968.
- 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.
- Pellegrin, V. (1999). Les représentations graphiques bidimensionnelles des molécules en chimie organique avec un crayon et un papier. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 811, 263-290.
- Robardet, G. & Guillaud, J.-C. (1997). *Eléments de didactique des sciences physiques*. Paris: PUF.
- Stieff, M. & Mc Combs, M. (2006). Increasing representational fluency with visualization tools. In S. Barab, K. E. Hay & D. T. Hickey (Eds.), *Proceedings of the Seventh International Conference of the Learning Sciences (ICLS)* (Vol. 1, pp. 730–736). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Stull, A., Hegarty, M., Dixon, B. & Stieff, M. (2012). *Representational Translation with concrete models in organic chemistry*. *Cognition and Instruction*, 30(4), 404-434.
- Taber, K. S. (2005). Learning quanta: barriers to stimulating transitions in student understanding of orbital ideas. *Science Education*, 89, 1, 94-116.
- Barlet, R. & Plouin, D. (1997). La dualité microscopique- macroscopique un obstacle sous-jacent aux difficultés en chimie dans l'enseignement universitaire. *Aster*, 25, 143-174.
- Boukhechem, M-S., Dumon, A. & Zouikri, M. (2011). The acquisition of stereochemical knowledge by Algerian students intending to teach physical sciences. *Chemistry Education Research and Practice*, 12, 331–343.
- 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* (Vol. 4, pp. 11–29). Dordrecht, NL: Springer.
- 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*, 25, 2, 179-197.
- Giordan, A. & De Vecchi, G. (1987). *Les origines du savoir*. Neuchâtel, Paris : Delachaux et Niestlé.
- Kozma, R. B., Chin, E., Russell, J. & Marx, N. (2000). The role of representations and tools in the chemistry laboratory and their implications for chemistry learning. *Journal of the Learning Sciences*, 9, 105–144.



كتلة سيلات (الهقار الغربي، الجزائر): إقليم من الأراضي الدخيلة

دراسة جيولوجية وجيوكيميائية والتاريخ المطلق لبعض الباتوليتات من نمط

(TTG) والمركبات الغرانيتية متأخرة النشأة (A-type)

فاتن بشري-بن مرزوق¹، مقدم سارة¹، رقية خلوي²⁻¹، عبلة عزوني³، جون-بول ليجوا⁴، برنار بونا⁵، حميد بشري²

1- مخبر تعليميات العلوم، المدرسة العليا للأساتذة، القبة القديمة، الجزائر faty_benmerzoug@yahoo.fr

2- كلية علوم الأرض والجغرافيا والتربة العمرانية، جامعة هواري بومدين للعلوم والتكنولوجيا، باب الزوار الجزائر

3- جامعة ابوبكر بلقايد - تلمسان، 13000 الجزائر asazzouni@hotmail.com

4- المتحف الملكي لوسط إفريقيا - B-3080 بلجيكا jean-paul.liegeois@africamuseum.be

5- CNRS-UPS /UMR8148 "IDES"، قسم علوم الأرض، جامعة باريس-ساكلاي، عمارة 504 شارع بالفيدار 91405 Orsay Cedex

(فرنسا) bernard.bonin@u-psud.fr

تاريخ الارسال: 29 مارس 2021 / تاريخ القبول: 24 جوان 2021

الملخص (Abstract)

سجلت كتلة سيلات خلال الدورة البانية للجبال لعموم إفريقيا (520-870 م س) نشاطا ماغماتيا متنوعا بدأ بتشكيل باتوليتات من نمط (TTG) مرتبطة بظاهرة الغوص ومتدرجة على اربعة مراحل (870,742,650، و 638 مليون سنة) على الاقل. خلال المرحلة المتأخرة من الدورة توضع المركبات الغرانيتية القلوية ما بين 570 و 560 مليون سنة في الجهة الجنوبية وتبعها مجموعة ثنائية قلووية-كلسية ما بين 540 و 530 مليون سنة توضع في الجهة الشمالية من كتلة

سيلات وكتلة عين-تيداي. اظهرت الدراسات ان مختلف انواع الصخور المنتشرة في المنطقة الوسطي من كتلة سيلات مثل السلاسل البركانية-الرسوبية والباتوليتات من نمط (TTG) والمركبات الغرانيتية متأخرة النشأة (A-type) والأجسام فوق قاعدية والقاعدية التراكمية والقواطع المختلفة (الدولريت والسبينيت وغيرها)، تنتظم جغرافيا في مجالين مشكلةً نطاقين متطاولين باتجاه شمال - جنوب يفصلهما منطقة القص المعرفة باسم فالق تين دهار (Tin-Dahar) والتي تنتشر على امتدادها صخور متحولة من نوع تالك-شيست

الدورة البانا افريقية وهي تشبه مناطق معروفة في جميع أنحاء العالم مثل هامش أمريكا الشمالية في المحيط الهادئ

الكلمات المفتاحية (Keywords)

درع الطوارق، كتلة سيلات، باتوليتات (TTG)، مركبات غرانيتية (A-type)، جيوكيمياء النظائر ϵHf - ϵNd

وسرنتينيت والافمبوليت. تتميز صخور الشريط الشرقي تاكلات-أهلي (Taklet-Eheli) بقيم سلبية لعنصر النيوديم ($-2.91 < \epsilon\text{Nd} < -8.10$) في حين تظهر صخور الشريط الغربي تيمسلاغسين-تيوين (Timesslarssine-Tioueïene) قيما ايجابية من نظائر النيوديم ($+0.52 < \epsilon\text{Nd} < +4.57$). تتشكل كتلة سيلات من التحام مجموعة من الأراضي الغريبة، لكل واحدة منها تاريخ جيولوجي مميز، اجتمعت خلال المرحلة الاخيرة من

The Silet superterrane, (Western Hoggar, Algeria)

: a collage of exotic terranes

Geological, geochemical, and geochronological study

of TTG's type batholiths and A-types granites' complexes

Abstract

During the Pan-African orogery (870-520 Ma) the Silet terrane recorded several magmatic episodes, the first one allowed TTG's batholiths related with subduction zones, at least four steps were identified (870-742-650-638 million years). Through the late pan-african stage, alkali A-type granitic complexes were generated (between 570 and 560 million years) in the southern part of the terrane, followed by a second period which allowed the formation of alkali-calcic A-type granitic complexes (between 540 and 530 million years) in the northern part of the Silet and In-Tedeini terranes. Our work revealed that different types of rocks that outcrop in the Silet region, such as the volcano-sedimentary series of Pharusian I and II, K- batholiths, TTG's batholiths, A-

type complexes «Taourirt», mafic and ultramafic complexes and dykes (dolerite, syenite, etc.) are geographically organized into two longitudinal zones separated by the «Tin-Dahar fault» shear zone. The Eastern part is characterized by negative isotopic values ($-2.91 < \epsilon\text{Nd} < -8.10$) while the western branch shows positive value ($+0.52 < \epsilon\text{Nd} < +4.57$). The Silet superterrane can be interpreted as a collage of exotic terranes, similar to suture areas known worldwide, like the North American Pacific margin.

Keywords

Touareg shield, Silet terrane, TTG's batholiths, A-types granitic complexes, isotopic geochemistry $\epsilon\text{Nd}/\epsilon\text{Hf}$

1- المدخل (Introduction)

يتكوّن الدرع التّرقّي (او درع الطّوارق - Touareg shield) من التّحام كتل محيطيّة بأخرى قاريّة خلال الدّورة البانيّة للجبّال لعموم إفريقيا (Pan-African Orogeny)، التي بدأت في النّيوبروتيروزوي المتأخّر واستمرت لغايّة الكمبري (850 - 530 مليون سنة). يُشكّل الهقار الجزء الجزائري من درع الطّوارق الذي يمتد نحو الجنوب الغربي باتجاه مالي وهو معروف بادرار افوراس كما يمتد نحو الجنوب الشرقي باتجاه النّيجر بما يعرف بالأخير. تبلغ مساحته 550000 كم² ويُشكّل الهقار ثلاثة ارباعها (3/4).

أسهمت الدّراسات الجيولوجيّة المنجزة منذ قرابة المائة سنة باقتراح عدة تقسيمات للدرع التّرقّي (Lelubre; 1952, Bertrand et Caby; 1978, Black et al; 1994, Liégeois et al; 2003) اقترحها جون بول لييجوا (J-P. Liégeois, 2019) اين يشير أن درع الطّوارق يتشكّل من التّحام خمس وعشرين كتلة ليتوسفيريّة (25) تفصلها مناطق القص العموديّة او الجهيّة (الشّكل 1). تتميز هذه الكتل عن بعضها باختلاف خصائص تشكيلاتها الجيولوجيّة (الطّبيعة الصّخريّة، درجة التّحول انواع النّشاط الماغماتي والبنوي)، البعض منها يتميز بصخور ذات طبيعة محيطيّة فتية على غرار بعضها الآخر الذي يتكوّن من صخور يعود عمرها للأركي والبروتيروزوي القديم. تجتمع الكتل الواقعة في وسط الدرع وعددها خمس مشكلةً شبه الراسخ لاتيا (LATEA-MetaCraton) وقد سُمّي كذلك بجمع الحروف الأولى من اسم كل كتلة (Laouni-Azrou- n'fad-Tefedest-Egere-Aouilene). تشترك الكتل

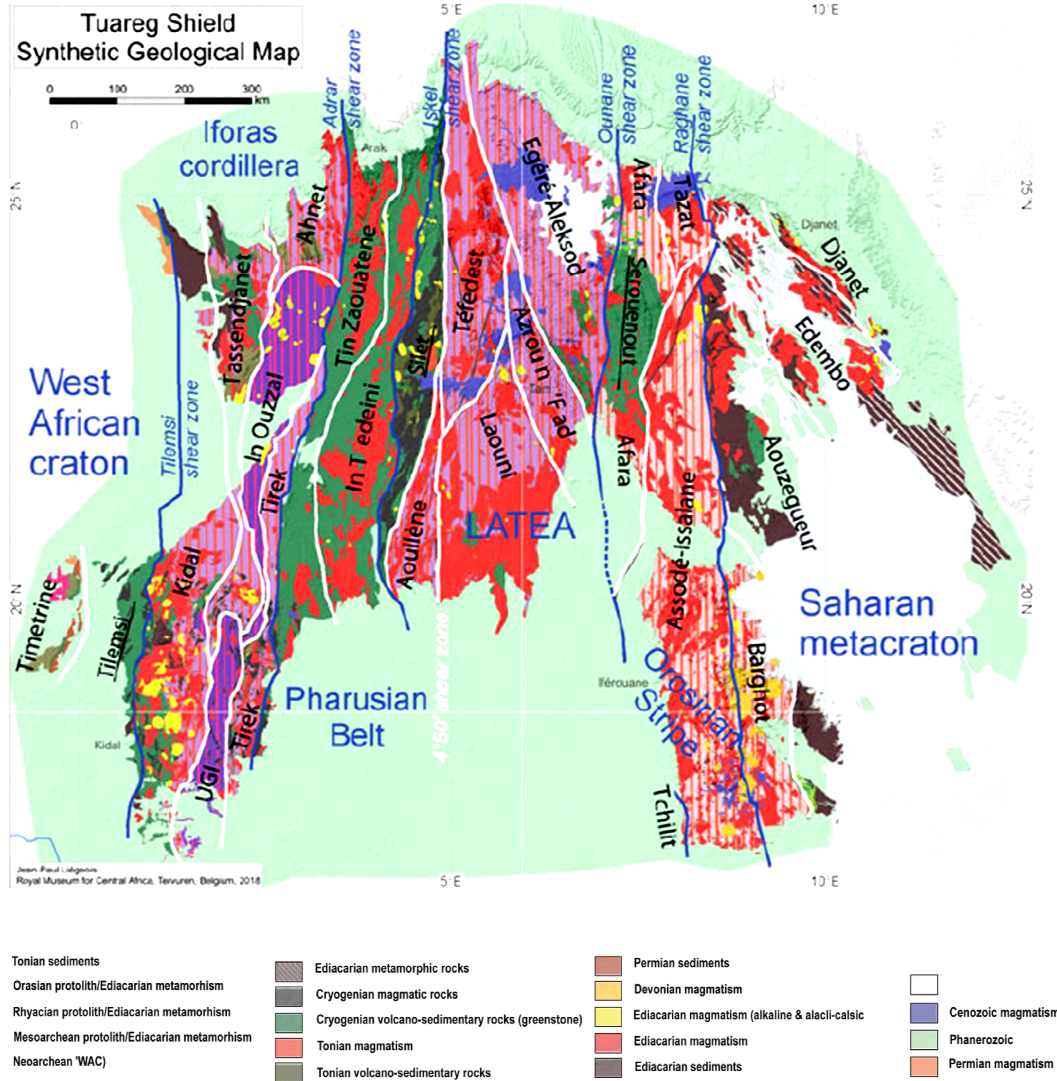
الخمس في احتوائها على قاعدة متحوّلة من سحنة الغرانولايت - الامفبولايت التي تم تزمينها ما بين 2.1 و1.9 مليار سنة، كما تحتوي على بقايا أركيّة (Peaucat et al; 2003, Bendaoued et al; 2008). كانت لاتيا لغايّة البروتيروزوي الحديث عبارة عن قارة صغيرة ذات حدود غير نشطة (Passive margin) وسجلت خلال الدّورة البانيّة للجبّال لعموم إفريقيا إعادة نشاط الفوالق العظمى مصحوب بتحول عالي الدّرجة من سحنة الشّيست الاخضر - أمفبولايت الذي قد يرتفع محليا ليصل لسحنة الأكلوجيت (Bendaoued et al; 2008, Doukhari et al; 2014, 2015) بالإضافة الى توضع باتوليتات حامضيّة كبيرة الحجم (Abdellah et al; 2014, Talmat-Bouzguela; 2007) وكذا المركّبات الغرانيتيّة الحلقية المتأخرة النّشأة (Boissonnas; 1973, Cheilleitz et al; 1992). بالإضافة الى التّحام كتل محيطيّة فتية على حافتها الشرقيّة والغربيّة اللواتي تصرفتا كمنطقتي غوص اثناء مرحلة الذروة لدورة عموم إفريقيا (ما بين 630 و580 مليون سنة). من بينها كتلة سيلات (قيد الدّراسة).

2- جيولوجيا كتلة سيلات

تمت تسميّة كتلة سيلات نسبة للقرية الواقعة في وسطها، وقد كانت ومازالتّ معبرا للمسافرين من مقر الولاية تمارست باتجاه الجنوب الشرقي نحو القرى الحدوديّة مثل تين زواطين وتيمياوين ومنهما نحو مالي. وتزخر قرية سيلات بالمياه الجوفيّة العذبة وحسن ضيافة اهلها مما جعلها قبلة للباحثين منذ خمسينيات القرن الماضي. وتعود أقدم الاعمال الجيولوجيّة المنشورة عن المنطقة

Dautria et al, 1988 ; Azzouni, 1989 ; Azzouni et Boissonnas, 1997 ; Azzouni et Bonin, 1998 ; Bechiri-Benmerzoug, 1998 ; Boukhalfa, 2002 ; Azzouni e al , 2003 ; Bechiri, 2005 ; Kheloui, 2009 ; Bechiri-Benmerzoug, 2009 ; Kourim et al, 2014-2015 ; Bouzid, 2015-2019 ; Zerrouk et al, 2016 ; Bechiri-Benmerzoug et al, 2017 ; Brahimi et al, 2018 ; Mokaddem et al, 2019 ; Deramchi et al, 2020 ; Azzouni et al, 2020).

الوسطى لكتلة سيلات وما جاورها إلى أطروحة (Maurice Lelubre, 1952) الدّكتوراه التي قدمها مورييس ليلوبّر وتلتها أعمال مؤلفين أجنب (Gravelle, 1969 ; Boissonnas, 1973 ; Chikhaoui, 1981 ; Caby et al, 1982 ; Abed, 1983 ; Haddoum, 1984 ; Dupont, 1987 ; Bertrand et al, 1986 ; Lapique et al, 1986 ;



الشكل 1: خريطة جيولوجية لدرع الطوارق تبين الكتل الليتوسفيرية الخمسة وعشرين (محددة باللون الأبيض أو الأزرق) حسب (Liégeois et al, 2019) الاطار الاسود : إقليم سيلات قيد الدراسة

- 1-توضعات الرباعي النشاط 2-الماغماتي السينوزويك 3- الفانيروزويك 4- النشاط الماغماتي البرمي 5- صخور رسوبية البرمي 6- النشاط الماغماتي الديفوني 7- النشاط الماغماتي الايدياكاريان (قلوي وكلسي-قلوي) 8- النشاط الماغماتي الايدياكاريان (من نمط تغونجيميت-توناليت وجرانوديوريت 9- رسوبيات الايدياكاريان 10- صخور متحولة الايدياكاريان 11-صخور نارية الكريوجينيان 12- صخور بركانية-رسوبية الكريوجينيان (الصخور الخضراء) 13-النشاط الماغماتي التونيان 14- صخور بركانية-رسوبية التونيان 15- صخور رسوبية التونيان 16- بروتوليت اوروسيان للتحويل الايدياكاريان 17- بروتوليت رباسيان للتحويل الايدياكاريان 18-ميزوآركيان بروتوليت للتحويل الايدياكاريان 19- الأركي الحديث

تتصلّ بالحافة الغربيّة للآتيا ثلاث كتل متطاولة الشّكل يبلغ امتدادها 600 كم ويتراوح عرضها من 40 الى 100 كم كأقصى حد (الشّكل 1) وهي على التّوالي سيّلات وعين تيداني وتين زواطين. تُمثّل هذه الكتل الفرع الشرقي من السّلسلة الفاروزيّة (Pharusian belt) التي يظهر فرعها الغربي بعد كتلة عين أوزال الغرانوليتيّة باتجاه الغرب.

يُقسم الفرع الشرقي للسّلسلة الفاروزيّة أو ما يُعرف ايضاً بالخندق الاوسط الى الفاروزي الاول والفاروزي الثّاني بسطح عدم توافق (Infra-Pharusian unconformity) تم التّعرف عليه في شمال منطقة سيّلات (Bertrand et Gravelle; 1966) وتضم تشكّيلات من الصّخور البركانيّة-الرّسوبيّة (Gravelle, 1969; Bertrand, 1974; Bertrand and Caby, 1978; Caby et al; 1981) توضع خلال البروتيزووي الحديث في محيط تم تعريفه باسم أماس (Ammas Ocean) (Liégeois, 2019) يتخللها باتوليتات حامضيّة متنوعة أغلبها من نمط (TTG) تدل على نشاط ماغماتي مرتبط بغوص محيطي-محيطي او قاري-محيطي خلال الفترة الاولى من الدّورة البانأفريقيّة (635-870 مليون سنة) (Bechiri, 2009) Benmerzoug; 2009 مرفوق بجسيمات متريّة من الصّخور فوق-القاعدية إلى قاعدية ذات نسيج تراكمي أحياناً، لم يتم تزمينها بالطّرق الكيميائيّة ولكنها في الموقع تُظهر علاقة بنيويّة تدل بأنها تقطع تشكّيلات الفاروزي الاول (Bechiri, 2005; Kheloui, 2009). فمثلاً المركّب القاعدي-فوق

القاعدي المسّي (Iddeleh) الذي يظهر في وسط منطقة الدّراسة، يتخلّله قواطع غرانوديوريتيّة ممتدّة من باتوليت أهمباتو المؤرخ في 650 مليون سنة، مما يدل على أنه أقدم منه (Kheloui, 2009).

اثناء مرحلة التّصادم المعّمة (580-630 مليون سنة) تم غلق المحيط أماس وهجرة أغلب الكتل نحو الشّمال (J-P. Liégeois, 2019)، تتميز المرحلة الاخيرة من الدّورة (575-520 مليون سنة) بتوضع المركّبات الغرانيتيّة الحلقية (من نمط A) على طول حدود الكتل المُمثلة بالفوالق العظمى الليتوسفيريّة (Azzouni et al, 2003). مصحوبة أحياناً بقواطع مختلفة الحجم والطّبيعة الكيميائيّة (السّينيّة، الغرانوديوريت والديوريت). يعكس هذا النّشاط مرحلة انزلاق افقي على امتداد الفوالق التي تفصل بين الكتل الليتوسفيريّة متبوع باسترخاء عام لها حيث يظهر ذلك في انتشار قواطع الدّولريت التي يصل طولها الى 20 كم. تتميز جميع الصّخور النّارية المدروسة بتسجيلها لتحول سطحي في سحنة الشّيست الاخضر والذي يتمثل في ظهور معادن ثانويّة مثل الكلوريت والاكينوليت والميسكوفيت.

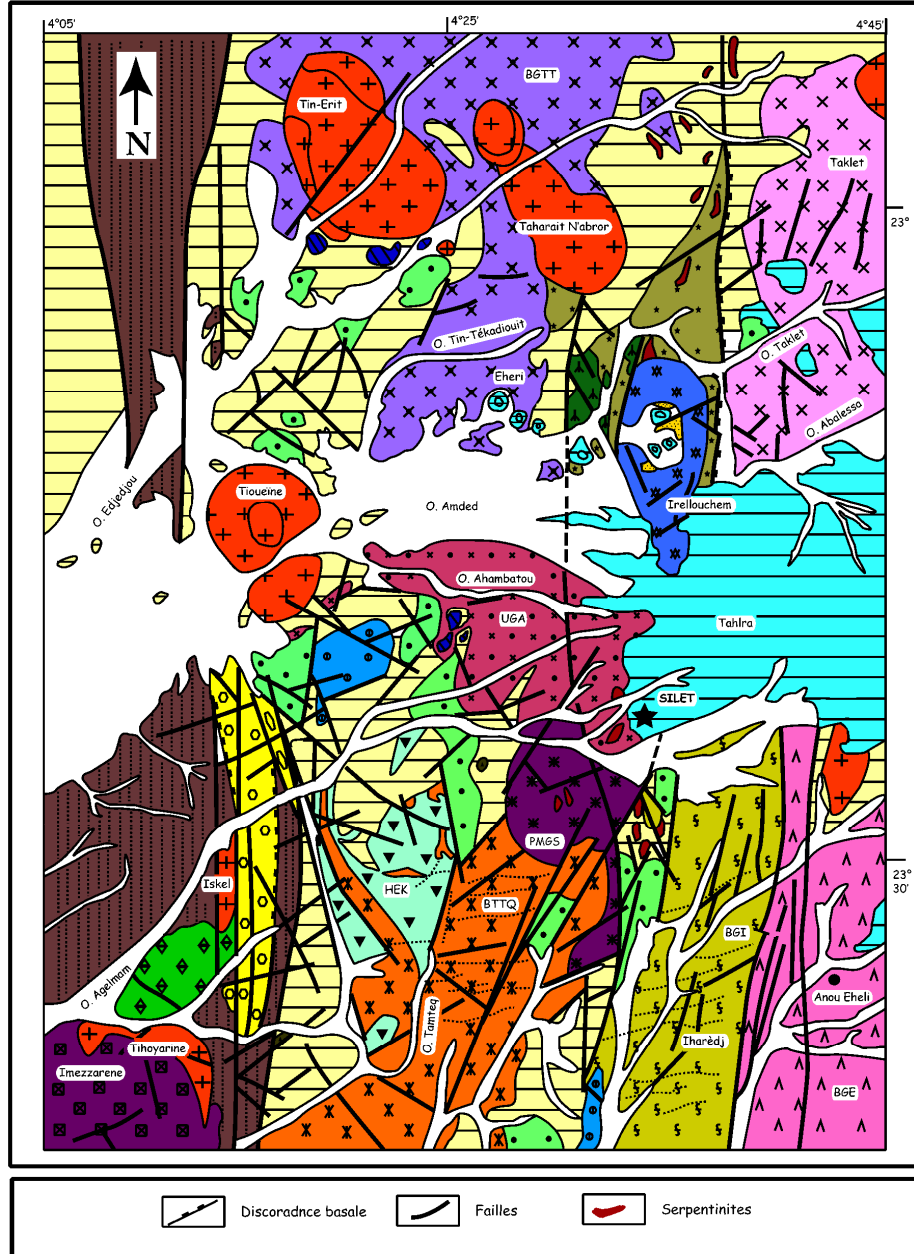
نعرض في هذه الدّراسة أهم الخصائص البترولوجيّة للباتوليتات الحمضيّة من نمط (TTG) والمركّبات الحلقية الغرانيتيّة (A-type) المنتشرة في المنطقة الوسطى لكتلة سيّلات بالإضافة الى بعض المركّبات الحلقية الغرانيتيّة المتواجدة في كتلة عين تيداني المجاورة لها بهدف إبراز الخصوصيّة الجيوديناميكيّة للمنطقة.

1.2. الصّخور الحمضيّة من نمط (TTG)

تشغل الصّخور الحمضيّة من نمط (T T G) نصف مساحة إقليم سيالات (الشّكل 2)، وقد جمعها غرافيل (Gravelle, 1969) في صنفين من الباتوليتات: الاول غرانيت بالكلوريت ممثّل بباتوليت تين تيكاديوييت نسبة للمكاشف التي تظهر بالقرب من الواد الذي يحمل نفس الاسم ويقع شمال الاقليم قيد الدّراسة. تبدو صخوره فاتحة اللون ذات نسيج حبيبي خشن مبرقع باللون الاخضر لاحتوائه على الكلوريت. الصّنف الثّاني يحمل اسم باتوليت تاكلات وتظهر صخوره باللون الوردي المحمر لاحتوائه على نسبة عاليّة من الأورتوكلاز (الشّكل 2 - الصّورة 1)، تبدو مكاشفه على شكل مرتفعات يصل طولها الى 10 امتار في ملتقى واد تاكلات مع واد أبلسة، في الشّمال الشرقي للإقليم، شرق فوهة بركان إغلوشم (Irrelouchem) الضخمة وصخور السّرپنتينيت التي يقطعها (الشّكل 2).

أعطت نتائج التّزمين المطلق (Caby et al, 1982) اعمارا لم تكن معروفة مسبقا في درع الطّوارق، وهي على التّوالي 8 ± 868 مليون سنة لباتوليت تين تيكاديوييت و 4 ± 839 مليون سنة لباتوليت تاكلات.

Légende :



الشّكل 2 : الخريطة الجيولوجيّة لإقليم سيّلات (Bechiri-Benmerzoug, 2009)

أوضحت الدراسات الميدانية والبيترولوجية والكيميائية التي أجريتها على عينات صخرية من باتوليت تين تيكاديويت وباتوليت تاكلات اللذين كان يُعتقد انهما يمتدان باتجاه الجنوب بعد واد أمداد العظيم والأسطح البازلتية الحديثة تاهالغا (Tahakra) (Gravelle, 1969) (الشكل 2) أعطت نتائج غير متوقعة. حيث ادت بنا الى تفكيك الباتوليت الكبيرتين تيكاديويت وتعريف سبعة (07) باتوليتات حامضية كلسية-قلوية من نمط (TTG) وهي : ديوريت تمسلاغسين + تين-تيكاديويت (الحقيقي) + لوين هاران + أهمباتو + طامطق + إجلهاك + سيلات.

كما قسمنا باتوليت تاكلات الى ثلاث (03) كتل وهن: تاكلات الأصلي الذي يظهر في شمال منطقة الدراسة ويتميز بطبيعة كيميائية غنية بالبوتاسيوم (الصورة 2) وباتوليت إهاراج وباتوليت إهلي اللذان كان يُمثّلان امتداده جنوبا وهما من نمط TTG (Bechiri-Benmerzoug; 2009) (الشكل 2).

1- ديوريت-كوارتزيت تمسلاغسين 8 ± 868 مليون سنة) Timessellarssine's diorite-quartzite

بعد الدراسات المُعمّقة (ميدانيا ومخبريا) قمنا باستبدال اسم العينة المؤرخة في 8 ± 868 مليون سنة والتي نسبها المؤلفون خطأً (Caby et al; 1982) الى باتوليت تين تيكاديويت، باسم ديوريت تيمسلاغسين نسبة للوادي الذي تم جلبها منه أين يظهر جزءاً من مكاشفها، كما يمكن رؤية جزء آخر منها في واد أمداد العظيم الذي يقطع اقليم

سيلات باتجاه شمال شرق- جنوب-غرب (الشكل 2 - الصورة 3). تظهر الصّخور على هيئة كتل كروية رمادية اللون ومتوسطة الحجم (لا تفوق 1 متر)، النّسيج حبيبي خشن يُظهر بلورات فاتحة من البلاجيوكلاز والكوارتز واخرى خضراء اللون من الكلوريت (المحتمل انها ناتجة من تحول الامفيبول والبيوتيت). تحمل بعض المدسوسات داكنة اللون ومستديرة الشكل وحزما ذات حواف حادة من صخور الفاروزي الاول، كما يتخللها قواطع من الغرانوديوريت التي ننسبها الى صخور باتوليت تين-تيكاديويت الاصلية. تبلغ المساحة الاجمالية للديوريت-كوارتزيت تمسلاغسين 35 كم² وهي تقطع تشكيلات الصّخور البركانو-رسوبية للفاروزي الاول التي تظهر بها (احيانا) طيات ذات محاور موجّهة شمال شرق-جنوب غرب (F1) مصحوبة بتشوه ثان (F2) مرتبط بالدّورة البانية للجبال لعموم افريقيا ويظهر على هيئة طيات موجه شمال-جنوب (Gravelle et Chikhaoui, 1976).

2- باتوليت تين-تيكاديويت (غير مؤرخ) Tin-Tekadiouit's batholith

تظهر صخور تين-تيكاديويت في الجزء الاوسط من شمال الاقليم (الشكل 2) يحدها شمالا واد تين-تيكاديويت وجنوبا واد أمداد العظيم وهي تقطع التشكيلات البركانية-الرسوبية للسلسلة الفاروزية الاولى وديوريت كوارتزيت تيمسلاغسين (Bechiri-Benmerzoug; 2009) (الشكل 2-الصورة 4). تظهر صخورها على هيئة أسطح فاتحة اللون لا يتعدى ارتفاعها 50 سم وتُسجل المرحلة الثانية

من التّشوه (F2) المرتبطة ببداية دورة عموم افريقيا (Bertrand et al, 1986a). لم يتم تزمين صخور تين تيكاديويت لكن حسب (Fabries et Gravelle; 1977) التّشاطر الماغماتي الممثل بصخور الغرانوديوريت كان مصحوبا بقواطع تخترق صخور ديوريت تمسلاغسين المزمدة في 8 ± 868 مليون سنة. وقد كتب ديبون (Dupont, 1987) في اطروحة انه شاهد قواطع من الغرانوديوريت تتخلل الصّخور البركانيّة التي تُشكّل فوهة إغلوشم الضّخمة والمؤرّخة في 680 مليون سنة (Dupont, 1987).

ملاحظاتنا الميدانيّة تتوافق مع هذه المعطيات، حيث شاهدنا في واد تين-تيكاديويت تشكيلات من الصّخور البركانو-رسوبيّة للفاروزي الاول مورقة (Schistosity plan) تتخللها صخور ديوريت-كوارتزيت تميلاغسين المورقة أيضا والاثنين يقطعهما صخور وردية اللون التي اسميناها تين-تيكاديويت والتي تحمل آثار تشوه بارد (F2). بناء على هذه الملاحظات جميعها، يمكننا الاستنتاج ان صخور تين-تيكاديويت تنتمي لمرحلة الفاروزي الثاني وتوضعت ما بين 630 و 680 مليون سنة.

3- باتوليت لوين هاران (غير مؤرخ) Louine harane's batholith

تظهر مكاشف باتوليت لوين هاران في الجزء الشمالي الاوسط من اقليم الدّراسة (الشّكل 2) ويقطع تشكيلات الفاروزي الاول كما يقطعه من الجهة الشّرقية المركّب تهرارت نابور الغرانيّتي (Tahraït N'abrour) ومن الجهة الغربيّة مركب تين-

إغيت (Tin-Erit) صخور لوين هاران عبارة عن غرانوديوريت وهي في الميدان تبدو متشابهة مع صخور تين-تيكاديويت من حيث المظهر حيث كانت تُعتبر سحنته الحدوديّة (Bechiri-Benmerzoug, 2009)، لكن بينت الدّراسات البترولوجيّة لاحقا بعض الاختلافات في الخصائص الكيميائيّة مما جعلنا نفصله عن باتوليت تين-تيكاديويت الاصلي الذي تنحصر مكاشفه في الجزء الجنوبي للوادي الذي سُمي نسبة اليه في حين تمتد صخور لوين هاران باتجاه الشّمال (Bechiri et al; 2016).

4- باتوليت أهمباتو (6 ± 651 مليون سنة)

Ahambatou's batholith

تظهر صخور باتوليت أهمباتو في مركز إقليم الدّراسة وتبلغ مساحته حوالي 250 كم² حيث تقطع تشكيلات الفاروزي الاول من النّاحية الغربيّة مع بعض الجسيمات الكيلومترية من الصّخور القاعدية (الشّكل 2). يحده من الشّمال واد الواد العظيم أمداد ومن الجنوب تفرع واد أقلمام، حدوده الشّرقية تختفي تحت الأسطح البركانيّة لتاهالغا. تظهر اول المكاشف على طول الطّريق الرّابط بين قرية سيلات والمركّب الغرانيّتي تيويين على شكل مرتفعات كتليّة لا تتعدى 1 متر طولاً (الصّورة 4)، لونها فاتح الى وردي تتخلله بعض قواطع الدّوليريت السّنتيمترية (Bechiri-Benmerzoug et al, 2020). تُبدي صخور أهمباتو نسيجاً متوسّطاً الى خشن يحمل بلورات ميليمترية من الكوارتز والبلاجيوكلاز والاورتوز تتخللها بعض المعادن الدّاكنة تميل الى الخُصرة. كلما توجهنا الى مركز الباتوليت، تزداد كميّة الاورتوز لتعطي سحنة

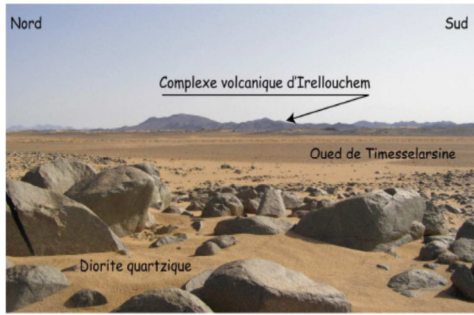
باتوليت سيالات ومن الغرب باتوليت إجلماك الذي تم تعريفه من طرف فريقنا ولكنه لم يُدرس بالتفصيل بعد، حدوده الجنوبية غير محددة بدقة (الشكل 2). تظهر صخور باتوليت طامطق على شكل مرتفعات صغيرة لا تفوق 1 متر وتبدو باللون الأخضر الفاتح يميل الى الزرقة احيانا وتحمل مدسوسات مستديرة غامقة اللون (الصورة 5). يقطع باتوليت طامطق في اقصى الحدود الجنوبية الغربية التشكيلات الرسوبية الحطامية للفاروزي الثاني.

ذات نسيج خشن يطغى عليها اللون الوردي ويمكن التمييز فيها بلورات متطاولة من الامفيبول والبيوتيت التي تحيط ببلورات الفلدسبات والكوارتز لتعطي شكل أعين (Gneissic facies).

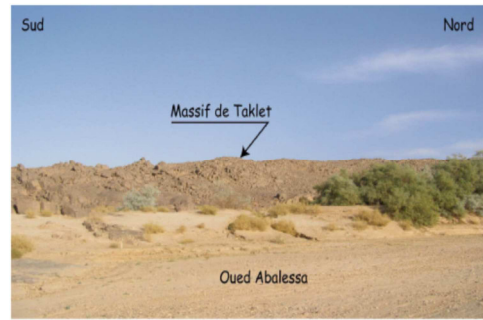
5-باتوليت طامطق (742 ± 5 مليون سنة)

Tamteq's batholiths

يشغل باتوليت طامطق الجزء الجنوبي من منطقة الدراسة حيث تظهر اولى صخوره على طول الطريق الرابط بين قرية سيالات وقرية برج باجي مختار الحدودية. يحده من الشمال والشرق



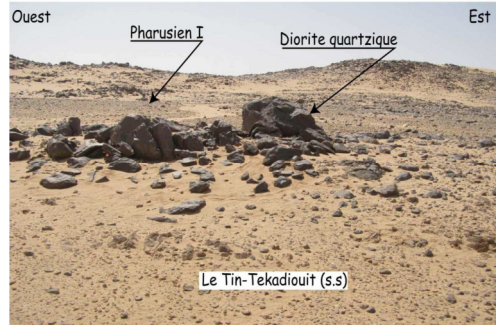
الصورة 2: ديوريت كوارتزيت تمسلاغسين



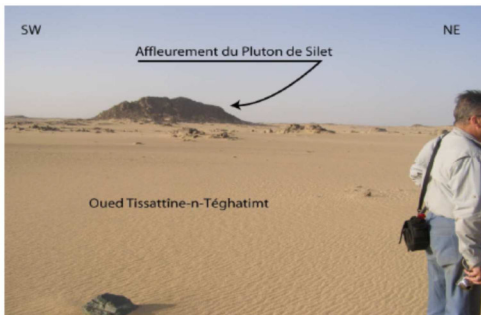
الصورة 1: باتوليت تاكلات



الصورة 4: باتوليت أهمباتو



الصورة 3: باتوليت تين تيكاديوت يقطع ديوريت تمسلاغسين



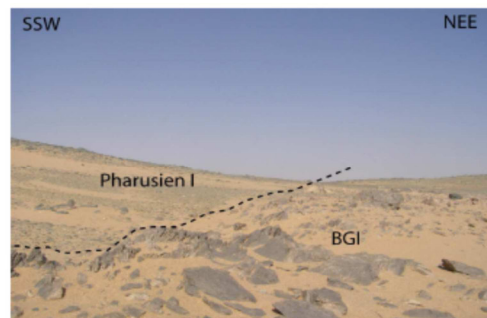
الصورة 6: منظر عام لمرتفعات باتوليت سيلات



الصورة 5: صخور طامطق تحمل مددسوسات الصورة



الصورة 8: توضعات باتوليت إهلي



الصورة 7: التماس مع الفاروزي الثاني إهارج

اللوحة 1: صور فتوغرافية لباتوليتات إقليم سيلات قيد الدراسة

6- باتوليت سيلات (5 ± 649 مليون سنة)

Silet's batholiths

لقد سمينا الباتوليت سيلات تقديرا منا لسكان القرية القريبة منه وقد استبدلنا اسم الكتلة الليتوسفيرية قيد الدراسة باسمها ايضا (Bechiri et al, 2013)، تجدر الإشارة انها كانت تُدعى سابقا كتلة إسكال نسبة للمركب الغرانيطي إسكال (Iskel) الذي كان يُعتقد انه يتواجد على حدودها الغربية (Black et al, 1994) مع كتلة عين تيدايني ولكنه في الواقع يوجد خلف الفالق الكبير الذي يفصلهما.

يتميز باتوليت سيلات بشكله الدائري الذي يمتد من الجهة الشرقية بذيّل متطاولة باتجاه الجنوب (الشكل 2) وتعكس هذه البنية توضع الماغما في رواق تحده كتلتان تتحركان وفقا لإنزياح يميني (Transpressif cisaillement). تُغطي حدوده الشمالية توضعات واد أكيكرت وتحجب علاقته مع باتوليت أهمباتو على غرار حدوده الشرقية التي تتطابق مع منطقة القص الموجهة شمال - جنوب. تظهر أغلب صخور باتوليت سيلات غرب الفالق بشكل مستدير تقريبا في حين تظهر بعض الصخور منه على الجهة الشرقية للفالق (الشكل 2)، يقطع باتوليت سيلات من الناحية الغربية تشكيلات الفاروزي الاول وباتوليت طامطق.

تُشكل أغلب صخور باتوليت سيلات رقا تظهر به بعض الجسيمات الكروية الشكل والأسطح المحدبة، في الامتداد الجنوبي للباتوليت ترتفع بعض من صخوره مُشكلة تلالا يتعدى ارتفاعه خمسة امتار (الصورة 6). تبدو صخور باتوليت

سيلات باللون الوردي وتُظهر نسيج حبيبي متوسط الحجم ومبرقع بالأسود، هي عبارة عن مونزوغرانييت يحمل مدسوسات سننيمترية مستديرة داكنة وقطعا مترية من الصّخور المتحولة (السرينتينيت) (Bechiri-benmerzoug, 2010).

7- باتوليت إهارج (غير مزمّن) Iharedj's batholith

تظهر أولى صخور باتوليت إهارج غرب منطقة القص التي تفصله عن باتوليت سيلات والمُمثلة محليا بصخور متحولة من نوع سرينتينيت، تالك شيست وأمبولاييت (الشكل 2)، يحده شمالا الأسطح البركانية لتاهالغا وشرقا تشكيلات الفاروزي الاول وباتوليت إهلي أما حدوده الجنوبية فهي غير محددة.

تظهر صخور إهارج على هيئة كتل صغيرة الحجم فاتحة اللون وقد تُشكل موائد (الصورة 7) كما يرتفع بعضها الآخر ليشكل قبا متفاوتة العلو قد تصل الى عشرة (10) امتار. تُبدي الصّخور عند المكسر نسيجا حبيبيا متوسط الحجم فاتح اللون كما تخترق الباتوليت قواطع من الدولريت موجهة شرق-غرب قد يصل طولها الى 20 كلم بالإضافة الى قواطع اخرى متوسطة الحموضة ذات اتجاه شمال-جنوب.

8- باتوليت إهيلي (5 ± 638 ملايين سنة) Eheli's batholiths

قمنا بتسمية الباتوليت إهيلي نسبة للبئر أنو إهيلي (Anou-Eheli) الواقع في وسطه وهو يظهر في

الجزء الجنوبي الشرقي من إقليم سيلات ويظهر بشكل متطاول. تخفي أسطح حمم التاهالغا حدوده الشمالية ويحده من الغرب باتوليت إهاراج وفقا لفالق كبيريساري موجه شمال-جنوب. مثل أغلب الباتوليتات في منطقة الدراسة، تبدو صخور إهلي على هيئة أسطح محدبة تُعرف "بظهر الحوت" قليلة الارتفاع (الصورة 8).

2.2. الصخور الغرانيتية (A-type)

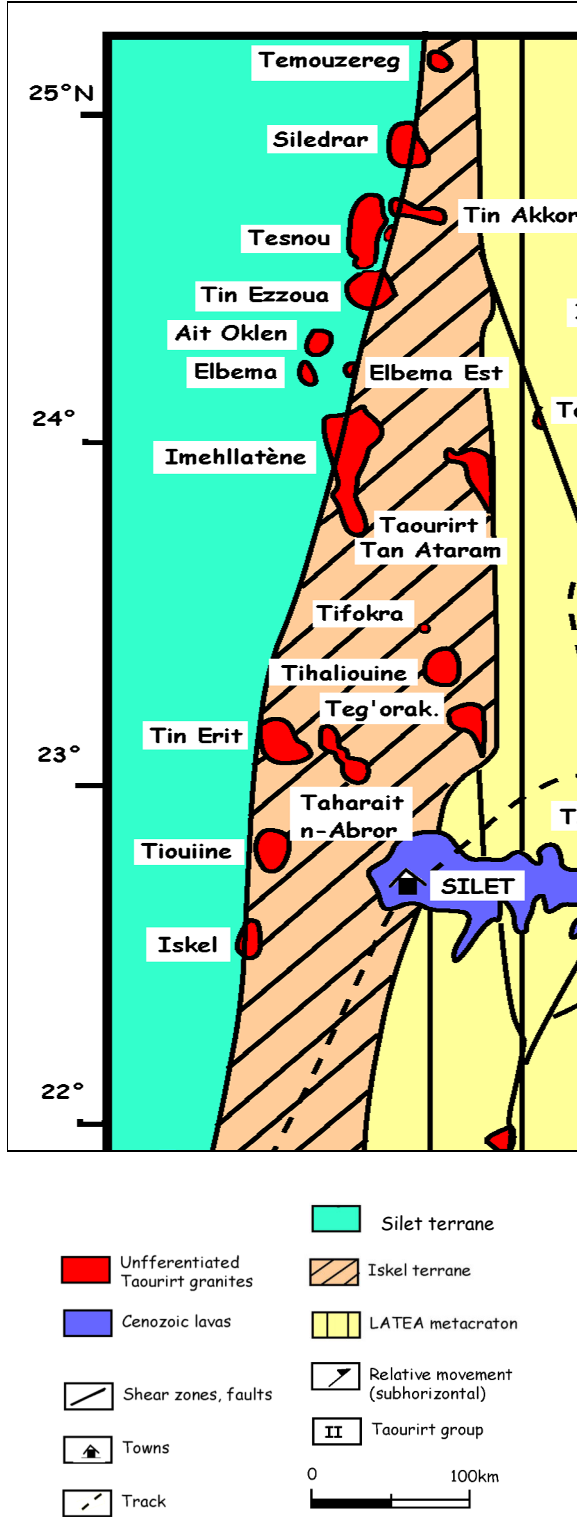
تظهر مركبات غرانيتية من نمط (A-type) في كتلة سيلات وكتلة عين تيدايني (الشكل 2) عرفها بواسناس (Boissonnas, 1973) بمركبات تاويريت (Taourirt' series) متأخرة النشأة (Post-orogenic granites). قدمت عزوني عبلة (Azzouni et al, 1989) دراسة بيترولوجية لبعض منها (Azzouni et al; 1989) ونشرت معطيات للنظائر المشعة وأعمارا باستخدام نظائر عنصري Sr-Nd على الصخور الكاملة (Sr-Nd/Whole rock) لثلاث مركبات احدها يقع في كتلة سيلات (Teg'Orak) واثنان منها يقعان في كتلة عين تيدايني المحاذية لها (Azzouni et al, 2003) (Tesnou + Ait-Oklan). تم مؤخرا نشر معطيات جديدة حول العنصرين Lu و Hf (Lu-Hf isotopic system) وأعمارا مطلقة باستعمال معدن الزركون (U-Pb SHRIMP) لست

مركبات، يقع ثلاث منها في كتلة سيلات وهم تيويين + تين إغيت + إسوديان (Tin-Etit + Tioueïne + Issedienne) وآخر يقع في كتلة عين تيدايني وهو آيت-أوكلان Ait-Oklan واثنان يظهران على الفالق الليتوسفي الذي يفصل بينهما وهما المركبتين تموياغين + تاسنو (Tihoiirene + Tesnou) (Azzouni et al, 2020) (الشكل 2-3).

1-مركب تين إغيت (584.8 ± 2 مليون سنة)

Tin-Etit 's A-type complex

يقطع مركب تين إغيت (Tin-Etit) تشكيلات الفاروزي الاول وباتوليت لوين هاران Louine harane وهو ذو شكل شبه دائري يتكون من تشابك وحدتين من الصخور (الشكل 3) : الاولى مسطحة ،تشغل مركز المركب ومُمثلة بالسّينوغرانيت مزدوجة الفلدسبات (برتيت-بلاجيوكلاز Subsolvus) والثانية تُشكل حلقة غير مكتملة من الجبال المرتفعة التي تحيط بصخور المركز مُشكلة من الغرانيت أحادي الفلدسبات (الميزوبرتيت Hypersolvus) وقواطع من السّينيت (Bechiri-Benmerzoug, 1998 ; 2001). تنتمي العينة التي تم تزمينها الى صخور المركز (Azzouni et al, 2020).



2-مركب تيويين (561 ± 6 ملايين سنة) 's Tioueïne A-type complex

يقع مركب تيويين (Tioueïne) في مجرى الواد العظيم أمداد (Amded) الذي يتطابق مع الفالق الكبير أمداد (Amded Fault) والموجه شمال شرق- جنوب غرب، (الشكل 2 - 3) يخترق تيويين (Tioueïne) صخور السلسلة الرسوبية-البركانية للفاروزي الاول ويتميز بشكله الدائري الذي يظهر بشكل قبة كبيرة في وسط رسوبيات الوادي. مثله مثل مركب تين إغيت يتكون تيويين (Tioueïne) من التّحام صنفين من الصّخور حيث يظهر الصّنف الاول في مركز المركب على هيئة كتل مُسطحة الى قليلة الارتفاع من المنزوغرانيت والسّينوغرانيت، يحيط بها حلقة ثخينة من الغرانيت التي تُشكل الارتفاعات المُميزة له (الشكل 4). كان تيويين (Tioueïne) من بين أولى المركبات التي تمت دراستها وقد اعطت نتائج التّزمين المُطلق عمرا 40 ± 560 مليون سنة (Boissonnas, 1969) والذي تم تقدير تاريخ توضع صخور مركزه لاحقا ب 1 ± 523 مليون سنة (Paquette et al, 1998). التّزمين الأخير كان لعينة من الحلقة الخارجيّة للمركب وهي عبارة عن غرانيت بالفلدسبار القلوي (Azzouni et al, 2020).

الشكل 3: خريطة جيولوجية توضح المركبات الغرانيتية من نمط A التي تظهر في كتلي سيلات وعين تيداني (Azzouni et al ; 2003)

3-مركب تهوياغين (4.8 ± 569.8 مليون سنة)

Tihoiirene 's A-type complex

يظهر مركب تهوياغين غرب الفالق العظيم الذي يفصل بين كتلي سيلات وعين تدايني (الشكل 2 - 3)، وهو يقطع غرانييت إمزاغن (Imezzenre) وصخور السلسلة الخطامية للفاروزي الثاني (Pharusian II) وجسيم الصخور القاعدية أقليمام (Aguelmam)، يتميز مركب تهوياغين بجبال مرتفعة من الغرانييت (بالفلدسبار القلوي) هلالية الشكل تحصر في مركزها صخورا مسطحة من المنوزوغرانييت التي تمتد نحو الغرب مشكلةً لواحق كتلية. (Boissonnas et Gravelle, 1961; Meddi, 2011). تم تزمين صخرة من الهالة الخارجية للمركب (Azzouni et al; 2020).

4-مركب إسوديان (2.9 ± 538.7 مليون سنة)

Issedienne 's A-type complex

يقع مركب إسوديان شمال منطقة الدراسة وهو يقطع السلسلة الفاروزية الثانية وصخور باتوليت لوين هاران من نمط توناليت-تغونجيميت-غراندوديوريت (الشكل 1-3). يتميز مركز مركب إسوديان بالتحام ثلاث حلقات من صخور المنزوغرانييت والسينوغرانييت ذات نسيج متباين من دقيق الى خشن الحبيبات وتحيط بها حلقة رابعة مشكلةً الهالة الخارجية، تنتظم جميعها بشكل بيضوي متناسق (ابعاده 5×8 كم). تتصل بالناحية الشمالية من المركب كتلة من صخور الألاسكيت (Alaskite) التي تُشكل جبال "أدرار إسوديان" (Boissonnas, 1973; Azzouni, 1989). اعطت أول تجربة تزمين صخور المركب إسوديان

Issedienne عمرا يُقدر بـ 470 ± 15 مليون سنة باستعمال طريقة Rb-Sr على معدن البيوتيت (Rb-Sr/biotite; Lay et Ledent 1963) وأعتبر لاحقا انه يعكس التغير الحرماي المتأخر، العينة التي تم اختيارها للتزمين بواسطة تقنية على معدن الزركون U-Pb عبارة عن مونوزوغرانييت (Azzouni et al, 2020).

5-مركب تاسنو (6.7 ± 536.5 مليون سنة)

Tesnou 's A-type complex

يقع مركب تاسنو (Tesnou) على جانبي الفالق $4'10''$ الذي يفصل بين كتلي سيلات وعين تدايني (الشكل 2-3)، يتكون تاسنو من ست كتل متحدة سُميت من طرف عزوني عبلية (1989) تاسنو 1 وتاسنو 2 وتاسنو 3-4 وتاسنو 5-6. تُشكل هذه الكتل مرتفعات محدبة الشكل يظهر جزء كبير منها على الطريق الرابط بين تمنراست والجزائر العاصمة وهي تشتهر بجمال مناظرها ويزورها العديد من هواة تسلق الجبال.

قام المؤلف بواسوناس وآخرون (Boissonnas et al, 1964) بتزمين عينة ليبيدوليت بيغماتيتي (Lepidolite pegmatite) بطريقة (Rb-Sr mineral ages) التي اعطت عمرا يقدر بـ 540 ± 11 مليون سنة. اختار بعدها نفس المؤلف عينة أخرى وهي بيغماتيت بالميسكوفيت (pegmatitic muscovite) باستعمال طريقة (K-Ar WR) والتي اعطت 537 ± 30 مليون سنة (Boissonnas, 1974). تتوافق هذه الاعمار مع نتائج التزمين بطريقة (U-Pb/Zircon) المنشورة مؤخرا (Azzouni et al, 2020). العينة التي تم تزمينها تنتمي الى جبل

عزوني الذي يعمل في منطقة سيلات منذ سنة 1996 لحد الآن (Azzouni et al, 2003; Kheloui, 2009; Bechiri-Benmerzoug, 2009; Bechiri et al, 2013; Bechiri et al, 2016; Bechiri-Benmerzoug et al, 2017; Azzouni et al; 2020).

وقد تمت التحاليل الكيميائية للصخور الماغمايية المندسة على خمسين عينة (العناصر الرئيسية والتادرة والشحيجة) وكذا بعض تحاليل النظائر المشعة لعنصري النيوديم والسترونسيوم والتزمين المطلق لخمس عينات على بلورات الزركون بطريقة (SHRIMP). (الجدول 1-2) في مخابر اجنبية وهما مركز البحوث البيتروغرافية والجيوكيميائية بنانسي - فرنسا ومخبر جيولوجيا النظائر بمتحف افريقيا ببلجيكا، كما استخدمنا بيانات اضافية من المنشورات السابقة للمؤلفين المذكورين اعلاه. Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques (CRPG), Nancy, France/The isotopic geology laboratory from the Africa museum, Tervuren Belgium) (Center of Isotopic Research, All-Russian geological Research Institute (VSEGI) Saint-Petersburg- Russia)

تاسنو 1 الواقع غرب الفالق 4°35' في كتلة عين تيداني وهي عبارة عن منزوغرانييت.

6-مركب آيت أوكلان (3.1 ± 529.3 مليون

سنة) Ait-Oklan 's A-type complex

لو كان هناك نموذج للمركبات الحلقية من نمط A لكان مركب آيت أوكلان (Ait-Oklan) افضل ممثل لها من بين جميع مركبات الخندق الفاروزي (الشكل 2-3)، فهو مكون من اتحاد حلقتين شبه مكتملتين، حيث تكون احدهما الهالة الخارجية مُمثلةً بجبال مرتفعة من السيينوغرانييت تحيط بالثانية التي تقع في مركز المركب وهي عبارة عن صخور من المونزوغرانييت ذي نسيج متوسط الحبيبات مُسطح الى قليل الارتفاع. يظهر آيت أوكلان جنوب مركب تاسنو في كتلة عين تيداني ويقطع الباتوليت الكلسي قلوي المُسمى تيجلامين وقد اعطت نتائج التزمين باستعمال طريقة Sr-Nd على الصخرة الكاملة (Sr-Nd/Whole rock) عمرا غير دقيق يقدر ب $511 \pm$ 39 مليون سنة، اعتبره المؤلفون مرتبطا بالتفاعلات الحرمايية (Azzouni et al, 2003).

3. الوسائل (Materials)

نقدم في هذه المقالة نتائج أهم الدراسات الميدانية والبتروولوجية التي أسهمت في تحديث الخريطة الجيولوجية التي انجزها موريس غرافل (Maurice Gravelle) في اطروحة سنة 1969 بعنوان "سيلات-تباهوين" بمقياس 1/100000 (الشكل 2). اغلب المعطيات المستخدمة في هذه المقالة مستقاة من الاعمال المنشورة من طرف اعضاء فريق البحث بإشراف البروفسور عبلة

3. النتائج (Results)

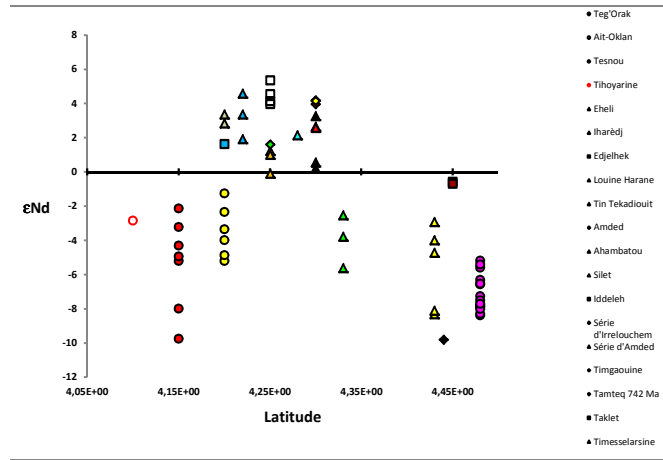
قمنا بتلخيص خصائص الصّخور ونتائج التحاليل الجيوكيميائية في جدولين : [1] الأول خاص بالباتوليتات من نمط (TTG) و [2] الثاني خاص بالمرکبات الغرانيتية (A-type) ، كما استخدمنا بعض نتائج تحاليل عنصري ϵNd المتوفرة (اطروحات غير منشورة) عن مختلف انواع الصّخور المتواجدة في منطقة الدّراسة (نارية ومتحولة وبركانية - رسوبية) لإثراء المناقشة.

تُظهر النّسبة الأولى لنظائر عنصر النيوديم (ϵNd) تفرّد مجموعتين : [1] المجموعة الاولى ذات قيم $\epsilon\text{Nd} < 0$ وهي مُمثلة بالسّلسلتين البركانية-الرسوبية للفاروزي الثاني "إغلوشم وأمداد" والباتوليتات من نمط TTG (لوين هاران + تين-تيكاديويست + أهمباتو + سيلات + إيجلهاك + طامطق + تيمسلاغسين) وكذا المركّب القاعدي-فوق قاعدي إيدليه و [2] المجموعة الثانية ذات قيم $\epsilon\text{Nd} > 0$ مُمثلة بالباتوليت البوتاسي تاكلات والباتوليتين من نمط TTG إهلي وإيمهارج بالإضافة الى المركّب الغرانيتي (A-type) تاج-اوراك الذي يظهر في الشّمال الشرقي لإقليم الدّراسة والمرکبات الغرانيتية (A-type) التي تظهر في كتلة عين تيدايني المجاورة (تمهواغين وتاسنو وآيت أوكلان) (الجدول 2و1).

تنتظم جغرافيا هذه الصّخور في ثلاثة نطاقات متطاولة متّجهة شمال-جنوب عموما، النّطاق الاول يتميز بصخور ذات قيم $\epsilon\text{Nd} > 0$ وينحصر

بين خطّي الطّول $4^{\circ}50'E$ الى $4^{\circ}30'E$ ، النّطاق الثاني يجمع الصّخور ذات قيم $\epsilon\text{Nd} < 0$ يحده شرقا خط الطّول $4^{\circ}30'E$ وغربا خط الطّول $4^{\circ}15'E$ والنّطاق الثالث يقع غرب الخط $4^{\circ}15'E$ ويتميز بصخور ذات قيم ϵNd سالبة (الشّكل 4).

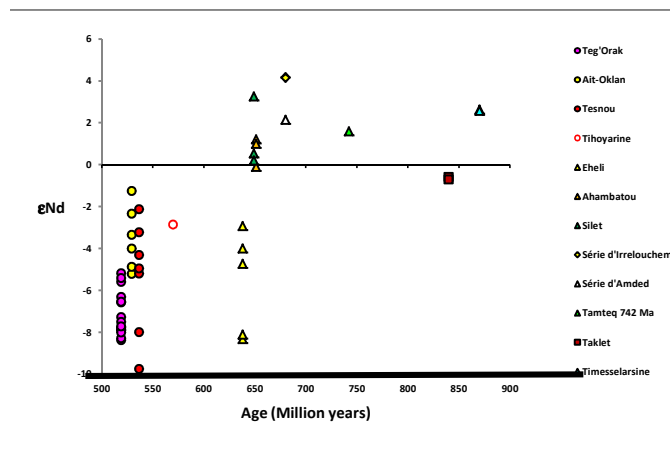
نذكر أن الخطّين $4^{\circ}50'E$ و $4^{\circ}15'E$ يُشكّلان محليا، حدود كتلة سيلات الشّرق والغربية على التّوالي أما خط الطّول $4^{\circ}30'E$ فهو يتطابق مع فالق تين-دهار الذي يقسم المنطقة الوسطى لإقليم سيلات إلى قسمين وهو مُمثل محليا بمنطقة قص إزاحية. (Bechiri et al ; 2016).



الشكل 4: منحني بياني لقيم ϵNd بدلالة احداثيات خطوط العرض لصخور منطقة الدراسة

والممثل بصخور كتلة عين تيدايي المجاورة، تقتصر المعطيات على المركبات الغرانيتية (A-type) فحسب وهي تتراوح ما بين 536 و 529 مليون سنة الموافقة لتزمن المركبين تاسنو وآيت-أوكلان على التوالي (الشكل 5).

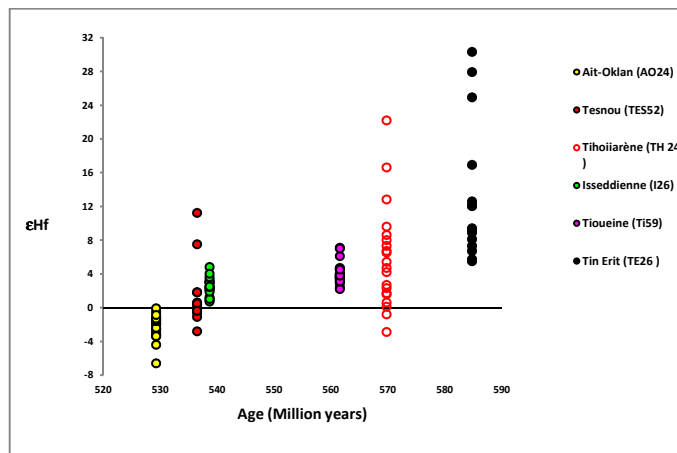
تنحصر أعمار صخور النطاق الشرقي (ذي القيم ϵNd السالبة) في المنطقة الوسطى لإقليم سيلات ما بين 840 الى 549 مليون سنة (تأريخ باتوليت تاكلات ومركب تاج-اوراك على التوالي) في حين تتراوح اعمار صخور النطاق الغربي ذات القيم الموجبة ما بين 870 و 649 مليون سنة (تأريخ الديوريت-كوارتزيت "تمسلاغسين" وباتوليت سيلات على التوالي). بالنسبة للنطاق الثالث



الشكل 5: توزيع الاعمار بدلالة قيم ϵNd لبعض الصخور كتلي سيلات

تيهويارين وتاسنو (Tihoaiirene + Tesnou) اللذين يقعان على الفالق الليتوسفي الذي يفصل بين كتلي سيلات وعين تيدايني، لديهما قيم ϵ_{Hf} سالبة وأخرى موجبة (الشكل 6).

نتائج تحاليل عنصر الهافنيوم ϵ_{Hf} لست مركبات غرانيتية من نمط (A-type) تعزز الملاحظات السابقة (وجود نطاقين بقيم ϵ_{Nd} سالبة وآخر بقيم موجبة) حيث نجد أن المركبات التي تقع غرب الفالق تين-دهار (تين-إغيت وتيويين وإسوديان) تتميز بقيم ϵ_{Hf} موجبة عكس المركب آيت أوكلان (Ait-Oklan) الواقع في كتلة عين تيدايني والذي يتميز بقيم ϵ_{Hf} سالبة. تجدر الإشارة إلى أن المركبين



الشكل 6: مخطط بياني لـ ϵ_{Hf} بدلالة العمر لستة مركبات حامضية من نمط (A-type)

العظيم $4^{\circ}50'E$ من الشمال نحو الجنوب لغاية خط عرض $23^{\circ}N$ اين ينحرف حدها الشرقي باتجاه الجنوب الغربي ليلتحم بالفالق الذي يفصلها عن كتلة أويلان (Aouilene) التي تُعتبر جزءاً من لاتيا (J-P. Liégeois, 2019). يقع إقليم سيلات (قيد الدراسة) في المنطقة الوسطى للكتلة وينحصر بين خطي العرض $15^{\circ}N$ et $11^{\circ}N$

4/- المناقشة (Discussion)

يعتبر المؤلفون كتلة سيلات ذات شكل مغزلي متطاوّل تمتد على مسافة 650 كلم شمال – جنوب في حين يبلغ عرضها 80 كلم كقيمة قصوى وتتناقص بصورة متناسقة وتدرجية باتجاه أطرافها الشمالية والجنوبية (الشكل 1). تلتحم كتلة سيلات شرقاً بشبه الرأسخ لاتيا عبر الفالق

وخطي الطول $4^{\circ}02'E$ et $4^{\circ}46'E$ وتبلغ مساحته الإجمالية 7800 كلم².

بينت الدراسات الجيولوجية والبتروولوجية والتّزمين المطلق ان كتلة سيلات تشكلت ما بين البروتروزويك الحديث والكمبري (530-1000 مليون سنة) واعتبره الباحثون ما تبقى من جزر قوسية بركانية "فتية" تشكلت في محيط قديم والتّحمت بشبه الرّاسخ لاتيا اثناء مرحلة الذروة للدورة البانية للجيال لعموم افريقيا (580-630 مليون سنة)، بعد تصرف الجهة الغربية للاتيا كحافة نشطة وتشكّل منطقة غوص باتجاه الغرب. عند التّصادم فقدت كتلة سيلات وشاحها "الفتي" وارتفعت فوق الجزء الغائص من اللوح الليتوسفييري للاتيا (Liégeois et al, 2003).

سمحت هذه الفرضية بتفسير احتفاظ أغلب صخور كتلة سيلات المتشكلة خلال المراحل الأولى من الدّورة (870 و 635 مليون سنة) بخصائصها الأصلية واكتفائها بتسجيل تحول سطحي في سُحنة الشّيست الاخضر خلال مرحلة الذروة البانا أفريقية ، مثل الديوريت كوارتزيت "تمسلاغسين" (868 ± 8 ملايين سنة) وباتوليت تاكلات (839 ± 4 ملايين سنة) والباتوليتات من نمط (TTG): طامطق (742 ± 5 مليون سنة) وأهمباتو (651 ± 6 ملايين سنة) وسيلات (649 ± 5 ملايين سنة) وإهلي (638 ± 5 ملايين سنة). وقد دعمت نتائج تحاليل النّظائر ($\epsilon Nd/\epsilon Hf$) المنجزة على المركّبات الغرانيتية (A-type) التي تظهر في شمال منطقة الدّراسة (بصفتها من بين آخر شواهد الدّورة) مثل تاج أوراك Teg'Orak ($-8.38 < \epsilon Nd < -5.18$)

وتلك التي تظهر في كتلة عين تيدايني مثل آيت-أوكلان Ait-Oklan ($-0.9 < -5.21/\epsilon Nd < -1.25$) ($-6.6 < \epsilon Hf$ و تاسنو Tesnou - ($-2.13 < \epsilon Nd$) ($+11.2 < \epsilon Hf$ < -1.8/-9.75 فكرة وجود قشرة قديمة أركية أو بروتيزوية أسفل كتلة سيلات ، حيث أُعتبرت هذه القيم السّالبة كدليل على عدوى الصّهير الوشاحي "الأم" بمواد من قشرة قديمة من نمط لاتيا (Azzouni et al, 2003). لكن بعض قيم ϵNd الخاصة بالصّخور الغرانوديوريتية من نمط (TTG) وكذا قيم (ϵHf) لبعض المركّبات الغرانيتية كانت موجبة مما يدل على انها تبلورت من ماغما ناتج عن انصهار جزئي لوشاح علوي فتي مع الاشارة أن الجزء ثاني من الصّخور الغرانوديوريتية وبعض المركّبات الغرانيتية لدهما قيم سالبة وتنتظم جغرافيا شرق الصّخور الفتية (Bechiri-Benmerzoug, 2009; Bechiri-Benmerzoug et al, 2018).

تباين مصادر الصّهير الذي تبلورت منه مختلف انواع الصّخور قيد الدّراسة دليل على تغير في الظروف الجيوديناميكية التي أسهمت في البنية الحالية، لان انتظام مُجمل الصّخور المُحتمل تشكّلها من وشاح نقي في نطاق واحد على غرار تلك التي يبدو انها تبردت من ماغما ملوث بمواد قشرية في نطاق آخر إثبات اضافي على وجود نوعين من الوشاح. وقد تبين وجود نوعين من مدسوسات الوشاح المُصاحبة للنشاط البركاني الحديث المُمثل بأسطح تاهالغا (Tahalra district) في وسط إقليم سيلات (Kourim et al, 2014) يفصلهما جُغرافيا خط طول $4^{\circ}30'E$ المُعرف بفالق

تقطع قاعدة من الصّخور البركانيّة-الرّسوبيّة التابعة للسلسلة الفاروزيّة الاولى حيث يظهر في الجهة الشّماليّة باتوليت تاكلات Taklet "البوتاسي" المؤرخ في 4 ± 839 م س والذي يخترقه المركّب الغرانيتي تاج-أوراك Teg' Orak (18 ± 519 م س) ويظهر في الجهة الجنوبيّة باتوليت إهارج Iharedj (غير مؤرخ) وباتوليت إهلي (Eheli, ± 638 م س) الكبيرين فيما يظهر جزء من المركّب الغرانيتي إنجارن (Inedjaren A-type) (الشكل 2) وأحزمة من قواطع الدّولريت الموجهة شرق-غرب الى شمال شرق-جنوب غرب في الجهة الجنوبيّة.

[2] النّطاق الغربي تيمسلاغسين-

تيويين (Timesslarssine-Tioueïene) : ينحصر

هذا النّطاق بين فالق تين-دهار شرقا والفالق $4^{\circ}15'E$ to $4^{\circ}10'E$ غربا الذي يفصله عن كتلة عين تيدياني، وهو يتميز بتنوع السّحجات حيث يحتوى على عدد كبير من الباتوليتات من نمط (T T G) متوسّطة الحجم مثل ديوريت-كوارتزيت "تميسلاغسين" (Timeslarssine) 8 ± 868 م س) لوين هاران (Louine Harane، غير مؤرخ) وتين-تيكاديوييت (Tin-Tekadiouit، غير مؤرخ) وأهمباتو (Ahambatou، 6 ± 651 م س) وطامطق (Tamteq، 5 ± 742 م س) وسيلات (Silet، 5 ± 649 م س). وهي غالبا ما تكون مرفقة بجسيمات من الصّخور القاعدية-فوق القاعدية الصّغيرة مثل مركب أيدلاه (Iddeleh) وبعض المركّبات القاعدية التي تصل احجامها الى 15 كلم وكذا بعض التّلال الغرانيتية الصّغيرة مزدوجة أو احادية الميكا (Mokaddem et al; 2019). المركّبات الغرانيتية

تين-دهار (Bechiri et al, 2013). كما أُوردت المُعطيات الجيوفيزيائية إلى جود فالق ليتوسفيري عميق في إقليم سيلات يتطابق مع خط $4^{\circ}30'E$ (Deramchi et al, 2020). علاوة عن البيانات الجيوفيزيائية (الجاذبية-المغناطيسية) التي بينت أن سُمك كتلة سيلات ضعيف واثبتت وجود منطقة التّحام على عمق يفوق 10 كلم تحت كتلة عين تيدياني تربط بين كتلة تين زواطين غربا ولايتا شرقا (Brahimi et al, 2018) الامر الذي يجعلنا نوّكد وجود قشرة قديمة اسفل المجال الشرقي من كتلة سيلات وعدم ثبوت وجودها في المجال الغربي.

5/- الخلاصة (Conclusion)

وفقاً للقيم الإيجابية أو السّلبية لنظائر عنصري النّيوديم و/أو الهافنيوم (ϵNd et/ou ϵHf) لبعض الصّخور المكتشفة في المنطقة الوسطى لكتلة سيلات نقترح تعيين فالق تين-دهار (Tin-Dahar Fault) المتطابق مع خط طول $4^{\circ}30'E$ كحد فاصل بين نطاقين : [1] النّطاق الشرقي تاكلات-أهلي (Taklet-Eheli) بتوقيع نظيري سالب و [2] النّطاق الغربي تيمسلاغسين-تيويين (Timesslarssine-Tioueïene) بتوقيع نظيري ايجابي.

[1] النّطاق الشرقي تاكلات-أهلي (Taklet-Eheli)

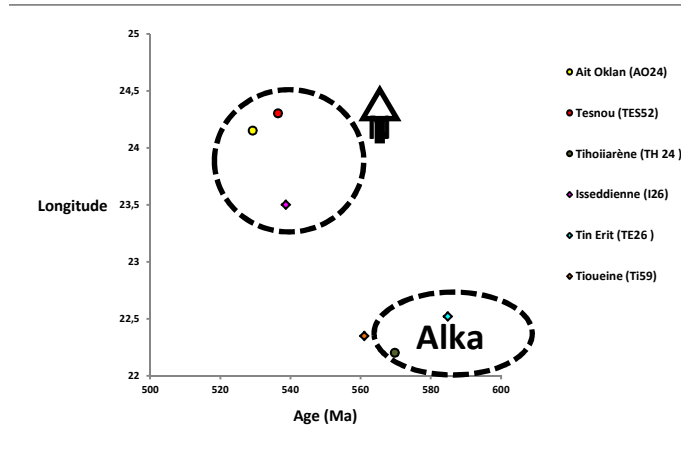
حدوده الشرقيّة متطابقة مع الفالق العظيم $4^{\circ}50'E$ ثم ينحرف عند خط عرض $23^{\circ}N$ شمالاً باتجاه الجنوب الغربي وحدوده الغربيّة توافق فالق تين-دهار (4-30) الموجه شمال-جنوب. يشمل هذا النّطاق ثلاثة باتوليتات كبيرة الحجم

[4] كتلة سيلات: اتحام مجموعة من الأراضي الدخيلة : سجلت كتلة سيلات خلال الدّورة البانيّة للجبال لعموم إفريقيا (520-870 م (س) نشاطا ماغماتيا متنوعا، بدأ بتشكيل باتوليتات مرتبطة بظاهرة الغوص من نمط ت ج متدرجة على اربع مراحل (638-650-742-870 مليون سنة) على الاقل، خلال المرحلة المتأخرة من الدّورة توضع المركّبات الغرانيتيّة القلوية ما بين 570 و560 مليون سنة في الجهة الجنوبيّة وتبعها مجموعة ثانيّة قلوية-كلسيّة توضع ما بين 540 و530 مليون سنة في الجهة الشّماليّة من كتلة سيلات (الشّكل 7).

(A-type) ممثلة في منطقة الدّراسة (في الجهة الجنوبيّة من النّطاق) بتين-إغيت (Tin-Erit)، 584.8 ± 6 م (س) وبتيوين (Tioueïne)، 561 ± 6 م (س) وتهراريت نابور (Taharait N'abror)، غير مؤرخ).

[3] الفالق تين-دهار Tin-Dahar Fault :

يتطابق فالق تين-دهار مع خط الطّول $4^{\circ}35'E$ ويحيد جنوبا وفقا للخط $4^{\circ}30'E$ (ش ش-ج ج غ) يظهر على جانبي أسطح الحمم البركانيّة الحديثة تاهالغا مُمثلا في الجهة الشّماليّة من اقليم الدّراسة بمنطقة قص (Shear zone) بإزاحة يمينيّة (dextral strike-slip) تظهر بها صخور متحولة مثل السّربنيتيت وأخرى بركانيّة "هضبة إغلوشم" وفي الجهة الجنوبيّة نجد صخوراً متحولة فقط مثل التّالك شيست والامفبولايت.



الشّكل 7: مخطط يوضع العلاقة بين العمر والموقع الجغرافي للمركّبات الغرانيتيّة (لكتلي سيلات وعين تيداني)

البانا أفريقيّة وهي تشبه مناطق معروفة في جميع أنحاء العالم مثل هامش أمريكا الشّماليّة في المحيط الهادئ.

تشكل كتلة سيلات من التّحام مجموعة من الأراضي الغريبة، لكل واحدة منها تاريخ جيولوجي مميز، اجتمعت خلال المرحلة الاخيرة من الدّورة

(References) -/5 المراجع

1. Abdallah N, Liégeois JP, De Waele B, Fezaa N, Ouabadi A 2007. The Temaguessine Fe-cordierite orbicular granite (Central Hoggar, Algeria): U–Pb SHRIMP age, petrology, origin and geo-dynamical consequences for the late Pan-African magmatism of the Tuareg shield. *J Afr Earth Sci* 49:153–178
2. Abed, H. 1983. Paléosuture à caractère ophiolitique du protérozoïque supérieur dans la région de Silet (Hoggar occidental, Algérie). Thèse 3ème cycle ; Nancy1, 172p
3. Azzouni-Sekkal, A. 1989. Pétrologie et géochimie des granites de type "taourirt" : un exemple de province magmatique de transition entre les régimes orogéniques et anorogéniques, au Pan-Africain (Hoggar, Algérie). Thèse Doctorat d'Etat, Université des Sciences et Techniques Houari-Boumedienne, Alger, et Mémoires Service Géologique Algérie 7, 288p.
4. Azzouni-Sekkal, A., Boissonnas, J. 1987. Geochemistry of the Tiouaine Pan-African granite complex (Hoggar, Algérie). *Geological Journal* 22, 213-224.
5. Azzouni-Sekkal, A., Boissonnas, J. 1993. Une province magmatique de transition du calco-alkalin à alcalin : les granitoïdes pan-africains à structure annulaire e la chaîne pharusienne du Hoggar (Algérie). *Bulletin de la société géologique de France*, 164, 597-608.
6. Azzouni-Sekkal, A., Bonin, B. 1998. Les minéraux accessoires des granitoïdes de la suite Taourirt, Hoggar (Algérie): conséquences pétrogénitiques. *Journal of African Earth Sciences* 26, 65–87
7. Azzouni-Sekkal, A., Liégeois, J-P., Bechiri-Benmerzoug, F., Belaidi-Zinet, S., Bonin, B. 2003. The "Taourirt" magmatic province, a marker of the closing stage of the Pan-African orogeny in the Tuareg Shield: review of available data and Sr-Nd isotope evidence. *Journal of African Earth Sciences* 37, 331-350
8. Azzouni-Sekkal, A., Bonin, B., Bowden, P., Bechiri-Benmerzoug, F., Meddi, Y. 2020. Zircon U–Pb and Lu–Hf isotopic systems in ediacaran to Fortunian "Taourirt" granitic ring complexes (Silet and In Tedeini terranes, Tuareg shield, Algeria), *Journal of African Earth Sciences*, Elsevier, 2020, 168, pp.103865.(DOI 10.1016/j.jafrearsci.2020.103865).
9. Bechiri H, Azzouni-Sekkal A, Béchiri-Benmerzoug F, Bonin B, Liégeois JP, Kheloui R, Matukov DI, Sergeev SA . 2016. La faille de Tin-Dahar, un élément clé dans la structuration du bloc de Silet (ex Iskel) Hoggar occidental, Algérie. In: 1st Arab geoscience union international conference (AIC-1), Algiers, Algeria, p 4
10. Bechiri, H. 2005. Le complexes basique-ultrabasique de Tin-Erit: étude pétrographique, minéralogique, géochimique (Hoggar occidental, Algérie). Thèse de magister, FSTGAT/USTHB. 125pp.
11. Béchiri-Benmerzoug F, A. Azzouni-Sekkal, Liégeois JP, Bonin B Bechiri H, Kheloui R .2018.The Silet superterrane (Western Hoggar, Algeria) a collage of exotic terranes. 17th Conference of the Geological Society of Africa. 27th Colloquim of African Geology.Aveiro Portugal 21/28 july 2018
12. Bechiri-Benmerzoug F, Bonin B, Bechiri H, Khéloui R, Talmat-Bouzeguela S, Bouzid K 2017. Hoggar geochronology: a historical review of published isotopic data. *Arab J Geosci* 10:351
13. Bechiri-Benmerzoug, F. 1998. Le complexe granitique du Tin-Erit : Cartographie, pétrologie, minéralogie et géochimie (Hoggar occidental, Algérie). Thèse de magister, IST/USTHB. 165pp.
14. Bechiri-Benmerzoug, F. 2009. Pétrologie, géochimie isotopique et géochronologie des granitoïdes Pan-africains de type TTG de Silet : contribution a la connaissance de la structuration du bloc d'Iskel (Silet, Hoggar occidental) Algeria, Thèse Doctorat, Université

- des Sciences et Techniques Houari-Boumedienne, Alger, 398p.
15. Bendaoud A, Ouzegane K, Godard G, Liégeois JP, Kienast JR, Bruguier O, Drareni A. 2008. Geochronology and metamorphic P-T-X evolution of the Eburnian granulite-facies metapelites of Tidjenouine (Central Hoggar, Algeria): witness of the LATEA metacratonic evolution. In: Ennih N, Liégeois JP (eds) The boundaries of the West African Craton. Geol Soc London Spec Pub 297: pp 111-146
 16. Bertrand J.M.L., Boissonas, J., Caby, R., Gravelle, M., Lelubre, M. 1966. Existence d'une discordance dans l'antécambrien du "fossé" pharusien de l'Ahaggar occidental (Sahara central). C. R. Acad. Sc. Paris, 262, D 2197-2200.
 17. Bertrand JML, Caby R, Ducrot J, Lancelot JR, Moussine-Pouchkine A, Saadallah A 1978. The late Pan-African intracontinental linear fold belt of the eastern Hoggar (Central Sahara, Algeria): geology, structural development, U/Pb geochronology, tectonic implications for the Hoggar shield. Precambr Res 7:349–376
 18. Bertrand JML. 1974. Evolution polycyclique des gneiss du Précambrien de l'Aleksod (Hoggar central, Sahara algérien). Aspects structuraux, pétrologique, géochimiques et géochronologiques. Centre National de la Recherche Scientifique Paris, France, Série Géologique 19, p 350
 19. Bertrand, J.M., Meriem, D., Lapique, F., Michard, A., Dautel, D., Gravelle, M. 1986. Nouvelles données radiométriques sur l'âge de la tectonique Pan-Africaine dans le rameau oriental de la chaîne pharusienne (région de Timgaouine, Hoggar, Algérie). C.R. Acad. Sc. Paris, t. 302, Série II, n°7.
 20. Bertrand, J.M.L., Lassere M. 1976. Panafrican and Precambrian history of the Hoggar (Algerian Sahara) in the light of new geochronological data from the Aleksod area. Precambr. Res. 3, 343-362.
 21. Black, R., Latouche, L., Liegeois, J.P., Caby, R., Bertrand, J.M. 1994. Pan-African displaced terranes in the Tuareg Shield (Central Sahara). Geology 22, 641–644
 22. Boissonas, J. 1973. Les granites a structures concentriques et quelques autres granites tardifs de la chaîne pan-africaine en Ahaggar (Sahara central, Algérie). Thèse Doct. Etat, Ed C. N.R.S- C. R. Z. A. Série géologie, No. 16. 2 vol., 662 pp.
 23. Bouhkalfa, L. 2002. Les formations volcano-sédimentaires néoprotozoïques de la branche orientale de la chaîne pharusienne (Hoggar occidental, Algérie): lithologie et géochimie. Mémoire du service géologique de l'Algérie 11, 9-31.
 24. Bouzeguella-Talimat, Sabiha. 2014. Géochimie, géochronologie et contexte géodynamique des granitoïdes panafricains de l'Amsel (Hoggar, Algérie). Thèse Doctorat, Université des Sciences et Techniques Houari-Boumedienne, Alger. 272p
 25. Bouzid A, Bayou B, Liégeois J-P, Bourouis S, Bougchiche SS, Bendekken A, Abtout A, Boukhlof W, Ouabadi A 2015. Lithospheric structure of the Atakor metacratonic volcanic swell (Hoggar, Tuareg Shield, southern Algeria): electrical constraints from magnetotelluric data. In: Foulger GR, Lustrino M, King SD (eds) The interdisciplinary earth: a volume in honor of Don L. Anderson, vol 514. Geological Society of America special paper, pp 239–255
 26. Brahimi.S, Liegeois. J-P, Ghienne. J-F, Munsch. M, Bourmatte. A. 2018. The Tuareg shield terranes revisited and extended towards the northern Gondwana margin: Magnetic and gravimetric constraints. Earth-Science Reviews, Elsevier, 185, pp.572 - 599
 27. Caby, R. 2003. Terrane assembly and geodynamic evolution of central-western Hoggar: a synthesis. Journal of Earth Sciences 37, 133-159.
 28. Caby, R., Andreopoulos-Renaud, U., Gravelle, M. 1982. Cadre géologique et géochronologique U/Pb sur zircon

- des batholites précoces dans le segment pan-africain du Hoggar central (Algérie). Bulletin Société Géologique France 24, 677–684.
29. Cheilletz, A., Bertrand, J.M., Charoy, B., Moulahoum, O., Bouabssa, L., Farrar, E., Zimmermann, J.L., Dautel, D., Archibald, D.A., Boullier, A.M., 1992. Géochimie et géochronologie RbSr, KrAr, 40Ar39Ar des complexes grani-tiques pan-africains de la région de Tamanrasset, Algérie.: relations avec les minéralisations Sn–W associées et l'évolution tectonique du Hoggar central. Bull. Soc. Géol. France 163, 733–750.
30. Chikhaoui; 1981. Les roches volcaniques du Protérozoïque supérieur de la chaîne panafricaine du Hoggar et Anti-atlas. Thèse doct. d'état Univ. Montpellier, 183p
31. Dautria, J.M., Dostal, J., Dupuy, C., and Liotard, J.M. 1988. Geochemistry and petrogenesis of alkali basalts from Tahalra (Hoggar, northwest Africa). Chemical Geology, v. 69, p. 17–35, doi: 10.1016/0009-2541(88)90155-6.
32. Deramchi. A, Bouzid. A, Bendaoud. A, Ritter. O, Hamoudi. M, Cruces-Zabala. J, Meqbel.N, Boukhalifa. Z, Boughchiche. S, Abtout. A, Boukhlouf. W, Bendekken. B. 2020. Neoproterozoic amalgamation and Phanerozoic reactivation of Central/Western Hoggar (Southern Algeria, Tuareg Shield) lithosphere imaging using Magnetotelluric data. Journal of Geodynamics 139. 101764
33. Doukkari SA, Ouzegane K, Godard G, Diener JFA, Kienast JR, Liégeois JP, Arab A, Drareni A .2015. Prograde and retrograde evolution of eclogite from Adrar Izzilatène (Egéré-Aleksod terrane, Hoggar, Algeria) determined from chemical zoning and pseudosections, with geodynamic implications. Lithos 226:217–232
34. Dupont, P. L. 1987. Pétrologie et géochimie des ensembles magmatiques Pharusien I et Pharusien II dans le rameau oriental de la chaîne pharusienne (Hoggar, Algérie), Implications géodynamiques pour l'évolution d'une chaîne mobile au Protérozoïque supérieur. Thèse doct; Univ. Nancy I, 283p.
35. Gravelle M. 1969. Recherches sur la géologie du socle Précambrien de l'Ahaggar centro-occidental dans la région de Silet Tibehaouine. PhD thesis, Paris, p 781 (unpublished)
36. Gravelle M., Chikhaoui, M. 1976. Tectonique tangentielle panafricaine et métamorphisme épizonal dans le fosse pharusien du Hoggar occidental. 4ème R.A.S.T., Paris, p. 209
37. Haddoum, H. 1984. Lithologie, évolution structurale et géodynamique des terrains précambriens d'Abankor-Timgaouine (Hoggar, Algérie). Thèse doctorat es sciences Paris-Sud université d'Orsay, France 182p.
38. Kheloui. R. 2009. Etude pétrographique, minéralogique et géochimique du massif mafique –ultramafique d'Iddeleh (Silet, Bloc d'Iskel, Hoggar. Thèse de magister, FSTGAT. 102pp
39. Kourim. F, Vauchez. A, Bodinier. J-L, Alard. O, Bendaoud. A .2015 Subcontinental lithosphere reactivation beneath the Hoggar swell (Algeria): Localized deformation, melt channeling and heat advection. Tectonophysics, Elsevier, 650, pp.18-33.
40. Kourim. F, Vauchez. A, Bodinier. J-L, Alard. O, Bendaoud. A., Dautria. J-M. 2014 .Nature and Evolution of the Lithospheric Mantle beneath the Hoggar Swell (Algeria): a Record from Mantle Xenoliths. Journal of Petrology, Volume 55, Issue 11, p 2249–2280, [DOI.org/10.1093/petrology/egu056](https://doi.org/10.1093/petrology/egu056)
41. Lapique, F., Bertrand, J.M., Meriem, D. 1986. A major Pan-African decoupling zone in the Timgaouine area (Western Hoggar). Journal of African Earth Sciences 5, 617-625.
42. Lelubre M. 1952. Recherche sur la géologie de l'Ahaggar central et occidental (Sahara central).Thèse d'Etat, Paris, France tome 1, p 354, tome 2, p 385

43. Liégeois, J.P. 2019. A New Synthetic Geological Map of the Tuareg Shield: An Overview of Its Global Structure and Geological Evolution, *The Geology of the Arab World—An Overview*, Springer Geology, DOI.org/10.1007/978-3-319-96794-3_2
44. Liégeois, J.P., Latouche, L., Boughrara, M., Navez, J., Guiraud, M. 2003. The LATEA metacraton (central Hoggar, Tuareg shield, Algeria): Behaviour of an old passive margin during the Pan-African orogeny. *Journal of African Earth Sciences* 37.
45. Mokaddem et al ; 2019. Classification des biotites de la région de Silet (Hoggar Occidental, Algérie): Exemple d'un TTG (Tin-Tekadiouit), d'un complexe annulaire (Taharait N'abror) et d'un granite à deux micas. 1er séminaire National en Géosciences et Environnement- Centre Universitaire de Tamanrasset. 23-24 octobre 2019
46. Paquette, J.L., Caby, R., Djouadi, M.T., Bouchez, J.L. 1998. U—Pb dating of the end of Pan-African orogeny in the Tuareg Shield: the post-collisional syn-shear Tiouéine pluton (western Hoggar, Algeria). *Lithos* 45, 245—253
47. Peucat JJ, Drareni A, Latouche L, Deloule E, Vidal P 2003. U—Pb zircon (TIMS and SIMS) and Sm—Nd whole rock geochronology of the Gour Oumalelen granulitic basement, Hoggar massif, Tuareg Shield, Algeria. *J Afr Earth Sci* 37:229—239
48. Zerrouk, S, Bendaoud, A, Hamoudi, M, Liégeois, J-P, Boubekri, Ben El Khaznadji, R. 2017. Mapping and discriminating the Pan-African granitoids in the Hoggar (southern Algeria) using Landsat 7 ETM+ data and airborne geophysics. *Journal of African Earth Sciences*. V. 127, P 146-158. DOI.org/10.1016/j.jafrearsci.2016.10.003

[illegible]

التأريخ	Tenou	Isselienne	Thioitrene	Toueine	Tin-Etit	A-type Classification (Azzouni-Sekkal and Bonin, 1998)
Air-Ouklan (529.3 ±3.1Ma)	(536.5 ±6.7Ma)	(538.7 ±2.9Ma)	(569.8±4.8Ma)	(561±6Ma)	(584±2Ma)	
Glla	Glla, Glib	Glla, Glib	Glla, Gill	Gi, Glla, Gill	Glla, Gill	
monzogranite and syenogranite	monzogranite and syenogranite, alaskite (alkali feldspar granite)	monzogranite and syenogranite, alaskite (alkali feldspar granite)	monzogranite and syenogranite, alkali feldspar syenite and granite	monzogranite and syenogranite, alkali feldspar syenite and granite	monzogranite and syenogranite, alkali feldspar syenite and granite	A-type Classifcation (Azzouni-Sekkal et al, 2020) اسم الصخرة
كواتز + بلانجوكلاز + فلدسبار يوناني	كواتز + بلانجوكلاز + فلدسبار يوناني	كواتز + بلانجوكلاز + فلدسبار يوناني	كواتز + بلانجوكلاز + فلدسبار يوناني	كواتز + بلانجوكلاز + فلدسبار قروي	كواتز + بلانجوكلاز + فلدسبار يوناني + فلدسبار قروي	المعادن الرئيسية
بيوتيت ± Mg هورنبلاند	بيوتيت ± Mg هورنبلاند	بيوتيت ± Mg هورنبلاند	بيوتيت ± Mg هورنبلاند	بيوتيت ± Mg هورنبلاند	بيوتيت ± Mg هورنبلاند	المعادن الملونة
الأليت - أبانيت + زركون ++ ماغنيتيت						المعادن الملحقة
70.99 < SiO ₂ < 74.41%	77.27 < SiO ₂ < 69.08%	77.83 < SiO ₂ < 73.29%	73.40 < SiO ₂ < 78.70%	70.02 < SiO ₂ < 77.14%	69 < SiO ₂ < 76.18%	درجة التمايز
0.37 < CaO < 1.79%	1.54 < CaO < 0.33%	0.21 < CaO < 1.22%	0.15 < CaO < 1.97%	0.1 < CaO < 2.18%	0.06 < CaO < 1.54%	المؤديوم
ألوميني	ألوميني إلى فوق قلوي	ألوميني إلى فوق قلوي	ألوميني إلى كلسي قلوي	ألوميني-فوق قلوي إلى كلسي قلوي	ألوميني إلى كلسي قلوي	الالومنيوم (ASI)
4.37 < (La/Yb) < 15.73	2.57 < (La/Yb) < 13.38	3.48 < (La/Yb) < 16.54	12.09 < (La/Yb) _N < 13.77	2 < (La/Yb) < 22.04	9.13 < (La/Yb) < 34.20	REE patterns
-1.25 > εNd > -5.21	-2.13 > εNd > -9.75	/	εNd=-2.85	/	/	εNd انقطار
-0.1 < εHf < -6.6	-0.25 < εHf < 11.2	+0.7 < εHf < +1.8	-0.8 < εHf < +22.2	+2.2 < εHf < +7.1	+5.9 < εHf < +16.9	εHf انقطار

إختبارات مكافحة البيولوجية بواسطة سبينوساد

(مبيد حشري بيولوجي) ضد سوسة التمر

Ectomyelois ceratonia

في ظل ظروف خاضعة للرقابة

أيوب حاجب 1 ، * ، محمد الصغير مهاوة 1 ، محمد. العيد واكيد 2

1_ قسم العلوم الزراعية. جامعة بسكرة ، الجزائر

2_ قسم البيولوجيا. جامعة عنابة ، الجزائر

المؤلف: ayoub.hadjeb@univ-biskra.dz

تاريخ الارسال: 14 مارس 2021 / تاريخ القبول: 14 جوان 2021

خلاصة (Abstract)

بسبب العواقب الكارثية للتطبيق المكثف لمبيدات الآفات ومبيدات الأعشاب، وجد العلماء طرقاً أقل ضرراً. في هذا السياق، قمنا بعملنا لاستكشاف نشاط عينة من مبيد Spinosad على يرقات *Ectomyelois ceratoniae* ، وهي أهم وأخطر آفات نخيل التمر في العالم وخاصة في الجزائر.

أظهرت دراسة التأثير السام ل Spinosad على معدل النفوق في مرحلتي اليرقات الأوليين أن الجرعات المستخدمة كانت مرتبطة معنوياً وإيجابياً مع معدل الوفيات المعدلة لفتترات مختلفة من تعرض اليرقات للمبيد الحيوي. أظهرت دراسة المعايير الديمغرافية للأفراد الناتجة

عن معالجة اليرقات بأربعة مقادير من Spinosad أن هذا المبيد الحيوي يقلل من خصوبة الإناث وخصوبة البويضات.

الكلمات المفتاحية (Keywords): مكافحة الحيوية، *Ectomyelois ceratoniae* ، Spinosad ، معدل الوفيات المصحح ، السمية ، الخصوبة. المقدمة:

في الجزائر، يعتبر نخيل التمر الدعامة الأساسية للنظام البيئي للواحات في الصحراء وبعض المناطق الداخلية. وهي توفر دخلاً منتظماً للمزارعين من خلال تسويق ثمارها على المستويين الوطني والدولي. يلعب دور الشاشة في حماية الواحات من تأثيرات الصحراء ويخلق مناخاً محلياً يفضي إلى تنمية المحاصيل الأساسية واستقرار السكان المحليين في

تنفيذ هذا العمل من أجل دراسة سمية Spinosad وهو مبيد حشري بيولوجي، بشكل أساسي في المختبر على مراحل اليرقات المختلفة من عثة التمر.

المواد والطرائق (Materials and methods)

التربية الجماعية لعثة التمر:

تم إجراء تكاثر من سلالة *Ectomyelois ceratoniae* من بستان النخيل بمنطقة بسكرة لعام (2018)، وقد وضعنا التمر المصابة في قفص تكاثر في غرفة نمو مضبوطة عند درجة حرارة $30 \pm$ درجة مئوية، رطوبة نسبية $(5 \pm 70\%)$ وفترة 16 ساعة: 8 ساعات (Al-izzi et al., 2007; Mediouni and Dhouibi, 1987). عند الظهور، يتم أسر البالغين من *Ectomyelois ceratoniae* باستخدام أنبوب اختبار. ثم يتم وضعها داخل الصناديق البلاستيكية للربط. بعد التزاوج، تضع الإناث البيض داخل العلب. يتم تفريغ البيض من خلال تول شبكي ناعم في الصناديق البلاستيكية $(20 \times 40 \times 10)$. تم تربيتها على نظام غذائي صناعي يحتوي على دقيق التمر (50 جم) ونخالة القمح (50 جم) والماء المقطر (20 مل). بعد بضعة أيام يفقس البيض ونحصل على يرقات لمعالجة المبيدات الحشرية. (Hadjeb et al., 2014)

هذه المناطق الهشة بيئيًا (Majourhat et al., 2002). انخفاض إنتاج التمر على مر السنين بسبب هجمات الآفات والأمراض المختلفة مثل: البيوض، حشرة العفن، العث البق الدقيقي وعثة التمر *ceratoniae* Zeller *Ectomyelois*، هذه الأخيرة هي حشرة متعددة الآفات تم تحديد يرقاتها على أنها آفة ضارة اقتصاديًا، فهي تسبب أضرارًا كبيرة يمكن أن تصل من 20 إلى 30٪ من إنتاج التمر (Mehaoua et al., 2013) وهذه الحشرة تشكل تهديدًا اقتصاديًا خطيرًا لإنتاج التمر. خلال آخر 25 عامًا، تسببت عثة التمر في ضرر يتراوح بين 10 و40٪ في المحصول القابل للجني سنويًا (Warner, 1988; Nay et al., 2006). اليرقات متعددة مصادر الأكل وتهاجم كلاً من المنتجات المخزنة والمحاصيل الحقلية في حوض البحر الأبيض المتوسط وبلدان منطقة الشرق الأدنى (Hadjeb et al., 2021). تعتبر عثة التمر *Ectomyelois ceratoniae* (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae) واحدة من الآفات الرئيسية على الخروب والرمان والتمر والحمضيات واللوز في جميع أنحاء العالم (Gothilf, 1969; Warner, 1988; Ksentini et al., 2010).

إن سوء استخدام المبيدات وتجاهل المزارعين لخطرهما له آثار ضارة على صحة الإنسان والحيوان والبيئة وتدمير الحيوانات النافعة. في هذا الإطار تم



الشكل 01: تربية في وسط صناعي عثة التمر

مع جرعة تحكم؛ كل ذلك مع ثلاثة تكرارات، وقد قدمنا 20 يرقة من يرقات الأعمار الأولى لكل اختبار. تم عمل الملاحظات كل 24 ساعة لإحصاء اليرقات الميتة.

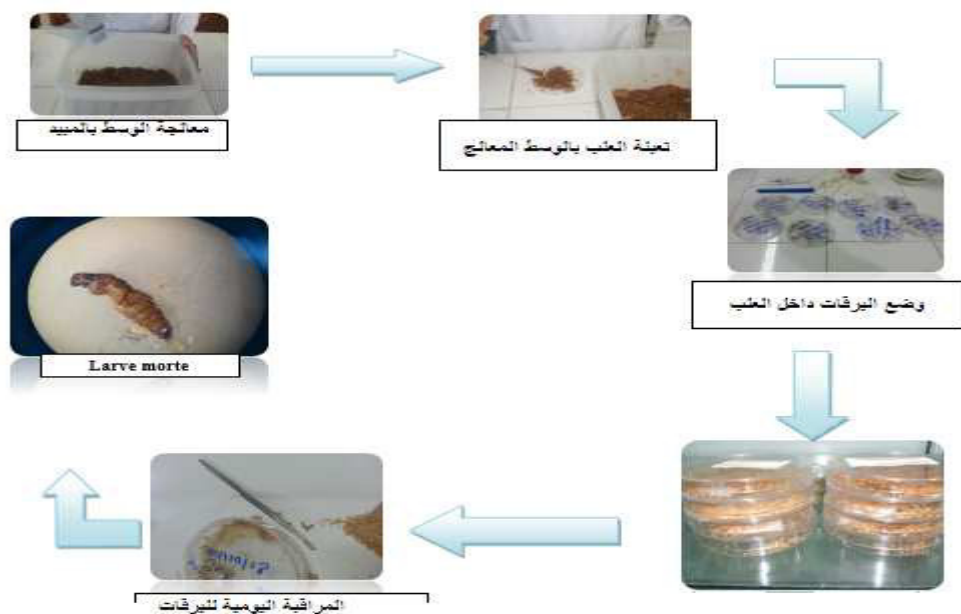
تم إجراء اختبار آخر بنفس الجرعات ولكن هذه المرة قمنا برش الجرعات الأربع من Spinosad على 20 بيضة مباشرة بجرعة تحكم كل ذلك في ثلاث مرات. يتم إجراء تصنيفات البيض الفاقس كل 24 ساعة باستخدام مجهر ثنائي العينين.

لم تتعرض التخفيفات التجريبية لأشعة الشمس، وتم التخلص من الأحجام الزائدة من كل تخفيف خلال 24 ساعة من التحضير.

دراسة سمية Spinosad على اليرقات والبيض:

تم الحصول على عينة من الصيغة التجارية لتركيبه Spinosad المعلق السائل المركز (Tracer 480SC) كهدية من شركة Dow AgroSciences ، الجزائر، تحتوي على 480 جم من العنصر الفعال Spinosad لكل لتر.

في علب بطري بلاستيكية معقمة (قطر 9 سم) تحتوي على علف طبيعي مكون من تمر مرحي نقوم برش المبيد الحيوي Spinosad. طبقنا العلاج بأربع جرعات من 25 جزء في المليون، 50 جزء في المليون، 100 جزء في المليون و200 جزء في المليون



الشكل 02: دراسة سمية Spinosad على اليرقات والبيض

تحليل إحصائي:

من أجل توصيف قوة جزيئات المبيدات الحشرية المستخدمة، حددنا الجرعة المميتة بنسبة 50٪ (LD₅₀). يتم تحويل معدلات الوفيات المصححة التي تم الحصول عليها إلى استقامة مما يسمح بإنشاء خط انحدار بناءً على اللوغاريتمات العشرية للجرعات المستخدمة. بمساعدة المنحنى نحدد جميع الجرعات وفقاً ل (Finney, 1971)). طريقة Swaroop وآخرون. (1966)، يسمح بحساب فاصل الثقة لـ LD₅₀.

في حالة Spinosad المتغير المقاس يتوافق مع معدل وفيات اليرقات. تم تصحيح معدل الوفيات بواسطة صيغة Abbot. تخضع معدلات الوفيات المختلفة لتحويل زاوي وفقاً للجدول التي وضعها Bliss (Fisher and Yates, 1975). تخضع البيانات المحولة لتحليل التباين (ANOVA) بمعيار تصنيف واحد. يسمح بحساب الفرق الأقل أهمية (LSD)

بتصنيف التركيزات المختلفة المستخدمة. يتم إجراء مقارنة بين الوسائل عن طريق الاختبارات البارامترية. تم تنفيذ الحسابات بواسطة برنامج XLSTAT 2013.

النتائج والمناقشة (Results and discussion)

دراسة نفوق يرقات *E. ceratoniae* المعرضة لسبينوساد

يُظهر تحليل التباين في معدل النفوق المصحح لليرقات في المرحلة الأولى بعد 24 ساعة و 48 ساعة و 72 ساعة و 96 ساعة و 120 ساعة و 144 ساعة من مدة التعرض لـ Spinosad فروق ذات دلالة إحصائية كبيرة بين الجرعات الأربع المستخدمة على التوالي $P = 0.1063$ ؛ $P = 0.0004$ ؛ $P < 0.0001$ ؛ $P < 0.0001$ ، $P = 0$ ، $P < 0.0001$ et $P < 0.0003$ (الجدول 1).

نتج عن أعلى تركيزين من سب Spinosad ينوساد (100 جزء في المليون و200 جزء في المليون) أكبر معدل وفيات ليرقات *E. ceratoniae* بنسبة 100.00٪ في زمن مميت طويل بما يكفي (120 ساعة). في حين أن أقل جرعة مستخدمة (25 جزء في المليون) مستحثة في 24 ساعة و48 ساعة ، فإن أقل معدل وفيات هو 15.00 و30.56٪ على التوالي (الجدول 1).

أظهرت نتائجنا أن تطبيق أربع جرعات من Spinosad تتراوح بين 25 و200 جزء في المليون على يرقات المرحلة الأولى من عثة التمر تسبب في نفوق يتراوح بين 10.0٪ و100.00٪ لتعرض اليرقات لفترات مختلفة للمنتج. يزيد تأثير المبيدات الحشرية ل Spinosad أكثر من زيادة مدة تعرض اليرقات للمبيدات الحيوية.

الجدول 1: معدلات الوفيات المصححة ليرقات المرحلة الأولى من *E. ceratoniae* المعالجة ب Spinosad

وقت التعرض	تركيزات				F	P
	25ppm	50ppm	100ppm	200ppm		
بعد 24 ساعة	10,09±4,87	15,26±5,02	18,68±3,23	22,02±2,64	2,831	0,1063
بعد 48 ساعة	20,70±0,61	32,72±1,98	36,14±4,25	41,32±4,14	21,221	0,0004
بعد 72 ساعة	35,05±4,99	51,86±1,62	55,46±2,48	64,95±4,99	34,288	< 0,0001
بعد 96 ساعة	47,05±5,12	66,82±5,03	72,60±2,23	72,60±0,00	194,938	< 0,0001
بعد 120 ساعة	61,27±6,60	75,61±5,36	85,91±8,75	100,00±0,00	23,495	0,0003
بعد 144 ساعة	68,10±4,69	84,13±3,61	100,00±0,00	100,00±0,00	167,062	< 0,0001

0.1356 ، $P = 0.119$ ، $P = 0.0734$ و $R^2 = 0.903$ ؛
 $R^2 = 0.878$ ؛ $R^2 = 0.926$ ؛ $R^2 = 0.747$ ؛ $R^2 =$ ؛
 $R^2 = 0.789$ ؛ $R^2 = 0.895$.

يوفر تحليل نتائج هذا الاختبار الحيوي قيمة تقديرية لـ 24 ساعة LC 50 تبلغ 8992.46 جزء في المليون ، وتقدر الحدود الدنيا التي تأخذ قيمة CL

من النتائج الموضحة في الجدول 2 ، نلاحظ أن معدل الوفيات المصحح ليرقات *L1 Ectomyelois ceratoniae* المعرض ل Spinosad يرتبط ارتباطًا وثيقًا بالتركيزات المختلفة المستخدمة للوقت المميت 24 ساعة ، 48 ساعة ، 72 ساعة ، 96 ساعة ، 120 ساعة ، 144 ساعة. على التوالي $P = 0.0499$ ، $P = 0.0629$ ، $P = 0.0375$ ، $P =$

50 ب 4172.99 جزء في المليون و 19378 01 جزء في المليون للحد الأعلى.

مقارنة بالقيمة المقدرة لـ 144 ساعة لـ LC50 البالغة 20.60 جزء في المليون ، فإن حدود الثقة بين ما يأخذ قيمة 50 CL تقدر بـ 18.86 جزء في

المليون للحد الأدنى و 22.50 جزء في المليون للحد الأعلى (علامة التبويب 2)

الجدول 2. الملاحظات السمية لـ Spinosad على يرقات الطور الأول L1

الحد الأقصى من LC50	الحد الأدنى من LC50	S (Slope)	LC ₅₀ (ppm)	P	R ²	معادلة الانحدار	وقت التعرض
19378,01	4172,99	121,59	8992,46	0,0499	0,903	$Y = 3,114 + 0,477 x$	بعد 24 ساعة
557,56	184,41	31,79	320,66	0,0629	0,878	$Y = 3,341 + 0,662 x$	بعد 48 ساعة
38,68	31,97	1,81	35,17	0,1356	0,747	$Y = -0,948 + 3,847x$	بعد 96 ساعة
32,69	26,52	1,92	29,45	0,1119	0,789	$Y = -0,146 + 3,503x$	بعد 120 ساعة
22,50	18,86	1,74	20,60	0,0734	0,859	$Y = -0,455 + 4,152x$	بعد 144 ساعة

دراسة خصوبة الإناث وبويضات *E. ceratoniae*

أظهر التحليل الإحصائي (ANOVA) لمتوسط عدد البيض الذي تم وضعه لكل أنثى ومتوسط عدد البيض الذي تم فقسه من إصدار *E. ceratoniae* من البيوض التي تم التعامل معها بأربع جرعات (25 جزء في المليون ، 50 جزء في المليون ، 100 جزء في المليون ، 200 جزء في المليون) معنوية عالية. الفرق مع $P < 0.0001$ (الجدول 3).

يوضح الجدول 3. أنه تم تسجيل أكبر عدد من البيض عند سيطرة الإناث (بدون معالجة) ، تليها الإناث من اليرقات المعالجة بجرعات 25 جزء في المليون و 50 جزء في المليون و 100 جزء في المليون و 200 جزء في المليون. أظهرت النتائج أن تطبيق تراكيز مختلفة من Spinosad على يرقات الطور الأول من *Ectomyeloid ceratoniae* يثبط نمو اليرقات ويسبب موتها. من الملاحظات المسجلة نلاحظ أن معدلات الوفيات مرتبطة بشكل إيجابي بالجرعات المختلفة المستخدمة ، بغض النظر عن مدة تعرض البيض لـ Spinosad.

الجدول 3: متوسط عدد البيض الذي يتم وضعه لكل أنثى مع متوسط معدل الفقس

Control	اختبار	25ppm	50ppm	100ppm	200ppm	d.f.	F	P
متوسط عدد البيض الذي يتم وضعه لكل أنثى (%)	159.67±28 .27	107.33±27,48	95.5±53,87	66.67±19.22	54.67±19.4	5	7,96	0,0001
متوسط معدل فقس (%) البيض	5,67±2,89	2,33±0,44	1,33±0,44	1,00±0,00	0,67±0,44	5	5,412	0,0001

من الواضح أن Spinosad 2 كان أكثر مبيدات اليرقات كفاءة التي تم اختبارها مع السيطرة المطلقة أو شبه المطلقة على تطوير *Aedes spp* و *Culex spp*. اليرقات لفترات تتراوح من 6 إلى 8 أسابيع حسب الموسم والتركيز (Marina et al., 2012). تؤكد نتائجنا توافقا مع اختبار المكافحة البيولوجية الذي تم إجراؤه في تونس عام 2000 على نخيل التمر وتظهر أن Spinosad فعال للغاية ضد عثة التمر حتى بجرعة منخفضة (Khoualdia et al., 2002) وأيضا. (KARIMI-PORMEHR et al., 2018).

أشارت الدراسات الأولية إلى أن Spinosad قد يكون مبيدا حشرياً بيولوجياً جديداً وواعدة، فقد وفرت تحكماً دائماً فعالاً في *Ectomyelois ceratoniae* في الظروف التجريبية.

وفقاً لـ (Kirst H. A., 2010) و (Thompson et al., 2000) Spinosad هو مبيد حشري (مبيد يرقات) واسع النطاق نسبياً مسجل للعديد من الآفات. يعتبر فعالاً ضد يرقات حرشية الأجنحة وثنائية الأجنحة. يتطلب تأثير Spinosad من خلال الابتلاع وقتاً مميّناً أطول، حتى مع الجرعات المنخفضة. يمكن أن يسبب الموت الكلي لليرقات.

وفقاً لـ (Kirst H. A., 2010) و (Thompson et al., 2000) Spinosad هو مبيد حشري (مبيد يرقات) واسع النطاق نسبياً مسجل للعديد من الآفات. يعتبر فعالاً ضد يرقات حرشية الأجنحة وثنائية الأجنحة. يتطلب تأثير Spinosad من خلال الابتلاع وقتاً مميّناً أطول، حتى مع الجرعات المنخفضة. يمكن أن يسبب الموت الكلي لليرقات.

الخاتمة (Conclusion):

في الختام ، أظهرت الحشرات الناجية من التعرض لتركيز LC50 من Spinosad زيادة في القدرة الإنجابية ، ربما بسبب القضاء على الجزء الأصغر والأكثر حساسية من عشائر عثة التمر. تؤكد هذه النتيجة على الحاجة إلى الحفاظ على تركيزات Spinosad عند مستويات مميتة في موائل اليرقات. مطلب يمثل تحديًا خاصًا وذلك عند التعرض لأشعة الشمس القوية أو التدفق المستمر للمياه إلى تدهور أو تخفيف المادة السامة. قد تساعد تركيبات الإصدار المستدام من Spinosad بشكل كبير في التغلب على هذه المشكلة ولكنها ليست متاحة على نطاق واسع للاختبار حتى الآن. تسهم نتائج هذه الدراسة في زيادة الأدبيات التي تشير إلى أن Spinosad هو مبيد فعال للغاية ليرقات *Ectomyelois ceratoniae*. مع التذكير أن Spinosad مبيد حشري طبيعي ليس له أي أضرار جانبية على الإنسان والبيئة.

المراجع (References)

- Al-Izzi, M.A.J., S.K. Al-Maliky and N.F. Jabbo, 1987. Culturing the Carob Moth, *Ectomyelois ceratoniae* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae) on an Artificial Diet. *Journal of Economic Entomology*, 80(1): 277-280.
- Finney, D.J., 1971. Probit Analysis, third ed. Cambridge University Press, London.
- Fischer, R.A. et Yates, F. 1975. Statistical Tables for Biological, Medical and Agricultural Research. Ed. Longman, London.
- Hadjeb A., Mehaoua M.S., and Ouakid M.L., 2014. Test of biological control against date moth *Ectomyelois ceratoniae* Zeller. (Lepidoptera, Pyralidae) by Spinosad. *Int. J. Adv. Res. Biol. Sci.* 1(7): (2014): 81–84.
- Hadjeb A., Mehaoua M.S., Adjami Y., Lebouz I., and Ouakid M.L., 2021. EFFECT OF BIOCHEMICAL METABOLITES OF DATES ON NUTRITIONAL PERFORMANCES OF CAROB MOTH, (*ECTOMYELOIS CERATONIAE* ZELLER (LEPIDOPTERA: PYRALIDAE)). *International Journal of Sciences and Research*. Vol. I. 77 | No. 2/1 | Feb 2021. DOI: 10.21506/j.ponte.2021.2.2.
- KARIMI-PORMEHR, M. S., BORZOU, E., NASERI, B., RAFIEE DASTJERDI, H., AND MANSOURI, S. M. 2018. Two-sex life table analysis and digestive physiology of *Sitotroga cerealella* (Olivier) (Lepidoptera: Gelechiidae) on different barley cultivars. *J. Stored Prod. Res.* 75, 64–71
- Khoualdia, O., Takrouni, M. L., Ben Mahmoud, O., Rhouma, A., Alimi, E., BelHadj, R., Abib, M., Brun, J. 2002. La Défense des végétaux. Centre de Recherche phoenicoles Phytoma (551), 15-17.

- Thompson, G.D ., Dutton, W and Sparks, T.C. 2000.** Spinosad a case study: an example from a natural products discovery programme. *Pest Management Science* 56:696-702.
- Warner, R. L. 1988.** Contributions to the biology and the management of the carob moth, *Ectomyelois ceratoniae* (Zeller) in Deglet Noor date gardens in the Coachella Valley of California. PhD dissertation, University of California, Riverside, CA.
- Kirst, H.A., 2010.** The spinosyn family of insecticides: realizing the potential of natural products research, *The Journal of Antibiotics* 63,101–111.
- Marina F. C., Bond J. G., Muñoz J., Valle J., Chirino N. and Williams T. 2012.** Spinosad: a biorational mosquito larvicide for use in car tires in southern Mexico *Parasites & Vectors*. 5:95.
- Majourhat, K., Bendiaba, K., Medraoui, L., Baaziz, M., (2002).** Diversity of leaf perox-idases in date palm (*Phoenix dactylifera* L.) as revealed in an example of marginal (seeding derived) palm groves. *Scientia Horticulturae* 95, 31-38.
- Mediouni, J., Dhouibi, M.H., 2007.** Mass rearing and field performance of irradiated carob moth *Ectomyelois ceratoniae* in Tunisia. In: Area-Wide Control of Insect Pests. National Institute of Agricultural Research of Tunisia, pp. 265-273.
- Mehaoua, M.S., Hadjeb, A., Lagha, M., Bensalah M.K., and Ouakid M.L. 2013.** Study of the Toxicity of Azadirachtin on Larval Mortality and Fertility of Carob Moth's Female *Ectomyelois ceratoniae* (Lepidoptera, Pyralidae) Under Controlled Conditions, *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*, 7(1): 1-9.
- Nay, J. E., and Perring T. M. 2005.** Impact of ant predation and heat on carob moth (Lepidoptera: Pyralidae) mortality in California date gardens. *J. Econ. Entomol.* 98: 725-731.
- Nay, J. E., E. A. Boyd, and Perring T. M. 2006.** Reduction of carob moth in Deglet Noor dates using a bunch cleaning tool. *Crop Protect.* 25: 758-765.
- Swaroop, S., A.B., Gilroy K. Uemura, 1966.** Statistical Methods in Malaria Eradication. Monograph Series World Health Organization, 51: 1-164.



تحليل مشاعر رواد الشبكات الاجتماعية

التي تستخدم اللهجة الجزائرية

إبراهيم لجدل¹، غريسي نورالدين²، عقبة كزار³، أحمد قريشي⁴

¹ جامعة الشهيد حمة لخضر بالوادي، الجزائر.

² مخبر نظرية المؤثرات والمعادلات التفاضلية الجزئية، جامعة الشهيد حمة لخضر بالوادي، الجزائر.

³ جامعة بسكرة، الجزائر.

⁴ جامعة ورقلة، الجزائر.

تاريخ الارسال: 17 جانفي 2021 / تاريخ القبول: 24 ماي 2021

الملخص (Abstract)

خوارزميات محددة مسبقًا تحلل وتصنف مجموعة من المنشورات المأخوذة من الشبكات الاجتماعية. الفئات التي حددناها هي: إيجابية، سلبية أو محايدة. وعملنا هو من بين الأعمال الأولى التي تستخدم وتقارن عدة خوارزميات تصنيف التعليقات على فايسبوك، باستخدام اللهجة الجزائرية.

إنّ تحليل النصّ اليوم، له أهمية كبيرة، خاصة في مجالات مثل السياسة والإنتاج والخدمات ... إلخ. كما أنّ، الشبكات الاجتماعية مليئة بالنصوص التي يعبر فيها مستخدمو الإنترنت عن مواضيع مختلفة، حيث يكون الاهتمام بأرائهم كبيرًا، ويعد فهم المحتوى الذي تنقله هذه النصوص عنصرًا أساسيًا. يمكننا القول أن المدير الناجح هو الذي يستمع جيدًا لآراء المواطنين. ومن هنا، فإن تحليل المشاعر مهم جدًا لتلبية احتياجات المواطنين. في هذا العمل، سننفذ

اليوم، يتوفّر قدر هائل من المعلومات عبر الإنترنت حيث يمكننا العثور على أنواع مختلفة من مستندات الويب مثل: صفحات الويب، الصّور ملفات الصّوت والفيديو ومجموعة كبيرة ومتنوّعة من الملفات المختلفة. أيضًا، يمكننا العثور على مجموعات الأخبار والمنتديات والمدوّات ومنشورات الشّبكات الاجتماعيّة. الآراء التي يعبر عنها الأشخاص اتّجاه موضوع ما هي من بين أنواع المعلومات التي لا تعدّ ولا تحصى المتاحة على الإنترنت. في هذا السّياق، سوف ندرس استخدام اللهجات في وسائل التّواصل الاجتماعي. يجب التّظر إلى اللهجة باللغة العربيّة لأنّ تحديد اللهجة العربيّة يساعد في تحديد السّياق. اللغة العربيّة لها نسخة قياسيّة مفهومة جيّدًا في جميع أنحاء العالم العربي. وهي معروفة باسم اللغة العربيّة القياسيّة الحديثة (MSA). يتمّ استخدامها جنبًا إلى جنب مع اللهجات العاميّة العربيّة في المحتوى عبر الإنترنت. يميل معظم مستخدمي الشّبكات الاجتماعيّة إلى استخدام اللهجة العربيّة (DA). المشاكل النّاشئة عن استخدام هذه الأخيرة هي أبعد من تلك النّاشئة عن اللغة العربيّة القياسيّة (MSA) بسبب عدم توحيد اللهجة العربيّة (DA) ونُدرة أدوات معالجتها [1] (Harrat, Meftouh, Smali, 2017).

Syiam et al. (2006) [2] اعتبر الرّأي كمعتقد شخصي، أو نتيجة عاطفة أو تفسير للحقائق هو نتيجة منظور الشّخص، وفهمه، ومشاعره الخاصّة، ومعتقداته، ورغباته. ويشير إلى معلومات غير مؤكّدة تختلف عن المعرفة

Abstract : Today, text analysis has a great importance, especially in areas such as politics, productions, and services...etc. Currently, the social networks full of the texts in which, the Internet-users express in different subjects, the interest of their opinions is considerable, where the comprehension of the content conveyed by these texts is an essential element. We can say that the good manager who listens well to the opinions of citizens. In this sense, the Sentiment Analysis is very important to meet the needs of citizens. In this work, we will implement predefined algorithms that analyze and classify a set of publications derived from social networks. The classes that we have defined are: positive, negative or neutral. Our work is among the first one that uses and compares several comment classification algorithms on Facebook, using Algerian dialect.

Keywords- Sentiment Analysis; social network; annotated corpus; Lexicon of Sentiment.

الكلمات المفتاحيّة (Keywords): تحليل المشاعر؛ الشّبكات الاجتماعيّة؛ نصوص (corpus) موسوم؛ معجم المشاعر.

1. المدخل Introduction

يتمّ استخدام الإنترنت بشكل متكرّر كوسيلة لتبادل المعلومات. ويمكن للأشخاص نشر المعلومات بسهولة بما في ذلك آرائهم الشّخصيّة حول أيّ موضوع على الإنترنت. حيث يقوم المستخدم بإنشاء محتوى على الويب بلغات طبيعيّة على شكل نصوص حرّة غير منظمّة.

والمعتقدات القائمة على الحقائق. تختلف اللهجة العربية (DA) اختلافاً كبيراً عن اللغة العربية التي تُدرّس في المدارس وتستخدم في التواصل الكتابي والخطاب الرسمي (الأخبار المذاعة، والدين والسياسة، وما إلى ذلك).

تم اقتراح العديد من الأساليب الحالية لتحليل المشاعر باللغة العربية (SA)؛ ومع ذلك، اقتصر بشكل عام على اللغة العربية الفصحى الحديثة (MSA) أو بعض اللهجات ذات الأهمية الاقتصادية أو السياسية.

في هذه الورقة، سوف نستكشف الأعمال المختلفة المتعلقة بتحليل المشاعر في الشبكات الاجتماعية باستخدام اللهجات العربية المختلفة (القسم 2). في القسم 3، سنقدّم مساهمتنا في تحليل المشاعر في الشبكات الاجتماعية باستخدام اللهجة الجزائرية. ثم نناقش نتائج التجربة (القسم 4). أخيراً، نقدّم خاتمة وبعض الأعمال المستقبلية.

2. نظرة عامة

في هذا القسم، سنقدّم الأعمال الرئيسية التي تستخدم بشكل أساسي اللهجة العربية (AD) لتحليل المشاعر في المراجعات أو التعليقات أو التغريدات.

يُقدّم Shoukry و Rafea (2012) [3] تطبيقاً على تحليل المشاعر العربية من خلال القيام بتصنيف المشاعر للتغريدات العربية. يتم تحليل التغريدات المتحصّل عليها من أجل تزويدها بالمشاعر القطبية (إيجابية، أو سلبية). حيث يتم جمع هذه البيانات من الشبكة الاجتماعية Twitter؛ التي لها أهمية في منطقة الشرق

الأوسط، حيث يتحدث معظمها اللغة العربية. لقد جمعا 1000 تغريدة مقسّمة بالتساوي إلى 500 إيجابية و500 سلبية. بعد تصفية التغريدات لإزالة الكلمات غير العربية وعلامات HTML والصّور وما إلى ذلك، استخدمنا ميزات n-gram القياسية وجربا العديد من المصنّفات (NB و SVM) من خلال مجموعة أدوات Weka. في عمل آخر، اقترحا طريقة بسيطة لدمج النهج القائم على التّصوص مع النهج القائم على المعجم. ركّزا على اللهجة المصرية وقاما بالتّجربة على مجموعة بياناتهما المكوّنة من 4800 تغريدة (مقسّمة بالتساوي عبر الفئات الإيجابية والسلبية والحيادية).

اقترح Al-Subaihin ، Al-Khalifa و Al-Salman (2011) [4] و Al-Subaihin و Al-Khalifa (2014) [5] تقنية جديدة تعتمد على المعجم للتعامل مع اللهجة العربية. تكمن الحداثة في نهجهم في استخدام لعبة على الإنترنت لخلق معجم المشاعر من خلال ما يسمى بالحساب البشري. في عمل آخر من قبل نفس المجموعة، ناقش Albraheem و Al-Khalifa (2012) [6] بالتّفصيل القضايا / التّحديات التي تواجهها مناهج تحليل المشاعر للغة العربية القائمة على المعجم. حيث جمعوا 1000 تغريدة مقسّمة بالتساوي إلى 500 إيجابية و500 سلبية. بعد تصفية التغريدات لإزالة الكلمات غير العربية وعلامات HTML والصّور وما إلى ذلك، استخدموا ميزات n-gram القياسية وجربوا العديد من المصنّفات (NB و SVM) من خلال مجموعة أدوات Weka.

تناول Nawaf et al. (2013) [7] كلا النهجين في تحليل المشاعر للغة العربيّة. نظراً لوجود عدد محدود من مجموعات البيانات العربيّة والمعاجم العربيّة المتاحة لتحليل المشاعر، يبدأ عملهم ببناء مجموعة بيانات موسومة يدوياً ثم يأخذ القارئ من خلال الخطوات التفصيليّة لبناء المعجم. ويتم إجراء التجارب خلال المراحل المختلفة من هذه العملية لمراقبة التحسينات المكتسبة على دقة النظام ومقارنتها بالنّهج القائم على النصوص (coprus).

حاول Al-Kabi et al. (2013) [8] دراسة تحليل الرّأي في وسائل التّواصل الاجتماعي باللغة العربيّة. في محتوى هذه الشّبكات الاجتماعيّة يتم خلط اللغة العربيّة الفصحى الحديثة (MSA) المستخدمة في وسائل الإعلام والأدب مع اللغة العاميّة. قاموا بتحديد استقطاب الرّأي واسناد كل رأي أو تعليق الى فئة معيّنة. ثم اختبار وتقييم فئات المجال المختلفة لمعرفة الاختيار الذي يمكن أن يؤدّي إلى أفضل النتائج من حيث الدقة مقارنة بالأحكام اليدويّة. وطوّروا أداة لتحليل الرّأي والتصنيف مخصّصة للغة العربيّة. تمّ تجميع قاموس للكلمات الإيجابية والسّلبية والحياديّة باللغة العربيّة على أساس مسح عدد كبير من الوثائق والمنشورات. بناءً على قاموس الاستقطاب هذا، قاموا بجمع مجموعة كبيرة من الآراء أو المنشورات من الشّبكات الاجتماعيّة. وفحص الكلمات الموجودة في هذه المنشورات مقابل القاموس بحثاً عن القطبيّة ثم إعطاء فئة القطبيّة (على سبيل المثال، إيجابي قويّ، إيجابي

متوسّط، إيجابي ضعيف، إلخ) لكل منشور بناءً على عدد الكلمات الإيجابية أو السّلبية أو المحايدة. اقترح Mataoui et al. (2016) [9] نهجاً جديداً لتحليل المشاعر قائم على المعجم لمعالجة الجوانب المميّزة للغة العربيّة الجزائريّة العاميّة المستخدمة بالكامل في الشّبكات الاجتماعيّة. حيث تم إنشاء مجموعة بيانات موسومة يدوياً وثلاثة معاجم عربيّة جزائريّة لدراسة المراحل المختلفة لنهجم. يتكوّن هذا النهج من أربع وحدات: وحدة حساب تشابه العبارات الشّائعة؛ وحدة المعالجة المسبّقة؛ وحدة الاشتقاق والكشف عن اللغة؛ ووحدة حساب القطبيّة. يتكون قاموسهم من ثلاثة أجزاء: معجم الكلمات الرّئيسيّة؛ معجم كلمات النّفي؛ معجم كلمات التّكثيف والحدّة. تم إثراء هذه المعاجم الثلاثة بقاموس الرّموز وقاموس آخر للعبارات الشّائعة. وأخيراً، قاموا ببناء مجموعة اختبار للأغراض التجريبيّة. حيث تمّت تصفية هذه المجموعة ووسمها لتسهيل عمليّة تقييم الاقتراح. تظهر النّتائج التجريبيّة أن نظامهم حصل على أداء بنسبة 79.13٪ من الدقة.

ركّز Medhaffar et al. (2017) [10] على تحليل المشاعر باللهجة التّونسيّة. حيث استخدموا تقنيّات التّعلم الآلي لتحديد قطبيّة التعليقات المكتوبة باللهجة التّونسيّة. أولاً، قاموا بتقييم أداء أنظمة تحليل المشاعر من خلال نماذج مدرّبة باستخدام مجموعات بيانات متاحة مجّاناً للعربيّة الفصحى والمتعدّدة اللهجات. حيث جمعوا ووسموا مجموعة تعليقات باللهجة التّونسيّة تحتوي على 17.000 تعليقاً من Facebook. أظهرت هذه

المجموعة تحسّنا ملحوظا مقارنة بأفضل نموذج تم تدريبه على بيانات اللهجات العربية الأخرى أو العربية الفصحى.

أنشأ Baly et al. (2017) [11] مجموعة بيانات Twitter المتعددة اللهجات العربية والخاصة بالمشاعر الأولى من نوعها (MD-ArSenTD) التي تتكون من تغريدات تم جمعها من 12 دولة عربية، مع تعليقات توضيحية للمشاعر واللهجة. استخدموا مجموعة البيانات هذه لتحليل التغريدات التي تمّ جمعها من مصر والإمارات العربية المتحدة، بهدف اكتشاف السمات المميزة التي قد تسهل تحليل المشاعر. كما قاموا بإجراء تقييم مقارن لنماذج المشاعر المختلفة على التغريدات المصرية والإماراتية. أشارت النتائج إلى الأداء المتفوّق لنماذج التّعلم العميق، وأهميّة السمات المورفولوجيّة في معالجة اللغات الطّبيعيّة العربيّة، وأنّ التّعامل مع اللهجات العربيّة يؤدّي إلى نتائج مختلفة اعتمادًا على الدّولة التي يتمّ جمع التغريدات منها.

يقدم Alomari et al. (2017) [12] مجموعة بيانات تويتر عربية أردنية حيث يتمّ وسم التغريدات على أنّها إيجابية أو سلبية. قاموا أولاً بدراسة مناهج مختلفة للتّعلم الآلي الخاضع للإشراف لتحليل المشاعر عند تطبيقها على المستخدمين العرب لوسائل التّواصل الاجتماعي في المواضيع العامّة الموجودة إمّا باللغة العربيّة الفصحى (MSA) أو اللهجة الأردنيّة، ثمّ إجراء تجارب لتقييم استخدام تقنيّات وسيناريوهات مختلفة لأنظمة الوزن، الاشتقاق وN-grams.

تكشف النّتائج التجريبيّة عن أفضل سيناريو لكل مصنّف؛ وتشير إلى أنّ مصنّف SVM باستخدام معامل (TF-IDF) للوزن مع الاشتقاق من خلال ميزة Bigrams يتفوّق على أفضل سيناريو لمصنّف Nave Bayesian من حيث نتائج الأداء.

قدّم Al-Twairsh (2018) [13] ثلاثة مصنّفات هجينة لتحليل المشاعر للتغريدات العربيّة. تعمل المصنّفات على مستويات مختلفة من التّصنيف: تصنيف ثنائي (إيجابي أو سلبى) تصنيف ثلاثي (إيجابي، سلبى أو محايد) وتصنيف رباعي الاتجاه (إيجابي، سلبى، محايد أو مختلط). يعتمد المنهج على دمج المعرفة المستخرجة من الطريقة القائمة على المعجم كميزات في الطريقة المستندة إلى النّصوص من أجل تطوير الطريقة الهجينة. تمّ استخلاص مجموعة ميزات من البيانات ثمّ اقتراح خوارزمية اختيار عكسيّة للقيام باختيار الميزة للوصول إلى أفضل أداء للتّصنيف.

استخدم Elouardighi et al. (2018) [14] نهجاً قائماً على التّعلم الآلي. واقتروا نهجاً يحلّل المشاعر من التّعليقات على فيسبوك خاصّة باللهجة المغربيّة. تحليل المشاعر هي عملية يتمّ خلالها تحديد وتعريف قطبيّة (إيجابية أو سلبية أو محايدة) لنصّ معين [18]. تبدأ هذه العملية بجمع التّعليقات ووسمها باستخدام طريقة crowdsourcing. ثمّ يقومون بالمعالجة القبليّة للنصّ لاختصار الكلمات العربيّة إلى جذورها. حيث سيتم استخدام هذه الكلمات لبناء متغيّرات

الإدخال باستخدام عدّة توليفات من عمليّات الاستخراج والترجيح.

العديد من الأعمال تُنشئ مجموعة بيانات ضخمة لاختبار نماذجها مثل Al-Obaidi and Samawi (2016) [15] ممّا أدّى إلى إنشاء مجموعة بيانات للتّقيب عن الرّأي من اجل اللهجات المتنوّعة للغة العربيّة (OMCCA). تتألّف مجموعة البيانات من 28576 مراجعة موسومة على أنها إيجابيّة أو سلبية أو محايدة. كانت اللهجات المدروسة هي الأردنيّة والسّعوديّة. OMCCA المتاحة للجميع. أبلغ المؤلّفون عن تجارب على OMCCA باستخدام ميزات وتقنيّات تصنيف مختلفة. في Al-Suwaidi et al. (2016) [16]، حجم مجموعة البيانات هو 1000 واللهجة المدروسة هي اللهجة الإماراتيّة، بينما في Alomari et al. (2017) [12]، تسمّى مجموعة البيانات بـ: مجموعة بيانات التّغريدات العامّة العربيّة الأردنيّة (AJGT) وتتكوّن من 1800 تغريدة. بالإضافة إلى ذلك، وسم عسيري وآخرون. (2016) مجموعة بيانات حجمها 4700 لتحليل المشاعر باللهجة السّعوديّة مع (K = 0.807) [17].

3. الإسهام

يتكوّن عملنا من 3 نقاط أساسيّة:

- استخدمنا اللهجة الجزائريّة مع 4 مصنّفات وهي كالآتي: Support Vector Machines (SVM)، Decision Tree (DT)، Random Forest (RF) و Nave Bayes (NB).

- قمنا بوسم مجموعة البيانات الخاصّة باللهجة الجزائريّة يدويّاً والمحتوية على 2891 تعليقاً.

- قمنا بإنشاء قاموس مكوّن من 1328 كلمة موسومة باللهجة الجزائريّة.

1.3 الوسم

وهي عمليّة تحديد صنف كلّ تعليق عن طريق التّعليق عليه على أنّه إيجابي أو سلبي أو محايد. استخدمنا اثنين من المقيّمين لتحديد مشاعر التّعليقات يدويّاً. إمّا أن يتوافقوا فيكون لديهم درجة عاليّة من الاتّفاق في تصنيفهم للتّعليقات أوّلاً يتوافقون؛ ففي هذه الحالة يتمّ استخدام مقيم ثالث لتحديد الصّنف النّهائي. حيث استخدمنا ثلاثة أقطاب 1، -1، 0 تتوافق على التّوالي مع المشاعر الإيجابيّة، السّلبية والحياديّة. يوضّح الجدول 1 الأقطاب المختلفة للتّعليقات الموسومة في مجموعة البيانات الخاصّة بنا.

المجموع	حيادي	سلبي	إيجابي	الأقطاب (الأصناف)
2891	1391	525	975	عدد التّعليقات

جدول 1: عدد التّعليقات لكلّ قطب (صنف)

في الصورة 1، نقدم بعض الأمثلة التي تصف بعض التعليقات بأقطابها.

الأقطاب (الأصناف)	التعليقات
سلي	هذي جياحة نريسكي بعمري على حاجة تستاهل ماشي علاجال بوزوج رجلين يجري مور البالون
سلي	شفت المواطن مش واعي خلاص داير المزيلة حذاه يكل منا او يرمي منا
محايد	في بسكرة خويا لعزیز طریق سيدي عقبة ؟
محايد	هاذوروشيات تع رخام ماشي تلج
ايجابي	ربي يكثر من امثالك
ايجابي	درس في حسن ضيفة كل الاحترام وتقدير ناس المديّة

صورة 1 : بعض التعليقات مع أصنافها

2.3 القاموس

حوالي شهر من العمل الشاق لجمع 1328 كلمة باللهجة الجزائرية من وسائل التواصل الاجتماعي. كما طلبنا مساعدة أصدقاء من شمال الجزائر، الجنوب، الشرق والغرب لإنشاء قاموس للهجة الجزائرية يغطي أكبر عدد ممكن من مناطق بلادنا. يمثل الجدول 2 تقسيم كلمات القاموس وفقًا للأقطاب.

لم نجد معجمًا محدّدًا لكلمات اللهجة الجزائرية. ولهذا، قمنا بإنشاء قاموسنا الخاص. حيث قمنا بتجميع قاموس للكلمات الإيجابية والسلبية والحيادية باللغة العربية من خلال مسح عدد كبير من الوثائق. بناءً على قاموس الاستقطاب هذا، قمنا بجمع مجموعة كبيرة من التعليقات من الشبكات الاجتماعية. استغرقتنا

الأقطاب (الأصناف)	إيجابي	سلي	محايد
عدد التعليقات	565	763	1328

جدول 2 : توزيع كلمات قاموسنا على مختلف الأقطاب

تمثّل الصّورة 2 مثلاً لبعض الكلمات الإيجابية في القاموس.

1	تألق
2	فخر
3	تهيل
4	ناجح
5	البسمة
6	جيد
7	برافو
8	احسنّتي
9	تحياتنا
10	زينة
11	مزيان
12	جميل
13	ممتاز
14	روعه

صورة 2: الكلمات الإيجابية في القاموس

تمثّل الصّورة 3 مثلاً للكلمات السّلبية في القاموس.

1	عنف
2	فاشل
3	ردئ
4	مهزلة
5	خامجين
6	دمار
7	وسخ
8	تبلعيط
9	بلعاط
10	كارثة
11	النحس
12	رهج

صورة 3: الكلمات السّلبية في القاموس

4. التجارب والنتائج

في هذا القسم، نستخدم Python كلغة برمجة في التجارب، نظراً لوجود العديد من المكتبات الجيدة (والسريعة) للتعامل مع نصوص اللغة الطبيعية، وتغطية لجميع المهام اللازمة لبناء أدواتنا، مثل مكتبات CSV و Gensim و Scikit-

learn. أيضاً، نستخدم أربع خوارزميات: SVM، DT، RF و NB.

تمّ إجراء التجارب على جهازين بمعالجات Intel Core2 Quad Q9400 (4 أنوية لكل معالج) بسرعة 2.66 جيجا هرتز وذاكرة 4 جيجا بايت.

Feature	Abbreviation	signification
Has Positive Word	HPW	0 أو 1
Has Negative Word	HNW	0 أو 1
Positive Word Count	PWC	≥ 0
Negative Word Count	NWC	≥ 0
CommentLength	CL	$0 < \text{صحيح}$
SentimentLevel	SL	$-1 \leq V \leq 1$

جدول 3: الخصائص المستخدمة في عملنا

1.4 المميزات

تقسيم النصوص إلى قسمين، 80٪ للتدريب و20٪ للاختبار. قمنا بإجراء العديد من الاختبارات، وتظهر نتائج الدقة في الجدول 4.

استخدمنا ست مميزات رئيسية. يمثل الجدول 3 المميزات المختلفة المستخدمة في عملنا.

استخدمنا طريقة التعلم الخاضعة للإشراف والنهج القائم على المعجم. وبالتالي، يتعين علينا

المصنف				المميزات	الاختبار
NB	RF	DT	SVM		
84.28	85.31	83.07	85.14	كل المميزات	1
82.38	84.28	84.45	84.11	HPW, HNW, PWC, NWC	2
83.76	85.31	83.24	84.62	PWC, NWC, CL, SL	3
67.87	84.45	84.28	84.11	PWC, NWC	4
48.35	84.11	84.11	84.11	HPW, HNW, CL, SL	5
72.30	84.11	84.11	84.11	HPW, HNW	6
48.18	48.18	47.66	47.49	CL, SL	7

نلاحظ أننا نحصل على أفضل النتائج عندما نستخدم جميع المميزات مع المصنف Random Forest (RF).

جدول 4: نتائج التجارب

2.4 المقارنة والنتائج

في هذا القسم، سنقارن عملنا بالأعمال الأخرى التي تستخدم لهجات مختلفة مثل التونسية والمغربية والمصرية والسعودية والأردنية. يمكننا أن نستنتج أن المصنّفات الخاصة بنا حققت نتائج جيدة. يلخص الجدول 5 المقارنة التي أجريناها للتحقق من صحة عملنا.

النتائج	المصنّف	اللهجات
F-measure	الدقة	
84.93 %	85.31 %	عملنا
/	87.2 %	الأردنية [12]
/	79.13 %	الجزائرية [9]
78 %	/	التونسية [10]
78 %	/	المغربية [14]
72.5 %	/	المصرية [3]
69 %	/	السعودية [13]

جدول 5: مقارنة النتائج مع أعمال أخرى

5. الخاتمة والأعمال المستقبلية

في هذه الورقة، قمنا بتحليل مشاعر النصوص تحتوي على 2891 تعليقاً باللهجة الجزائرية، مقسمة إلى ثلاثة أصناف: 975 تعليقاً إيجابياً، و525 تعليقاً سلبياً و1391 تعليقاً محايداً. لقد استخدمنا أربعة مصنفات للتعلم الآلي وهي (SVM) Support Vector Machine و (Decision tree) و (DT) Random Forest و (RF) Naive Bayes (NB)، حيث قمنا بتقييم هذه المصنفات باستعمال 20% من النصوص المستخدمة. استخدمنا ست مميزات وهي HasPositiveWord و NegativeWordCount و PositiveWordCount و CommentLength و SentimentLevel. ثم قمنا بإجراء سبعة اختبارات مختلفة، تم إجراء الاختبار الأول باستخدام جميع المميزات أما الاختبارات الأخرى تم إجراؤها عن طريق التبديل بين هذه المميزات. وأخيراً قارنا نتائج الاختبار للمصنفات الأربعة. النتائج التي تم الحصول عليها مشجعة للغاية، حيث حققنا أفضل دقة 85.31% عند استخدام مصنف Random Forest (RF).

نذكر هنا بعض الأعمال المستقبلية:

1. إثراء قاموسنا بمزيد من كلمات اللهجة الجزائرية التي تغطي مناطق أخرى لأنّ الجزائر كبيرة جداً وتحتوي على عشر لهجات.

2. إثراء مجموعة البيانات بتعليقات أخرى باللهجة الجزائرية للحصول على نتائج دقيقة.
3. تطبيق مصنفات ومميزات أخرى.
4. التحليل باستخدام الصنف المختلط بالإضافة إلى الأصناف السابقة: الإيجابية والسلبية والحيادية.
5. استخدام إعدادات أخرى مثل: الثنائي bigram، الثلاثي trigram والمختلط mixed.

Linguistic resources and experiments. Proceedings of the third Arabic natural language processing workshop, 5561.

[11] Baly, R., El-Khoury, G., Moukalled, R., Aoun, R., Hajj, H., Shaban, K. B. (2017). Comparative evaluation of sentiment analysis methods across Arabic dialects, *Procedia Computer Science*, 117, 266273.

[12] Alomari, K. M., ElSherif, H. M., Shaalan, K. (2017). Arabic tweets sentimental analysis using machine learning. *Proceedings of the international conference on industrial, engineering and other applications of applied intelligent systems* 602610.

[13] N. Al-Twairish, H. Al-Khalifa, A. AlSalman Y., Al-Ohali, Sentiment Analysis of Arabic Tweets: Feature Engineering and A Hybrid Approach, *Computation and Language (cs.CL)*, 2018

[14] Elouardighi A , Maghfour M., Hammia H. Aazi F., Z. , Analyse des sentiments partir des commentaires Facebook publiés en Arabe standard ou dialectal marocain par une approche d'apprentissage, *Confrence Internationale sur l'Extraction et la Gestion des Connaissances*, Paris, France, 2018, 329-334.

[15] Al-Obaidi, A., Samawi, V. (2016). Opinion mining: Analysis of comments written in Arabic colloquial. *Proceedings of the world congress on engineering and computer science 2016 (wcecs 2016)*.

[16] Al Suwaidi, H., Soomro, T. R., Shaalan, K. (2016). Sentiment analysis for Emirati dialects on twitter. *Sindh University Research Journal*, 48(4), 707710.

[17] Assiri, A., Emam, A., Al-Dossari, H. (2016). Saudi twitter corpus for sentiment analysis. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Computer, Electrical, Automation, Control and Information Engineering*, 10(2), 272275.

[18] Al-Harbi, W. A., Emam, A. (2015). Effect of Saudi dialect preprocessing on Arabic sentiment analysis. *International Journal of Advanced Computer Technology*, 4(6), 9199.

مراجع (References)

[1] Harrat, S., Meftouh, K., Smali, K. (2017). Machine translation for Arabic dialects (survey). *Information Processing Management*.

[2] Syiam, M. M., Fayed, Z. T., Habib, M. B. (2006). An Intelligent System FOR Arabic Text Categorization. *Information Sciences*, 6.(1)

[3] Shoukry A. and Rafea A., sentence-level Arabic Sentiment Analysis, *SoMNet*, 2012, 2-5.

[4] Al-Subaihin, A. A., Al-Khalifa, H. S., Al-Salman, A. S. (2011). A proposed sentiment analysis tool for modern Arabic using human-based computing. *Proceedings of the 13th international conference on information integration and web-based applications and services*, 543546.

[5] Al-Subaihin, A. S. and Al-Khalifa, H. S. (2014). A system for sentiment analysis of colloquial Arabic using human computation. *The Scientific World Journal*, 2014, 18.

[6] Albraheem, L., Al-Khalifa, H. S. (2012). Exploring the problems of sentiment analysis in informal Arabic. *Proceedings of the 14th international conference on information integration and web-based applications services* 415418.

[7] Nawaf A. Abdulla, Nizar A. Ahmed, Mohammed A. Shehab, Mahmoud Al-Ayyoub, Arabic Sentiment Analysis: Lexicon-based and Corpus-based, *AEECT*, 2013, 1-6.

[8] Al-Kabi, M., Gigieh, A., Alsmadi, I., Wahsheh, H., Haidar, M., An opinion analysis tool for colloquial and standard Arabic, *Proceedings of the 4th international conference on information and communication systems (ICICS)* 13.

[9] M. Mataoui, O. Zelmati, M. Boumechache (2016), A Proposed Lexicon-Based Sentiment Analysis Approach for the Vernacular Algerian Arabic, *Research in Computing Science*, 2016, 55-68.

[10] Medha_ar, S., Bougares, F., Esteve, Y., Hadrich-Belguith, L. (2017). Sentiment analysis of Tunisian dialects:



طريقة لحساب الأمواج الموجهة في ألياف بصرية غير دائرية المقطع في حالة التوجيه الضعيف

بورغدة عبد الوهاب¹، رزقي حياة² و شوتري عبد العزيز³
المدرسة العليا للأساتذة - القبة، الجزائر،
مخبر المعادلات التفاضلية الجزئية غير الخطية وتاريخ الرياضيات.

ملخص: توجد عدة نماذج رياضية وطرق عددية لحساب الأمواج الموجهة في ألياف بصرية ذات مقاطع بأشكال مختلفة وخاصة الدائرية منها لكن التطبيقات إقتصرت في غالب الأحيان على الألياف الدائرية المقطع. في هذا العمل بعد اختيار النموذج الرياضي وتبرير اختياره مقارنة مع النماذج الأخرى، سنركز على كيفية حساب الأمواج الموجهة في ألياف بصرية ذات مقاطع غير دائرية الشكل كالمثلثية والمضلعة لما لها من أهمية عملية في صناعة الألياف البصرية.

الكلمات المفتاحية: الألياف البصرية، الموجات الموجهة، التوجيه الضعيف، الحقل الكهرومغناطيسي، معادلات ماكسويل، العناصر المنتهية.

Abstract: There are several mathematical models and numerical methods for calculating guided modes propagating in optical fibers with sections of different shapes, especially circular ones, but applications are often limited to these last fibers. In this work, after selecting the mathematical model and justifying its choice in comparison with other models, we will focus on how to calculate guided modes that may propagate in non-circular section fibers such as triangular and polygon ones. We are interested in these fibers because of their possible practical use in manufacturing optical fibers.

1 مقدمة

الليف البصري يشير إلى الوسط والتكنولوجيا المرفقة لنقل معلومات كالنبضات الضوئية من خلال خيط أو ليف زجاجي أو بلاستيكي. يمكن لحزمة الألياف البصرية أن تتكون من بضعة ألياف ويمكن لعدد الألياف فيها أن يكون كبيرا. يمكننا القول أن الليف البصري عبارة عن بنية عازلة كهربائيا رقيقة جدا تدعى اللب محاطة بطبقة مشابهة تدعى بالغمد (انظر الشكل 1 (أ)) وتوجد طبقة خارجية تشكل غلافا لوقاية الليف من المؤثرات الخارجية.

¹ e-mail:bouregghda@ens-kouba.dz

² e-mail:rezgui@ens-kouba.dz

³ e-mail:choutri@ens-kouba.dz

تقوم الألياف البصرية بنقل البيانات على شكل جزيئات ضوئية أو فوتونات على شكل نبضات. لكل من لب وغمد الليف البصري معامل انكسار مختلف يجعل الضوء الوارد بزاوية معينة ينحني. عندما يتم إرسال إشارات الضوء من خلال ليف ضوئي، تنعكس عن اللب والغمد في سلسلة من الانعكاسات المتعرجة وتنسجم في عملية تسمى الانعكاس الداخلي الكلي. نذكر بأن معامل الانكسار هو حاصل قسمة سرعة الضوء في الفراغ (299792.458 كم/ثانية) على سرعة الضوء في وسط معين، فهو يقيس مقدار انكسار الضوء في الوسط المحدد.

لا تنتقل الإشارات الضوئية بسرعة الضوء بسبب عدم نقاء الطبقات الزجاجية أو البلاستيكية المكونة للليف، بل تنتشر بحوالي 30% أبطأ من سرعة الضوء. لتجديد أو تقوية إشارة الضوء أثناء إنتشارها في الليف الضوئي نحتاج أحيانا إلى أجهزة مكررة للإشارة على مسافات متباعدة وذلك بتحويلها إلى إشارات كهربائية ثم معالجتها وإعادة بعثها على شكل إشارة ضوئية من جديد.

2 النمودج الفيزيائي (Physical Model)

الليف الضوئي كما سبق ذكره عبارة عن بنية مكونة من لب دقيق محاط بغمد. يفترض، بغية إجراء دراسة رياضية تحليلية وعددية لانتشار الضوء فيه، أن يكون طوله كبيرا جدا وبالتالي يمكن اعتباره رياضيا غير منته في اتجاه الانتشار وكذلك الغمد غير منته في كل الاتجاهات العمودية على محور الانتشار. هذه الفرضيات، المعهودة في أدبيات الضوئيات، تعتبر طبيعية لكون أبعاد اللب صغيرة جدا بالمقارنة بأبعاد الغمد من جهة، ومن جهة أخرى طول الموجة الضوئية صغير جدا بالمقارنة بطول الليف بالإضافة إلى كون الحقول الكهرومغناطيسية للموجات الضوئية تتناقص أسيا خارج لب الليف.

يمكن تمثيل مقطع عرضي لليف ضوئي (أنظر الشكل 1 (ب)) بمنطقتين: Ω و $\mathbb{R}^2 \setminus \Omega$ ، ما يميز بين المنطقتين هو قيمة معامل الانكسار فهما. Ω عبارة عن مجموعة مفتوحة محدودة من المعلم $\mathbb{R}^2$ تمثل لب الليف و $\mathbb{R}^2 \setminus \Omega$ تمثل غمد الليف. من الواضح أن هذه المناطق تكون معينة جيدا بمجرد معرفة صورة أو ملمح معامل انكسار الليف. معامل الانكسار يعرف عادة بتابع حقيقي n متعلق بمتغيرين (x, y) بحيث $n \in L^\infty(\mathbb{R}^2)$ و $\inf_{(x,y) \in \mathbb{R}^2} n(x, y) > 0$. بالإضافة إلى ذلك، نفترض أن الألياف الضوئية التي تم اعتبارها هي ذات غمد متجانس أي أن

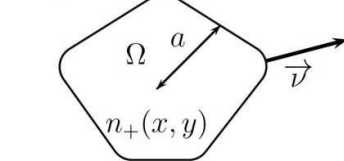
$$n(x, y) =: n_\infty, \quad \forall x \in \mathbb{R}^2 \setminus \overline{\Omega}.$$

وهذا يعني أن معامل الانكسار يكون ثابتا خارج منطقة لب الليف البصري قيمته n_∞ . وعلاوة على ذلك، فمن المعروف في أدبيات الاختصاص (أنظر [1, 6, 11, 12]) أنه من أجل ضمان انتشار الأمواج الموجهة في الليف الضوئي، نفترض أن معامل الانكسار يحقق الشرط الآتي:

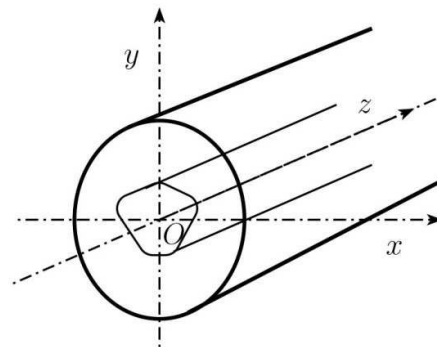
$$n_+ > n_\infty$$

$$n_+ = \sup_{(x,y) \in \mathbb{R}^2} n(x, y)$$

$$n_\infty$$



(ب): مقطع عرضي في ليف بصري



الشكل 1: (أ) ليف بصري

3 المعادلات الرياضية (Mathematical Equations)

نهتم في هذا العمل بتعيين الموجات الموجهة التي يمكنها الانتشار في الألياف البصرية وهي الحلول غير المدومة لجملة معادلات ماكسويل "Maxwell"

$$(1) \quad \mathbb{R}^3 \text{ في } \left\{ \begin{array}{l} \nabla \times E = -i\omega\mu H \\ \nabla \times H = i\omega\epsilon E \end{array} \right.$$

من الشكل

$$(2) \quad F(x, y, z) = F(x, y)e^{-i\beta z},$$

حيث:

• F يمثل E أو H و $\nabla \times F$ هو مؤثر $\text{rot } F$ (دوران الشعاع F).

• ϵ هي النفاذية الكهربائية المفترض أنها غير متعلقة بـ z .

• μ النفاذية المغناطيسية المفترض أنها ثابتة أي $\mu(x, y) = \mu_0$.

• β هي ثابت الانتشار وتعبّر على سرعة الانتشار.

• ω هي التردد الزاوي.

• $E = (E_1, E_2, E_3)$ هو الحقل الكهربائي.

• $H = (H_1, H_2, H_3)$ هو الحقل المغناطيسي.

تعريف:

الموجة: عبارة عن حل متناسق بالنسبة للزمن ووفق وجهة الانتشار لجملة "ماكسويل" (1) من شكل المعادلة (2).

الموجة الموجهة: يقال عن موجة أنها موجهة إذا انتشرت بدون خمود وظلت طاقتها محدودة وحبسمة منطقة لب الليف أي أن:

$$\beta \in \mathbb{R} \text{ و } E, H \in (L^2(\mathbb{R}^2))^3$$

في هذه الحالة يقال أن الموجة موجهة في الاتجاه z .

التوجيه الضعيف: يقال أن شروط حالة التوجيه الضعيف محققة إذا كان العدد الموجي "التردد" k (الذي صيغته $k = \omega\sqrt{\epsilon_0\mu_0}$) حيث ϵ_0 و μ_0 يمثلان النفاذية الكهربائية و المغناطيسية على التوالي في الفراغ، وهو من معطيات المسألة) كبيراً بما يكفي ومعامل انكسار كل من لب وغمد الليف الضوئي متقاربين جداً. في حالة الألياف الضوئية ذات الغمد المتجانس، تحت شروط التوجيه الضعيف، معامل الانكسار n يحقق ما يلي:

$$\exists a \in \mathbb{R}^{*+}; n(x) = n_\infty, \quad \forall x; |x| > a \quad \bullet \quad n \in L^\infty(\mathbb{R}^2).$$

$$\bullet \quad \inf_{x \in \mathbb{R}^2} n(x) > 0, \text{ حيث } x \text{ يمثل } (x, y)$$

تحت شروط التوجيه الضعيف، يمكن إثبات (أنظر [5, 13]) أن المركبات الطولية H_3, E_3 يمكن إهمالها والمركبات العرضية E_1, E_2, H_1, H_2 هي حلول المسألة، ذات القيم الذاتية، السلمية الآتية:

$$(3) \quad \left| \begin{array}{l} \text{إيجاد } \lambda \in]0, V^2[\text{ و } u \in H^1(\mathbb{R}^2) \text{ بحيث:} \\ \mathbb{R}^2 \text{ في } -\Delta u + q(x)u = -\lambda u \end{array} \right|$$

حيث

$$\begin{aligned} \lambda &= \beta^2 - k^2 n_\infty^2 \\ V^2 &= k^2(n_+^2 - n_\infty^2) \\ q(x) &= -k^2(n^2(x) - n_\infty^2) \end{aligned}$$

نذكر بأن $n(x) = n_\infty$ إذا كان $|x| \geq a$ حيث:• a هو وسيط ثابت يميز بعد مقطع لب الليف.• V هو التردد المنظم أو النظامي وهو معطى في المسألة.

في مقال صدر مؤخرا (أنظر [5]) نجد تبريرا رياضيا دقيقا لاستخلاص، في حالة التوجيه الضعيف، المسألة ذات القيم الذاتية السلمية انطلاقا من جملة معادلات "ماكسويل" في الحالة العامة. نجد أيضا في الأدبيات الكثير من الأعمال المتعلقة بالدراسة النظرية والعددية (أنظر [1, 6, 9, 12, 14]) لهذه المسألة ذات القيم الذاتية المطروحة في المعلم $\mathbb{R}^2$ كاملا. هناك نتائج حول وجود وعدد حلول المسألة المطروحة وارتباطها بالمواصفات الضوئية والهندسية. كما أن هناك عدة طرق لإيجاد هذه الحلول منها ما هو تحليلي في حالات خاصة كالأنابيب الضوئية ذات المقطع الدائري (أنظر [11, 13]) ومنها ما يعتمد على الطرق العددية لحل المسألة. في هذا الإطار نذكر الطريقة التكاملية والطريقة التي تعتمد على العناصر المنتهية ولكل طريقة نقاط قوتها وضعفها. الطريقة التكاملية (أنظر [4, 6, 8]) تعتمد على تمثيل تكاملي لحلول المسألة على حافة لب الليف وتبقى المسألة مطروحة على كل المعلم $\mathbb{R}^2$ ولكن بالمقابل على معامل الانكسار أن يكون ثابتا في غمد الليف وأيضا ثابتا في لبه. أما بالنسبة للطريقة التي تعتمد على العناصر المنتهية فهي عكس الأولى حيث يمكن لمعامل الانكسار أن يكون غير ثابت في لب الليف ولكن لا يمكن حساب حلول المسألة إلا على ميدان محدود من المعلم $\mathbb{R}^2$.

إذن عند حساب الأمواج الموجبة باستعمال طريقة العناصر المنتهية من خلال المسألة (3) تطرح إشكالية عدم محدودية مجال العمل وهو $\mathbb{R}^2$. هناك عدة طرق لتجاوز هذه العقبة من بينها:

1. نقتصر في الحساب على ميدان محدود Ω_R من الفضاء $\mathbb{R}^2$ حيث Ω_R ، في حالة المقطع الدائري، قرص نصف قطره R يشمل لب الليف وفي هذه الحالة نفرض أن $u/(\mathbb{R}^2 \setminus \Omega_R) = 0$ علما أن u يتناقص أسيا عند الابتعاد عن اللب. في هذه الحالة نكتب المسألة بشرطها الحدي الذي يدعى بشرط ديركلت "Dirichlet" على النحو الآتي:

$$(4) \quad \left| \begin{array}{l} \text{إيجاد } \lambda \in]0, V^2[\text{ و } u \in H^1(\Omega_R) \text{ بحيث:} \\ \Omega_R \text{ في } -\Delta u + q(x)u = -\lambda u \\ S_R \text{ على } u = 0 \end{array} \right|$$

حيث S_R هو حافة الميدان Ω_R .

2. اقتصار الحساب على الميدان Ω_R بطريقة (أنظر [3]) تختلف عن الطريقة الأولى فيما يخص الشرط الحدي، حيث يعوض الشرط $u/(\mathbb{R}^2 \setminus \Omega_R) = 0$ بشرط متعلق بسلسلة نشر فوريي "Fourier" لحل المسألة خارج الميدان المحدود Ω_R .

3. الطريقة المقترحة في هذا العمل (أنظر [7]) مثل سابقتها تعتمد على اقتصار حساب الحلول على ميدان محدود ويخالفهما في الشرط الحدي. الشرط الحدي المقترح في هذه الحالة هو شرط من نوع روبن "Robin" وهو شرط مزيج متوازن من شرط "Dirichlet" وشرط نيومان "Newman". تكتب المسألة الحدية الواجب حلها عدديا في هذه الحالة على النحو الآتي:

$$(5) \quad \left| \begin{array}{l} \text{إيجاد } \lambda \in]0, V^2[\text{ و } u \in H^1(\Omega_R) \text{ بحيث:} \\ \Omega_R \text{ في } -\Delta u + q(x)u = -\lambda u \\ S_R \text{ على } \frac{\partial u}{\partial \nu} + \sqrt{\lambda}u = 0 \end{array} \right|$$

تبرير النموذج الرياضي المتبع

إذا قمنا بدراسة وتحليل النماذج الثلاثة السابقة الذكر، يمكننا إصدار الملاحظات الآتية:

1. النموذج الأول (الشرط الحدي لـ "Dirichlet") ينتج حلولاً غير فيزيائية وهذا راجع لعملية البتر التي تجري على ميدان حلول المسألة والشرط الحدي القاسي نسبياً الذي يجب أن يحققه الحل على حافة هذا الميدان وخاصة إذا كانت الحافة لا تبتعد كثيراً عن لب الليف.
2. النموذج الثاني المقترح (أنظر [3]) ينتج لنا مسألة ذات قيم ذاتية غير خطية يصعب حلها عددياً وبرمجتها.
3. النموذج الذي نقترحه (أنظر [7]) مزود بشرط حدي يمكن استعماله لتحويل المسألة المطروحة إلى مسألة ذات قيم ذاتية عامة يسهل حلها عددياً. يتميز بغياب الحلول غير الفيزيائية وهذا ما تبينه تجارب المحاكات العددية.

4 طرح المسألة

سوف نقوم الآن بدراسة انتشار الموجات الموجهة في ليف غير دائري المقطع، تحت شروط التوجيه الضعيف، من خلال النموذج الذي قمنا بتبنيه. نجد (أنظر [7]) دراسة مفصلة للطريقة المتبعة والإنشآت الرياضية اللازمة لتطبيق هذه الطريقة في حساب الموجات الموجهة في ليف بصري تحت الشروط المطلوبة وهي شروط التوجيه الضعيف. في البداية نقوم بسرد مختصر لخطوات هذه الطريقة ثم نضع من خلالها برنامجاً عددياً، باستعمال طريقة العناصر المنتهية، لدراسة انتشار الموجات الموجهة في ليف بصري غير دائري المقطع.

في هذه الحالة علينا بحل المسألة (5) عددياً على ميدان محدود Ω_R من المعلم $\mathbb{R}^2$ وبشرطه الحدي من نوع "Robin" على الحافة S_R وهذا من أجل قيمة معطاة لـ V .

بتطبيق طريقة العناصر المنتهية على الصيغة التفاضلية للمسألة (5) نحصل على الجملة الجبرية الآتية:

من أجل قيمة حقيقية معطاة لـ V ،

$$(6) \quad \left| \begin{array}{l} \text{إيجاد } X \in \mathbb{R}^n \text{ و } \lambda \in]0, V^2[\text{ بحيث:} \\ AX + \lambda BX + \sqrt{\lambda} CX = 0. \end{array} \right.$$

حيث عناصر المصفوفات A ، B و C معرفة بـ:

$$a_{ij} = \int_{\Omega_R} \nabla u \nabla v + \int_{\Omega_R} quv$$

$$b_{ij} = \int_{\Omega_R} uv$$

$$c_{ij} = \int_{\partial\Omega_R} uv d\sigma$$

حيث $i, j = 1, 2, \dots, n$

هذه المسألة ذات القيم الذاتية (6) المتحصل عليها غير خطية بالنسبة للقيم الذاتية λ . وعليه فإن الطرق التكرارية التقليدية لحل المسائل ذات القيم الذاتية لا يمكن تطبيقها مباشرة. لذا يجب إعادة صياغة هذه المسألة بطريقة أخرى، وللقيام بذلك نقوم بالتحويل الآتي (أنظر [7]):

نضع :

$$Y = \frac{1}{\sqrt{\lambda}} B^{-1} AX, \quad Z = \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix}$$

لنعتبر الآن المسألة ذات القيم الذاتية العامة الآتية:

$$(7) \quad \left| \begin{array}{l} \text{إيجاد } Z \in \mathbb{R}^{2n} \text{ و } \lambda \in]0, V^2[\text{ بحيث:} \\ \tilde{A}Z = \sqrt{\lambda} \tilde{B}Z. \end{array} \right.$$

حيث

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} -C & -B \\ A & 0 \end{bmatrix}, \quad \tilde{B} = \begin{bmatrix} 0 & B \\ B & 0 \end{bmatrix}$$

يمكن إثبات (أنظر [7]) وجود تكافؤ بين المسألتين (6) و (7) بالمعنى الآتي:

إذا كانت الثنائية (λ, x) حلاً للمسألة (6) فإن الثنائية (λ, Z) حلاً للمسألة (7) وبالمقابل إذا كانت الثنائية (λ, Z) حلاً للمسألة (7) و $Z = (z_1, z_2)^t$ فإن الزوج (λ, z_1) حلاً للمسألة (6). ولحساب القيم الذاتية للمسألة الجبرية المتحصل عليها نستعمل طريقة أرنولدي "Arnoldi" وهي عبارة عن طريقة تكرارية لحساب القيم الذاتية. وهي من الطرق التي تعتمد على تفكيك المصفوفة المعنية بحساب قيمها الذاتية على شكل جداء يدعى QR.

5 بعض نتائج المحاكاة

نقدم في هذا العمل بعض التجارب العددية لمحاكاة ظاهرة انتشار الموجات الموجهة في ألياف بصرية ذات مقاطع بأشكال مختلفة. للقيام بذلك قمنا بإنشاء برنامج معلوماتي باستعمال برنامج FreeFem++ الملائم لمسائل المعادلات التفاضلية الجزئية والذي يعتمد على طرق العناصر المنتهية (أنظر [10]). لقد أخذنا في البداية ليفاً بصرياً دائري المقطع قصد المقارنة لتوفر النتائج التحليلية والحسابات بالطرق العددية، ثم أخذنا ليفاً بصرياً مثلث المقطع وآخر مربع المقطع كما قمنا بتجربة أخذنا فيها مزدوجة بصرية مكونة من ليفين مثلثي المقطع داخل غمد ذي مقطع رباعي الشكل. عند اختيار المواصفات الضوئية والهندسية للألياف البصرية أثناء تجارب المحاكاة العددية التي قمنا بها لضبط البرنامج الذي قمنا بوضعه، سهرنا في البداية على أن تمكننا التجارب من المقارنة مع نتائج لأعمال سابقة، ولذلك أخذنا مساحة مقطع اللب متساوية في كل أشكال المقاطع المستعملة. حسبنا في كل حالة ثابت الانتشار بالنسبة للموجة الموجهة الرئيسية والموجة الموجهة الثانية.

1. ليف بصري دائري المقطع

الهدف الأساسي من التجارب في هذه الحالة هو ضبط البرنامج المنشأ من خلال المقارنة مع النتائج المتوفرة في الأدبيات. للقيام بذلك قمنا بأخذ المواصفات الضوئية والهندسية الآتية:

$$\bullet \text{ نصف قطر لب الليف: } a = 1. \mu m$$

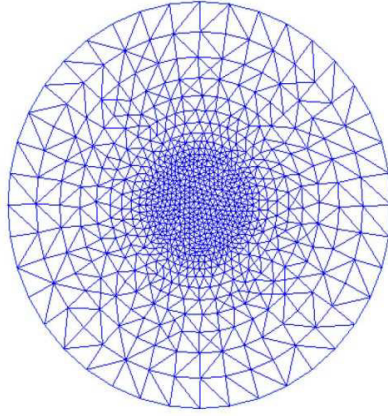
$$\bullet \text{ معامل انكسار اللب: } n_+ = 1.5085$$

$$\bullet \text{ معامل انكسار الغمد: } n_\infty = 1.5000$$

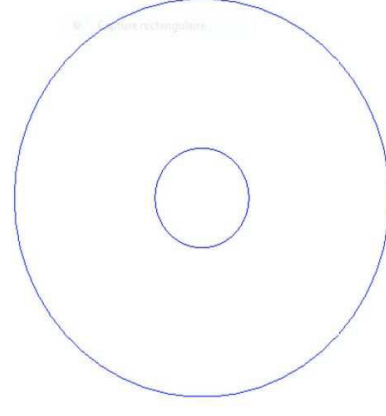
• نصف قطر البتر: $R = 4a$. هذه القيمة مختارة بحيث البتر لا يؤثر على قيمة ثابت الانتشار وشكل الحقل الكهرومغناطيسي.

• التردد المنظم: $V = 2$. هذه القيمة لا تمكن وفق الأدبيات إلا من ظهور الموجة الرئيسية وهذا ما لاحظناه أثناء تجاربنا.

في هذه الحالة الشكل 2 يمثل الميدان الذي تجرى فيه الحسابات حيث (أ) هو المقطع العرضي لليف و(ب) يمثل التشبيك الذي تتطلبه طريقة العناصر المنتهية.



(ب) : تشبيك المقطع الدائري

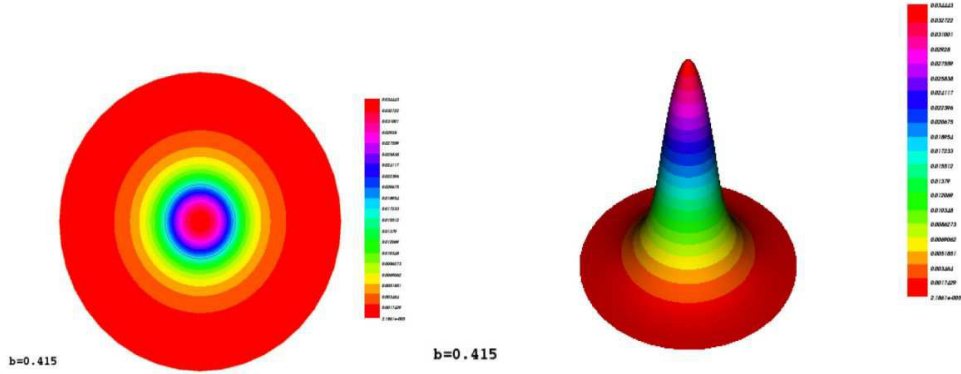


الشكل 2 (أ) : المقطع العرضي للليف الدائري

بهذه المواصفات تحصلنا على قيمة ثابت الانتشار المنظم $b = 0.415$ حيث b يحسب بالصيغة

$$b = \frac{(\beta^2 - n_{\infty}^2 k^2) a^2}{V^2},$$

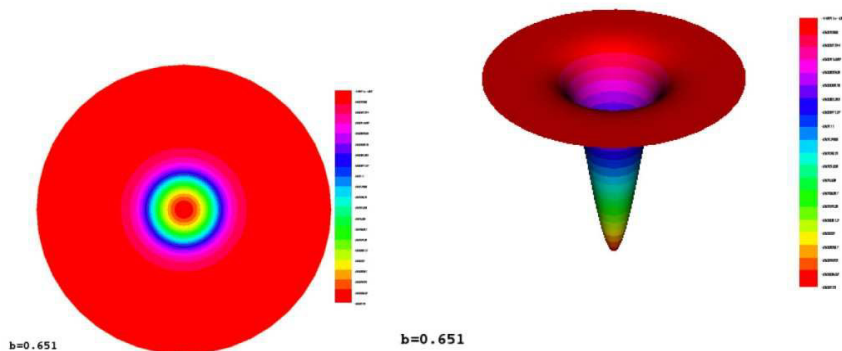
وهي قيمة قريبة من القيمة المتحصل عليها تحليليا 0.41625 [6]. وقد قمنا بتمثيل (أنظر الشكل 3 (أ)) الحقل الكهرومغناطيسي (بثلاثة أبعاد) المرفق بهذه القيمة وكذلك الخطوط المتساوية القيم بالنسبة للطاقة في هذا الحقل وهي عبارة عن مسقطه على المستوي (أي ممثل ببعدين) كما هو مبين في الشكل 3 (ب).



(ب) : مسقط الحقل على المستوي

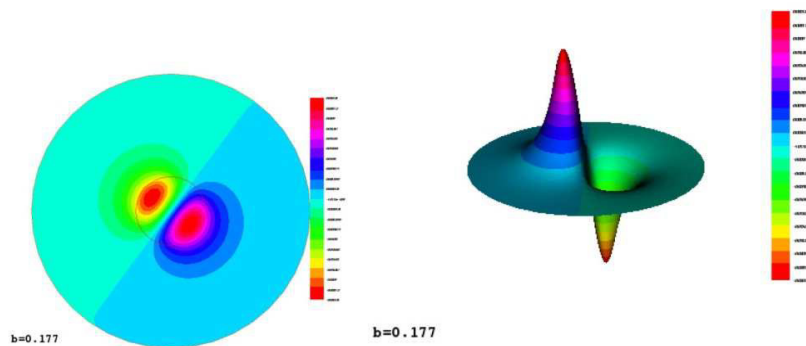
الشكل 3 (أ) : الحقل الكهرومغناطيسي

إذا أردنا الحصول على الموجة الموجهة الثانية بالإضافة إلى الموجة الموجهة الرئيسية يمكننا تغيير قيمة التردد المنظم V والحفاظ على بقية المواصفات الضوئية والهندسية. بأخذ $V = 3$ ، تجارب المحاكاة تبين وجود موجة أساسية بسرعة انتشار 0.651 حيث الشكل 4 يمثل حقلها الكهرومغناطيسي وموجة ثانية بسرعة انتشار قيمتها مضاعفة 0.177 والشكلان 5 و6 يمثلان الحقلين الكهرومغناطيسيين المرفقين بهذه القيمة المضاعفة.



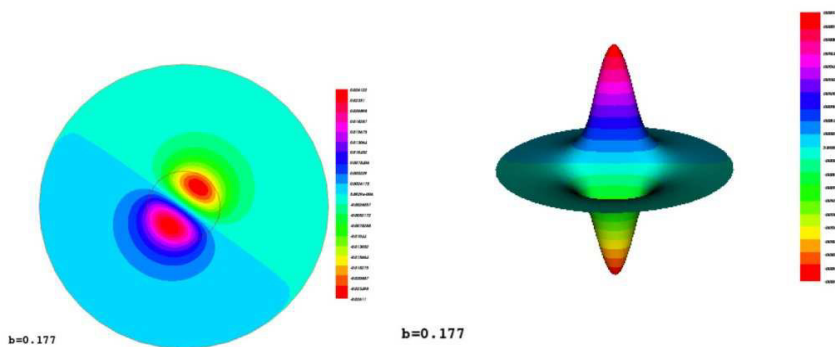
الشكل 4 (أ) : الحقل الكهرومغناطيسي

(ب) : مسقط الحقل على المستوي



الشكل 5 (أ) : الحقل الكهرومغناطيسي

(ب) : مسقط الحقل على المستوي



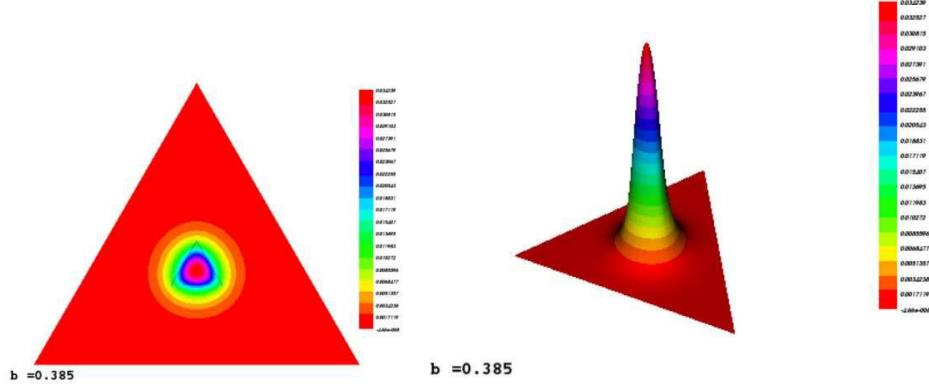
الشكل 6 (أ) : الحقل الكهرومغناطيسي

(ب) : مسقط الحقل على المستوي

من خلال هذه النتائج المتحصل عليها أثناء محاكاتها لانتشار الموجات الموجهة في ليف بصري دائري المقطع، نلاحظ أنها مطابقة أو قريبة جداً مما هو موجود في أدبيات الاختصاص. نلاحظ أنه من أجل $V = 2$ لم نحصل إلا على الموجة الموجهة الأساسية ومن أجل $V = 3$ حصلنا بالإضافة إلى الموجة الموجهة الأساسية على الموجة الثانية وهذا يتماشى مع الأدبيات التي تحدد ظهور الموجة الثانية انطلاقاً من قيمة $V = 2.405$ (أنظر [13]).

2. ليف بصري مثلث المقطع

بعدما ثبتت نجاعة البرنامج الذي قمنا بإنشائه لمحاكاة انتشار الموجات الموجهة في ليف بصري دائري المقطع، نقوم الآن باستعماله لمحاكاة انتشار الموجات الموجهة في ليف بصري مثلثي المقطع. نحافظ في هذه الحالة على المواصفات الضوئية ونغير شكل مقطع لب الليف وغمده حيث يكون مقطع اللب مثلثا متساوي الأضلاع مساحته تساوي مساحة مقطع اللب الدائري. من أجل ذلك أخذنا ضلع مقطع اللب $ci = 2a\sqrt{\pi/\sqrt{3}}$ وضلع مقطع الغمد $ce = 6ci$ وبأخذ $V = 2$ حصلنا على سرعة انتشار تقدر بـ $b = 0.385$.

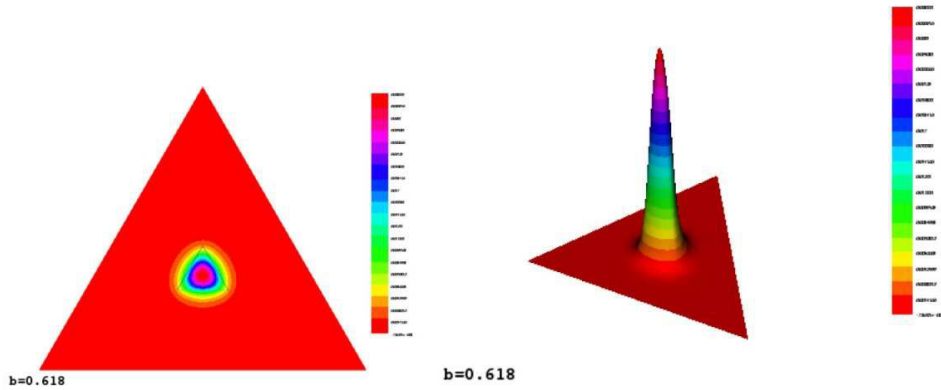


(ب) : مسقط الحقل على المستوي

الشكل 7 (أ) : الحقل الكهرومغناطيسي

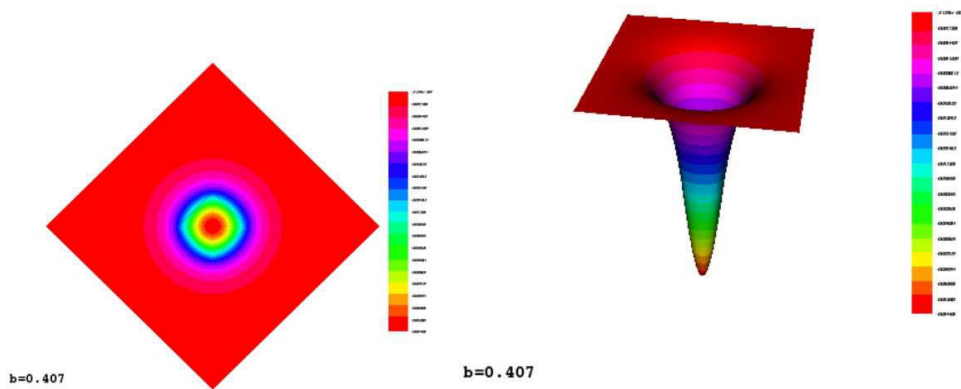
الملاحظة الأولية من هذه التجربة هي أن حقل الموجة الموجهة الأساسية الكهرومغناطيسي لم يتأثر كثيرا من الناحية الشكلية (أنظر الشكل 3 و7) بينما هناك تغير في قيمة سرعة انتشارها.

أما بالنسبة لـ $V = 3$ فالقيم المتحصل عليها هي $b = 0.618$ بالنسبة لسرعة انتشار الموجة الموجهة الأساسية و0.172 بالنسبة لسرعة انتشار الموجة الثانية ذات القيمة المضاعفة. يمكن تقديم نفس الملاحظة السابقة فيما يخص قيمة سرعة الانتشار وشكل الحقل الكهرومغناطيسي المرفق بها إذا قورنا بما تحصلنا عليه في حالة الليف الدائري المقطع (أنظر الأشكال 4، 5 و6 والأشكال 8، 9 و10).



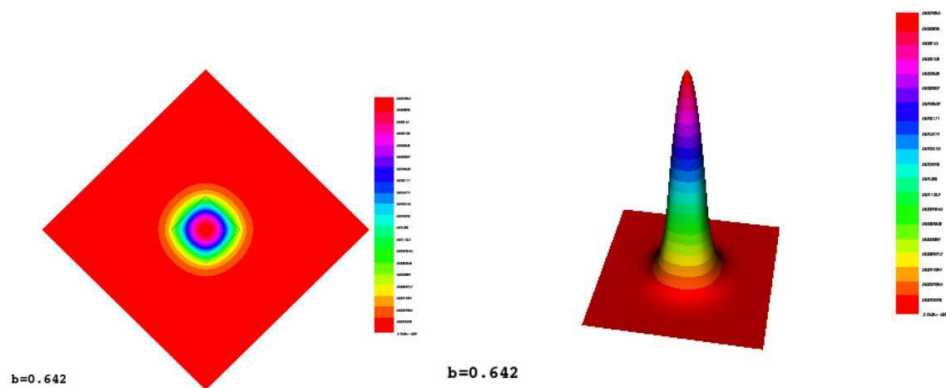
(ب) : مسقط الحقل على المستوي

الشكل 8 (أ) : الحقل الكهرومغناطيسي

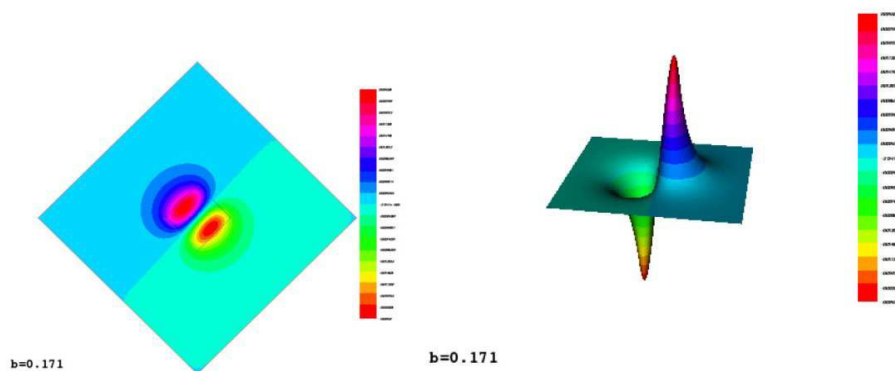


الشكل 11 (أ) : الحقل الكهرومغناطيسي (ب) : مسقط الحقل على المستوي

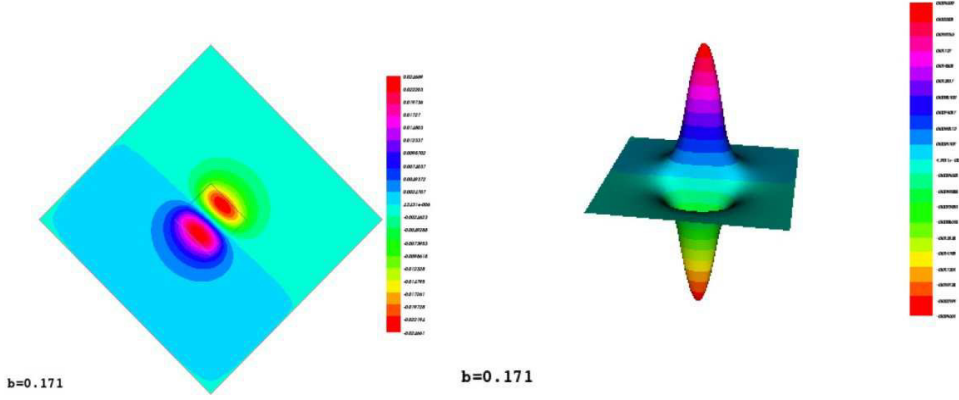
ومن أجل $V = 3$ تحصلنا على سرعة انتشار $b = 0.642$ بالنسبة للموجة الموجهة الأساسية ومثلنا حقلها الكهرومغناطيسي بثلاثة أبعاد وببعدين في الشكل 12 (أ) و(ب). كما تحصلنا على سرعة انتشار تقدر بـ $b = 0.171$ قيمتها مضاعفة ومثلنا الحقلين الكهرومغناطيسيين المرفقين بها في الشكلين 13 و14.



الشكل 12 (أ) : الحقل الكهرومغناطيسي (ب) : مسقط الحقل على المستوي



الشكل 13 (أ) : الحقل الكهرومغناطيسي (ب) : مسقط الحقل على المستوي



الشكل 14 (أ) : الحقل الكهرومغناطيسي (ب) : مسقط الحقل على المستوي

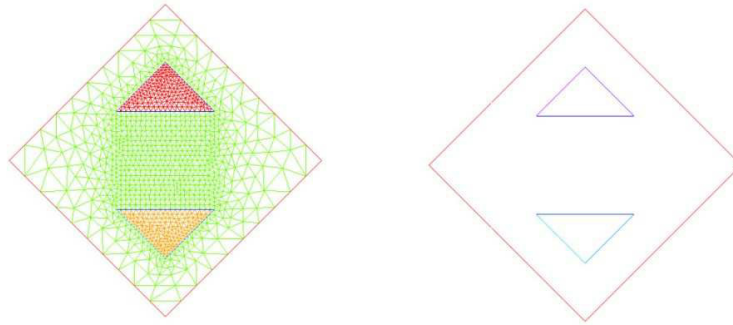
النتائج الحسابية المتحصل عليها في هذه التجربة تمكنا على غرار ملاحظة التجربة السابقة من القول أن الحقول الكهرومغناطيسية لم تتأثر كثيرا من الناحية الشكلية وهناك تغير على مستوى قيم سرعة انتشار الموجات الموجهة سواء الأساسية منها أو الثانوية، ويبدو ذلك جليا من خلال قيم سرعات الانتشار وأشكال الحقول الكهرومغناطيسية المرفقة المتحصل عليها في كل التجارب السابقة. لقد اتخذنا الليف البصري الدائري المقطع كمرجع لمقارنة النتائج المتحصل عليها أثناء محاكنا لانتشار الموجات الموجهة في مختلف الألياف التي اعتبرناها في تجاربنا لامتلاكنا في الأدبيات كما ذكرنا سابقا لنتائج دقيقة تخص الليف الدائري المقطع. من خلال نتائج التجارب التي سردناها يمكن أن نلاحظ أن نتائج الليف المربع المقطع أقرب لنتائج الليف الدائري المقطع إذا ما قورنت بتلك المتعلقة بالليف المثلث المقطع، وهذا أمر متوقع لأنه من الناحية الشكلية (شكل مقطع لب الليف) المربع أقرب للدائرة من المثلث. يمكننا استنتاج أنه إذا اعتبرنا ليفا بصريا مقطع ليه مضلع فإنه كلما ازداد عدد أضلاعه كلما اقتربت نتائج الحسابات فيه من نتائج الليف الدائري المقطع طبعا مع مراعاة مساحة اللب.

4. مزدوجة ألياف مثلثية المقطع

إذا أردنا التعمق أكثر في دراسة تأثير شكل لب الألياف على انتشار الموجات الموجهة من ناحية قيمة سرعة الانتشار وشكل الحقل الكهرومغناطيسي يمكننا أن نقوم بتجارب لمحاكاة انتشار الموجات الموجهة في بنية ناتجة عن مزوجة ليفين بصريين (تدعى مزدوجة بصرية) وليكونا مثلثي مقطع اللب. وعليه فإننا، في هذه الفقرة، نعتبر بنية ضوئية مكونة من ليفين بصريين كل واحد منهما ذو لب مقطعه مثلث الشكل لهما نفس معامل الانكسار سواء في اللب أو في الغمد. للمقارنة مع النتائج المتاحة لدينا سوف نعتبر كلا من الليفين البصريين له المواصفات الضوئية والهندسية المستعملة في التجارب السابقة. هناك معامل جديد يدخل في الحساب، يتعلق الأمر بالمسافة التي تفصل بين لبَي الليفين التي تدعى بمسافة التزاوج وهي عنصر مؤثر في حالة تزاوج الألياف البصرية. نعتبر الآن بنية ضوئية بالمواصفات الآتية:

- مقطع لب الليفين مثلث متساوي الأضلاع مساحته π ومعامل الانكسار فيه $n = 1.5085$.
- غمدا الليفين بنفس معامل الانكسار $n = 1.5000$ ، يمكن اعتبارهما غمدا واحدا يشمل اللبين وشكل مقطعه رباعي يلائم تغيير مسافة التزاوج بينهما.
- التردد المنظم $V = 2$ ، حيث نهتم فقط بالموجة الموجهة الأساسية.

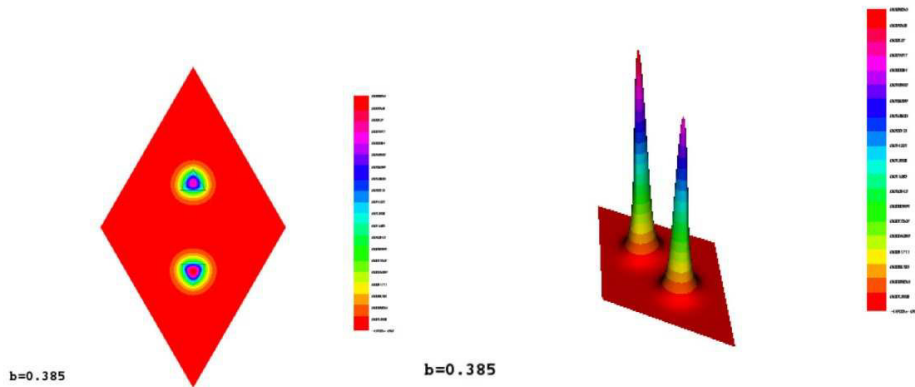
في هذه الحالة الشكل 15 (أ) و(ب) يمثل المقطع العرضي للمزدوجة البصرية والتشبيك الذي تتطلبه طريقة العناصر المنتهية.



الشكل 15 (أ): المقطع العرضي للمزدوجة البصرية

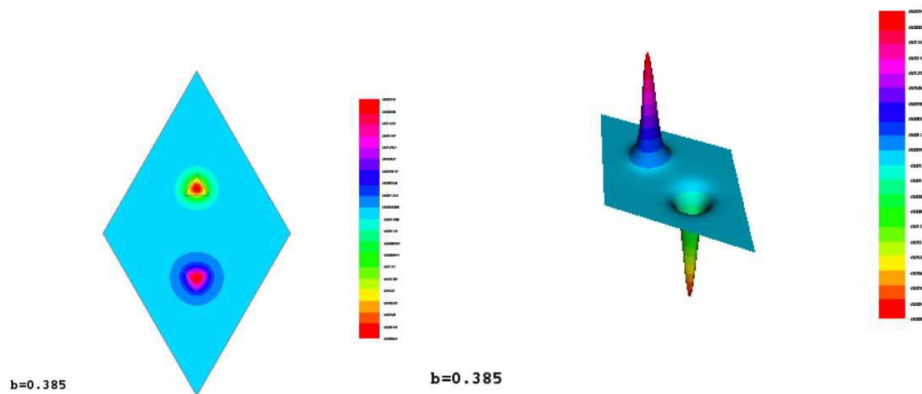
(ب): تشبيك مقطع المزدوجة البصرية

نقوم الآن بمحاكاة انتشار الموجات الموجهة في مزدوجة بصرية مكونة من ليفين متماثلين مع مراقبة مدى تأثير النتائج المتحصل عليها بمسافة التزاوج بينهما. في البداية أخذنا مسافة التزاوج $d = 8\mu m$ وهي المسافة التي تفصل بين لبّي الليفين فحصلنا على سرعة انتشار تقدر بـ $b = 0.385$ مضاعفة ومثلنا الحقل الكهرومغناطيسي المرفق في الشكلين 16 و 17.



الشكل 16 (أ): الحقل الكهرومغناطيسي

(ب): مسقط الحقل على المستوي

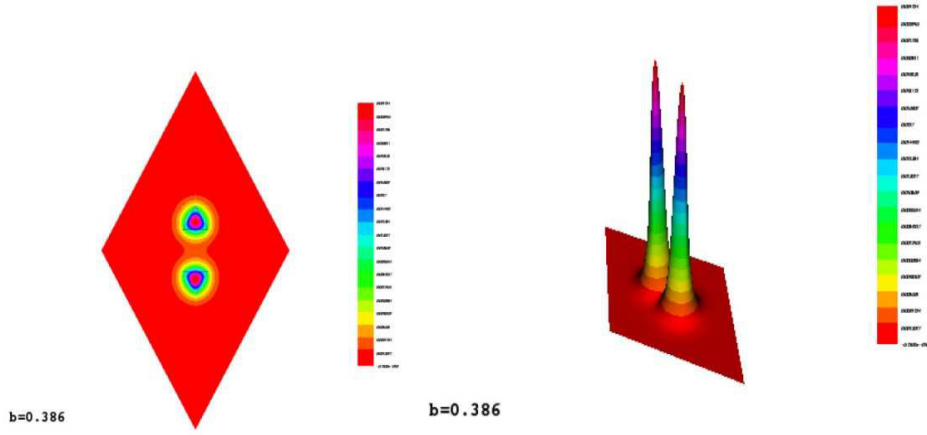


الشكل 17 (أ): الحقل الكهرومغناطيسي

(ب): مسقط الحقل على المستوي

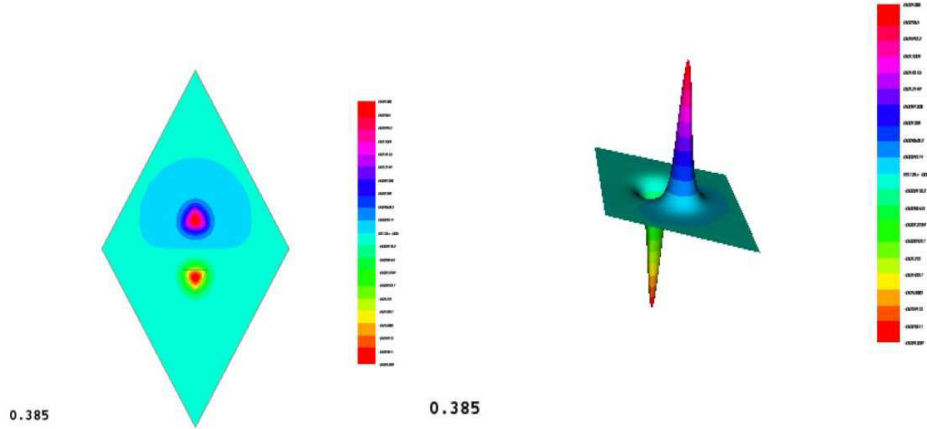
الملاحظة التي يمكن إبداءها إنطلاقاً من النتائج المتحصل عليها في هذه التجربة، هي أن مسافة المزاوجة بين اللبّين المأخوذة في البنية التي اعتبرناها تجعل انتشار الموجات الموجهة في البنية يشبه انتشارها في ليفين بصريين منفصلين تماماً من ناحية قيمة

سرعة الانتشار وهي نفسها وأيضا نفس شكل الحقل الكهرومغناطيسي. هذا يعني أنه من أجل مسافة المزوجة $d = 8\mu m$ في حالتنا ليس هناك أي أثر للمزوجة وهذا يدفعنا إلى أخذ مسافة أصغر منها وملاحظة ما الذي يحدث. وبالفعل، هذا ما قمنا به حيث أخذنا في التجربة الموالية مسافة مزوجة بين اللين $d = 4\mu m$ وكانت النتائج كما يلي: لاحظنا تغيرا طفيفا في قيمة سرعة انتشار الموجة الموجهة الأساسية التي لم تعد مضاعفة بل أصبحت قيمتين: الأولى $b = 0.386$ والثانية $b = 0.385$ ولاحظنا اقتراب الحقلين الكهرومغناطيسيين من بعضهما البعض والشكلان 18 و 19 يبينان ذلك.



الشكل 18 (أ) : الحقل الكهرومغناطيسي

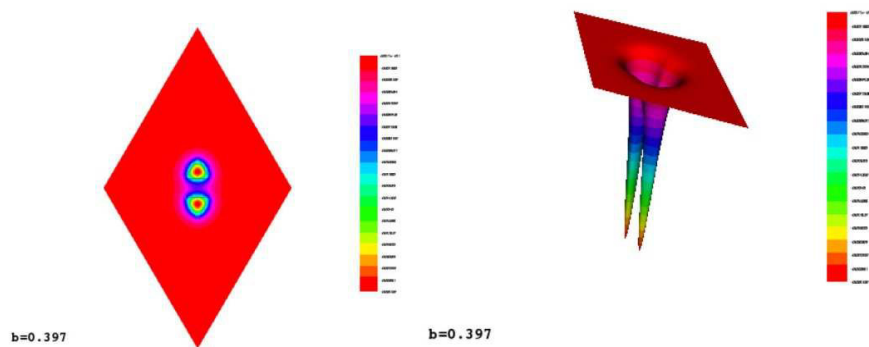
(ب) : مسقط الحقل على المستوي



الشكل 19 (أ) : الحقل الكهرومغناطيسي

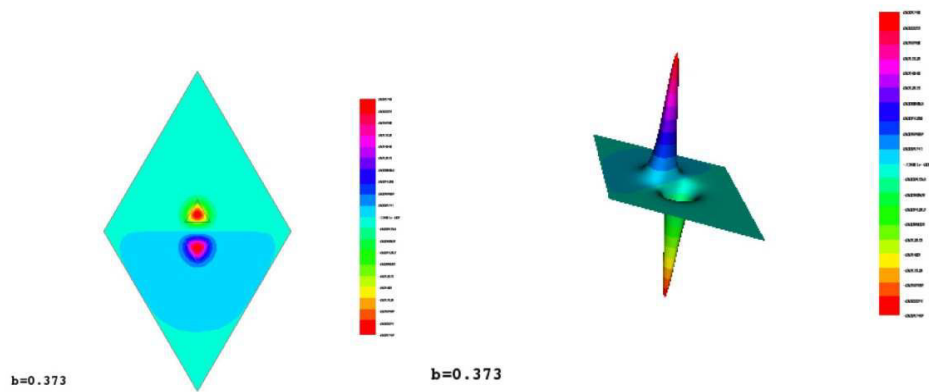
(ب) : مسقط الحقل على المستوي

بعد هذه التجربة، أردنا معرفة ما الذي يحدث إذا أخذنا مسافة مزوجة أصغر من هذه الأخيرة، وهذا ما دفعنا إلى أخذ $d = 2\mu m$ ومراقبة التغيرات الطارئة. ما حصلنا عليه في هذه التجربة يبرز تغيرا واضحا في قيمة سرعة انتشار الموجة الموجهة الأساسية التي أصبحت: الأولى $b = 0.397$ والثانية $b = 0.373$ وبين تداخلا أو تلاهما طفيفا للحقلين الكهرومغناطيسيين المرفقين بالقيمتين ويبدو ذلك جليا في الشكلين 20 و 21.



الشكل 20 (أ) : الحقل الكهرومغناطيسي

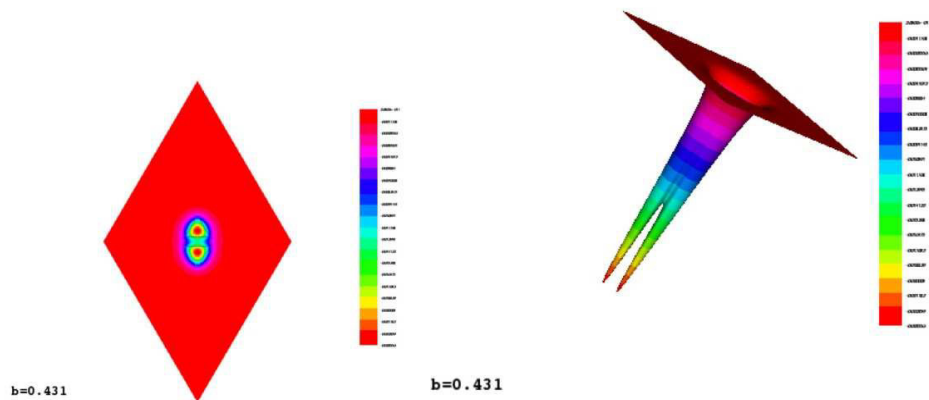
(ب) : مسقط الحقل على المستوي



الشكل 21 (أ) : الحقل الكهرومغناطيسي

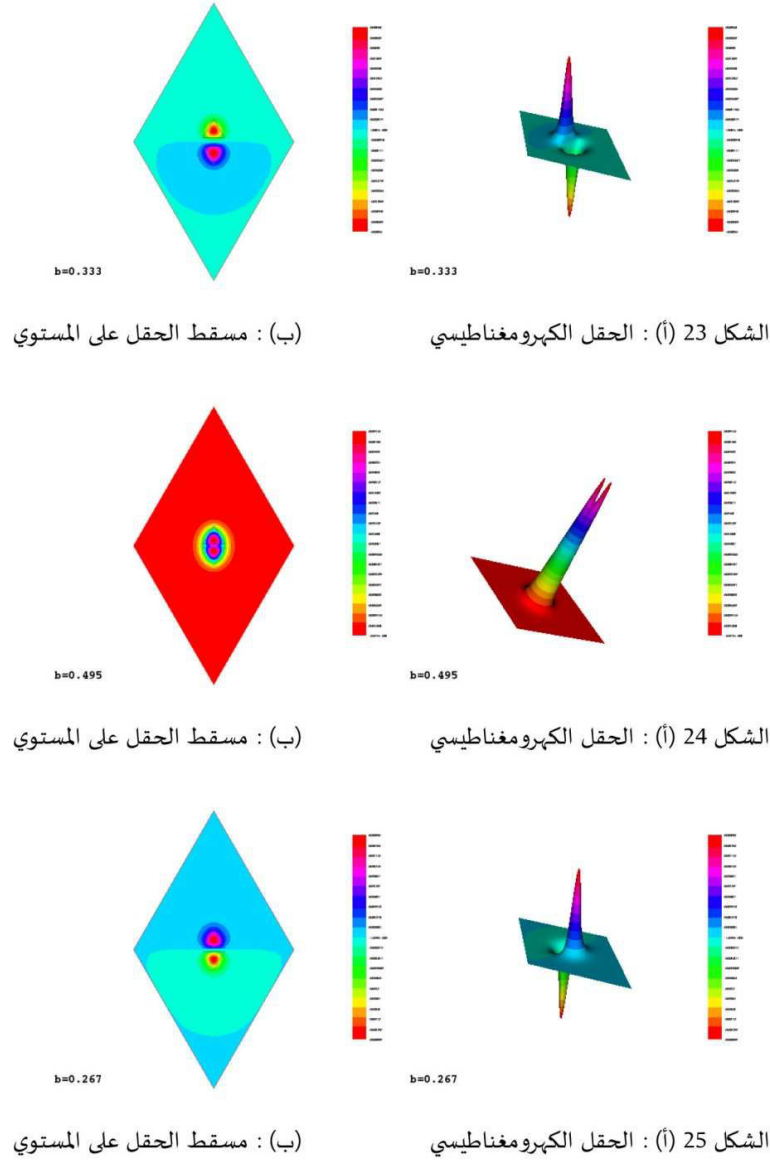
(ب) : مسقط الحقل على المستوي

للقوف أكثر على هذه الظاهرة أي تأثر انتشار الموجات الموجهة في مزدوجة ألياف بصرية بمسافة المزوجة فيها قمنا بتجربتين إضافيتين حيث أخذنا $d = 1\mu m$ و $d = 0.4\mu m$. الشكلان 22 و 23 يوضحان النتائج المتعلقة بالمسافة الأولى والشكلان 24 و 25 بالنسبة للمسافة الثانية.



الشكل 22 (أ) : الحقل الكهرومغناطيسي

(ب) : مسقط الحقل على المستوي



التجربتان الأخيرتان على غرار التجربتين السابقتين لهما تأكيدان تغير سرعة انتشار الموجة الموجهة الأساسية مع تغير مسافة المزاوجة الفاصلة بين لبي الليفين وتلاحم الحقلين الكهرومغناطيسيين الخاصين بالليفين البصريين. يمكن بسهولة ملاحظة أن إحدى سرعتي الانتشار الخاصة بالبنية تكبر قيمتها كلما صغرت مسافة المزاوجة وأن سرعة الانتشار الثانية تصغر معها (أي تصغر مع مسافة المزاوجة).

الخاتمة

من خلال هذا العمل قمنا بدراسة انتشار الموجات الموجهة التي يمكن أن تنتشر في ليف بصري ذي مقطع شكله كفي حيث أجرينا تجارب محاكاة انتشار الموجات في ألياف بصرية ذات مقطع دائري، مثلثي ومربع. في هذه التجارب حسينا، في كل حالة، سرعات انتشار الموجات الموجهة الأساسية والثانية وعينا الحقلين الكهرومغناطيسيين المرفقة. وقمنا أيضا بمحاكاة انتشار الموجات الموجهة في مزدوجة بصرية وراقبنا تأثيره بمسافة المزاوجة بين الليفين المشكلين للمزدوجة البصرية. في الأخير يمكننا استعمال البرنامج الذي قمنا بإنشائه لإنجاز التجارب المذكورة في هذا العمل من أجل حساب الموجات الموجهة العليا أي التي تأتي بعد الموجة الأساسية والثانية وذلك من أجل قيم أكبر للتردد V مثلا. ويمكن استعماله أيضا من أجل دراسة ظاهرة التزاوج بين ليفين مختلفين من ناحية المواصفات الضوئية والهندسية أو أكثر.

المراجع

- [1] Barucq H., Bekkey C. & Djellouli R., *Mathematical analysis and solution methodology for an inverse spectral problem arising in the design of optical waveguides*, Inverse Problems in Science and Engineering, 2019, VOL. 27(8), 1081–1119
- [2] Bonnet A.S. & Djellouli R., Etude mathématique des modes Guidé d'une fibre optique, résultats complémentaires et extension au cas de couplage, Rapport interne du C.M.A.P. No 182, Ecole Polytechnique, Palaiseau, France (1988).
- [3] Bonnet A.S. & Gmati N., Spectral approximation of a boundary condition for an eigenvalue problem, SIAM J. Numer. Anal., 32(4), (1995) 1263-1279.
- [4] Choutri A. & Boureghda A., A numerical integral method for compute the guided modes in an optical half coupler in the scalar case, Rev. Roumaine Math. Pures Appl., 54 (4), (2009) 287–295.
- [5] Choutri A. & Boureghda A., An asymptotic expansion approach for variable refractive index optical fibers (in weak guidance case), Optical and Quantum Electronics, 50(2), (2018) 1–21.
- [6] Djellouli R., Contribution à l'analyse mathématique et au calcul numérique des modes guidés dans les fibres optiques, Thèse de Doctorat es Science, Université Paris Sud, Centre d'Orsay (1988).
- [7] Djellouli R., Bekkey C., Choutri A. & Rezgui H., A local boundary condition coupled to a finite element method to compute guided modes of optical fibers under the weak guidance assumptions, Math. Methods Appl. Sci., 23(17), (2000) 1551–1583.
- [8] Devys C. & Ziani A., Méthode Intégrale pour le Calcul des Modes Guidés d'une Fibre Optique, Rapport Interne du C.M.A.P., No 129, Ecole Polytechnique, Palaiseau, France (1985).
- [9] Ginés L. P., "Beam Propagation Method for Design of Optical Waveguide Devices", John Wiley & Sons, Ltd, 2016.
- [10] Hecht F., New development in FreeFem++, J. Numer. Math., 20, No. 3-4, (2012) 251–265.
- [11] Marcuse D., "Theory of dielectric optical waveguides", Academic Press, New York, 1974.
- [12] Mitschke F., "Fiber Optics, Physics and Technology", Second Edition, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2016.
- [13] Snyder A.W. & Love J.D., "Optical Waveguide Theory", Chapman and Hall, London, 1983.
- [14] Tong X. C., "Advanced Materials for Integrated Optical Waveguides", Springer, Switzerland, 2014.

T-set و مسائل ناقصية ذات أسس متغيرة بمعطى قياس

T-set and elliptic problems with variable exponents and measure data

مختاري فارس

قسم الرياضيات و الاعلام الالي - جامعة الجزائر، الجزائر
fares_maths@yahoo.fr, f.mokhtari@univ-alger.dz

تمت ترجمة المقال من الإنجليزية إلى العربية من طرف
ناصر مختاري
المدرسة العليا للأساتذة بالقبّة الجزائر - مخبر EDPNL-HM،
المدرسة العليا للأساتذة بالاغواط ، الجزائر
nasrimokhtar@gmail.com

15 ديسمبر 2020

ملخص (Abstract): في هذا الورق نثبت وجود حلول ضعيفة لنوع من المسائل الناقصية غير الخطية من الصنف $-\operatorname{div}(\hat{a}(x, u, Du)) = \mu$ حيث μ هو قياس رادون (Radon) المحدود. فضاء الحلول يتطلب ادخال مفهوم T-set (مفهوم T-set تم تقديمه في [8]) و فضاء لويغ-سوبولاف (Lebesgue-Sobolev) ذو أسس متغيرة.

كلمات مفتاحية (Keywords): T-set اسس متغيرة، معادلة ناقصية، معطى قياس.
MSC: 35J60 ، 35B38

1 المدخل (Introduction):

هذا العمل مكرس لدراسة المسائل الناقصية

$$\begin{cases} -\operatorname{div}(\hat{a}(x, u, Du)) = \mu, & \text{في } \mathcal{D}'(\Omega) \\ u = 0, & \text{على } \partial\Omega \end{cases} \quad (P)$$

حيث Ω هو جزء مفتوح و محدود من $\mathbb{R}^N$ ($N \geq 2$) ذو حافة لبشيتزية (Lipschitzienne) $\partial\Omega$ ، μ هو القياس المحدود لرادون على Ω ، و $a : \Omega \times \mathbb{R} \times \mathbb{R}^N \rightarrow \mathbb{R}^N$ هو تابع لكارتيدوري (Carathéodory) يحقق ، حيثما كان تقريبا $x \in \Omega$ و $\forall u \in \mathbb{R}$ و $\forall \xi, \xi' \in \mathbb{R}^N$ ، ما يلي:

$$\hat{a}(x, u, \xi) \xi \geq \alpha |\xi|^{p(\cdot)}, \quad \hat{a}(x, u, \xi) = (a_1, \dots, a_N) \quad (1)$$

$$|\hat{a}(x, u, \xi)| \leq \beta (h + |u|^{p(\cdot)-1} + |\xi|^{p(\cdot)-1}), \quad h \in L^{p'(\cdot)}(\Omega) \quad (2)$$

$$(\hat{a}(x, u, \xi) - \hat{a}(x, u, \xi'))(\xi - \xi') > 0, \quad \xi \neq \xi', \quad (3)$$

حيث الاس المتغير $p(\cdot) : \bar{\Omega} \rightarrow (1, +\infty)$ هو تابع مستمر بحيث:

$$\forall x \in \bar{\Omega} : \quad 1 < p(x) < N, \quad p'(x) = \frac{p(x)}{p(x) - 1}. \quad (4)$$

نعرف العدد

$$p_0 = \frac{(1 - \frac{1}{p^+})N + N}{1 - \frac{1}{p^+} + N}. \quad (5)$$

تستخدم الأسس المتغيرة اليوم في فروع مختلفة من العلوم التطبيقية. في بعض الحالات تقدم نماذج واقعية لدراسة الظواهر الطبيعية في السوائل الكهروإيولوجية (Electrorheological) ([12], [11])، وتطبيقات مهمة تتعلق بمعالجة الصور [3]. في الحالة $\hat{a}(x, u, \xi) = \hat{a}(\xi)$ حيث $\hat{a}(\xi)$ الشعاع الذي مركبته هي $\xi^{p(\cdot)-2}$ و $p(\cdot)$ تابع مستمر على $\bar{\Omega}$ بحيث $p(\cdot) > 2 - \frac{1}{N}$ ، نجد أن وجود حل ضعيف u في فضاء سوبولوف المعتاد $W_0^{1,q(\cdot)}(\Omega)$ لمسألة ناقصية بمعطى L^1 على Ω حيث $q(\cdot)$ تابع مستمر يحقق $1 \leq q(x) < \frac{N(p(x)-1)}{N-1}$ لكل $x \in \bar{\Omega}$ تم اثباته في [1].

من أجل $1 < p(\cdot) \leq 2 - \frac{1}{N}$ نجد هذا الاطار ضيق جدا لاحتواء الحلول. في الحالة الثابتة $p(\cdot) = p > 2 - \frac{1}{N}$ يوجد حل ضعيف u للمسألة (P) في الفضاء $W_0^{1,q}(\Omega)$ من أجل كل $q \in [1, \frac{N(p-1)}{N-1})$ وهذا تم اثباته في [2].

راكوتوزن (Rakotoson) [8, 9] أثبت وجود حلول في مجموعة أكثر عمومية يرمز لها $L_0^{1,p}(\Omega)$ حيث $1 < p \leq N$. الغرض من هذا الورق هو الضبط و المعالجة الكاملة للمسألة (P) في مجموعة جديدة $L_0^{1,p(\cdot)}(\Omega)$ (انظر القسم 3) حيث μ قياس رادون المحدود على Ω و $p(\cdot)$ تابع مستمر حيث $1 < p(x) < N$ من أجل كل $x \in \bar{\Omega}$ كمثال نموذجي نعتبر الاشكالية النموذجية

$$\begin{cases} -\operatorname{div} (|Du|^{p(x)-2} Du) = \delta, & \text{في } B \\ u = 0, & \text{على } \partial B \end{cases}$$

حيث δ هو قياس رادون عند الاصل و $B = \{x \in \mathbb{R}^N \mid |x| < 1\}$. تمثل الخطوات الرئيسية للإثبات في الحصول على تقديرات قبلية لمتتالية المسائل التقريبية المناسبة ثم بعدها المرور إلى النهاية. هناك نوعان من الصعوبات التي تظهر في معالجة المؤثرات الناقصية غير الخطية $Au = -\operatorname{div}(\hat{a}(x, u, Du))$ بدلا من مؤثر لابلاس مع أسس متغيرة، الأولى هي الحصول على تقديرات قبلية للحل u و التدرج Du ، و الصعوبة الثانية هي المرور الى النهاية عندما لاخطية A مرتبطة بـ u و Du . في هذه المرحلة الخاصة (27) مطلوبة.

2 مفاهيم أولية (Preliminaries):

في هذا القسم نذكر أولاً ببعض خصائص فضاءات لوبيغ ذات الأسس المتغيرة $L^{p(\cdot)}(\Omega)$.
نعرف المجموعة

$$C_+(\bar{\Omega}) = \{v \in C(\bar{\Omega}) \mid v^- = \inf_{x \in \bar{\Omega}} v(x) > 1\}.$$

ليكن $p \in C_+(\bar{\Omega})$ ، نشير بالرمز $L^{p(\cdot)}(\Omega)$ الى فضاء التتابع f القابلة للقياس على Ω بحيث

$$\rho_{p(\cdot)}(f) = \int_{\Omega} |f(x)|^{p(x)} dx < +\infty.$$

الفضاء $L^{p(\cdot)}(\Omega)$ عند تزويده بالنظيم

$$\|f\|_{p(\cdot)} := \|f\|_{L^{p(\cdot)}(\Omega)} = \inf \{ \lambda > 0 \mid \rho(f/\lambda) \leq 1 \}$$

يصبح فضاء بناخيا.

و بالإضافة الى ذلك، إذا كان $p^- > 1$ فإن $L^{p(\cdot)}(\Omega)$ انعكاسي و ثنوي $L^{p(\cdot)}(\Omega)$ يمكن تعريفه بـ $L^{p'(\cdot)}(\Omega)$ حيث

$$\frac{1}{p(x)} + \frac{1}{p'(x)} = 1$$

من أجل كل $u \in L^{p(\cdot)}(\Omega)$ ، $v \in L^{p'(\cdot)}(\Omega)$ حيث $p(x) \in (1, \infty)$ لدينا متباينة هولدر (Hölder)

$$\left| \int_{\Omega} uv dx \right| \leq \left(\frac{1}{p_-} + \frac{1}{p'_-} \right) \|u\|_{p(\cdot)} \|v\|_{p'(\cdot)} \leq 2 \|u\|_{p(\cdot)} \|v\|_{p'(\cdot)}.$$

بشكل خاص، لكل ثابت $q \in (1, p^-)$

$$\|u\|_{L^q(\Omega)} \leq C \|u\|_{p(\cdot)}.$$

الفضاء البنائي $W_0^{1,p(\cdot)}(\Omega)$ مع $p \in C_+(\bar{\Omega})$ يعرف بـ

$$W_0^{1,p(\cdot)}(\Omega) = \{u \in L^{p(\cdot)}(\Omega) \mid |Du| \in L^{p(\cdot)}(\Omega), \quad \partial\Omega \text{ على } u = 0\}$$

مزود بالنظيم $\|\cdot\|_{W_0^{1,p(\cdot)}(\Omega)} : u \mapsto \|Du\|_{p(\cdot)}$

الفضاء $W_0^{1,p(\cdot)}(\Omega)$ قابل للفصل و انعكاسي بشرط $p^- > 1$.

بما أن $p \in C_+(\bar{\Omega})$ ، متباينة بوانكاريه (Poincaré) محققة (انظر [4]):

$$\|u\|_{p(\cdot)} \leq C \|Du\|_{p(\cdot)}. \quad (6)$$

التتابع الملساء عموماً ليست كثيفة في $W_0^{1,p(\cdot)}(\Omega)$ ، ولكن إذا كان الاس المتغير $p(\cdot)$ هولدر لوغاريتمي مستمر (log-Hölder) بمعنى

$$|p(x) - p(y)| \leq -\frac{M}{\ln(|x - y|)} \quad \forall x, y \in \Omega \text{ بحيث } |x - y| \leq 1/2,$$

فان التتابع الملساء كثيفة في $W_0^{1,p(\cdot)}(\Omega)$

التوطئة التالية تستخدم لاحقاً

توطئة 2.1 ([6]). إذا كان $u \in L^{p(\cdot)}(\Omega)$ ، (u_n) ، فان العلاقات التالية محققة

$$\begin{aligned}
& \cdot \|u\|_{p(\cdot)} < 1 (> 1; = 1) \Leftrightarrow \rho(u) < 1 (> 1; = 1) \\
& \cdot \min \left(\rho(u)^{\frac{1}{p^+}}; \rho(u)^{\frac{1}{p^-}} \right) < \|u\|_{p(\cdot)} < \max \left(\rho(u)^{\frac{1}{p^+}}; \rho(u)^{\frac{1}{p^-}} \right) \\
& \cdot \|u_n - u\|_{p(\cdot)} \rightarrow 0 \Leftrightarrow \rho(u_n - u) \rightarrow 0 \\
& \cdot p^+ = \sup_{x \in \Omega} p(x) < \infty \text{ لأن }
\end{aligned}$$

نشير الى أن المتباينة التالية

$$\int_{\Omega} |u|^{p(x)} dx \leq C \int_{\Omega} |Du|^{p(x)} dx,$$

ليست محققة عموما (انظر [5] او [4]). لكن، بواسطة التوطئة 2.1 و (6)، يمكن أن نكتب

$$\int_{\Omega} |u|^{p(x)} dx \leq C \max \left\{ \|Du\|_{p(\cdot)}^{p^+}; \|Du\|_{p(\cdot)}^{p^-} \right\}. \quad (7)$$

حيث C ثابت يتعلق بـ Ω .
نعرف أيضا المجموعة $L^{s(\cdot)}(\Omega)$ حيث $s: \bar{\Omega} \rightarrow (0, \infty)$ تابع مستمر بـ

$$L^{s(\cdot)}(\Omega) = \left\{ \int_{\Omega} |u|^{s(x)} dx < \infty \text{ مع } u: \Omega \rightarrow \mathbb{R} \text{ قابل للقياس} \right\}.$$

المراجع المحتملة لنظرية فضاءات لوبيغ - سوبولاف ذات الاس المتغير [4]، [5]، [6].

3 نوع جديد من المجموعات (New type of Sets):

ليكن $L_0(\Omega)$ الذي يرمز الى مجموعة التوابع القابلة للقياس على Ω . من أجل كل تابع $p \in C_+(\Omega)$ نضع

$$\text{Lip}_{p(\cdot)}(\mathbb{R}) = \left\{ T \in W^{1,\infty}(\mathbb{R}) \mid T(0) = 0 \text{ و } T' \in L^{p^-}(\mathbb{R}) \right\}.$$

من أجل $k > 0$ إذا وضعنا $T_k(t) = \frac{1}{2} \{|t+k| - |t-k|\}$ حيث $t \in \mathbb{R}$ فاننا نلاحظ أن التوابع T_k ($k > 0$) و قوس
الظل $\arctan$ تنتمي الى $\text{Lip}_{p(\cdot)}(\mathbb{R})$.
نعرف

$$\begin{aligned}
L_0^{1,p(\cdot)}(\Omega) = & \left\{ u \in L_0(\Omega) \mid \forall T \in \text{Lip}_{p(\cdot)}(\mathbb{R}), T(u) \in W_0^{1,p^-}(\Omega), \text{ مع} \right. \\
& \left. \sup_{k>0} \int_{\Omega} \frac{|DT_k(u)|^{p(x)}}{(1+|T_k(u)|)^{1+\delta}} dx < \infty, \forall \delta > 0 \right\}.
\end{aligned}$$

نشير الى انه إذا كان $p(x) = p$ من أجل كل $x \in \Omega$ فان $L_0^{1,p(\cdot)}(\Omega)$ يسمى T-set وهذا في ([8]).
من السهل إثبات أن $L_0^{1,p(\cdot)}(\Omega) \subset W_0^{1,p(\cdot)}(\Omega)$ من أجل كل $p \in C_+(\bar{\Omega})$.

فرضية 3.1. إذا كان $v \in L_0^{1,p(\cdot)}(\Omega)$ فان $Dv(x)$ موجود حيثما كان تقريبا على Ω ، و بالإضافة الى ذلك إذا كان φ تابع
من صنف C^1 من $\mathbb{R}$ نحو $\mathbb{R}$ ، لدينا

$$D(\varphi \circ v)(x) = (\varphi' \circ v) Dv(x) \quad \text{حيثما كان تقريبا على } \Omega \quad (8)$$

من أجل كل $k > 0$ التابع $v^k = T_k(v)$ يحقق

$$Dv^k(x) = \begin{cases} Dv(x), & |v(x)| < k \\ 0, & \text{غير ذلك} \end{cases} \quad \text{حيثما كان تقريبا على } \Omega.$$

الاثبات: انظر [8]

نرمز بـ C_i او C الى ثوابت مختلفة تتعلق فقط ببنية $\hat{a}$, μ , N , و Ω .

فرضية 3.2. نفرض أن p_0 المعرف في (5)، $s(\cdot)$ و $p(\cdot)$ توابع مستمرة على $\bar{\Omega}$ بحيث

$$\begin{cases} 0 < s(x) < \frac{N(p(x)-1)}{N-p(x)}, \\ 1 < p(x) < N, \end{cases} \quad \forall x \in \bar{\Omega}. \quad (9)$$

إذا كان

$$s^+ < \frac{N(p^- - 1)}{N - p^-} \quad \text{أو} \quad p^- > p_0 \quad (10)$$

فانه لدينا

$$L_0^{1,p(\cdot)}(\Omega) \subset L^{s(\cdot)}(\Omega). \quad (11)$$

الاثبات: نبدأ بالحالة

$$0 < s^+ < \frac{N(p^- - 1)}{N - p^-}. \quad (12)$$

ليكن $v \in L_0^{1,p(\cdot)}(\Omega)$ و s^+ المعرف في (12)، وليكن $\alpha = 1 - \frac{s^+}{p^-}$ مع $p^{-*} = \frac{Np^-}{N-p^-}$ اذن نجد $\frac{1}{p^-} < \alpha < 1$.
من أجل $k > 0$ نجد أن $v^k = T_k(v) \in W_0^{1,p^-}(\Omega)$ بما أن

$$\psi_\alpha(t) = \int_0^t \frac{d\sigma}{(1 + |\sigma|)^\alpha}$$

تابع من صنف C^1 و $0 < \psi'_\alpha < 1$ اذن بواسطة (8) نستنتج أن $\psi_\alpha(v^k) \in W_0^{1,p^-}(\Omega)$.
بالإضافة الى ذلك باستعمال متباينة بوانكاريه نحصل على

$$\|\psi_\alpha(v^k)\|_{L^{p^{-*}}(\Omega)} \leq C_1 \|D\psi_\alpha(v^k)\|_{L^{p^-}(\Omega)}$$

ومنه

$$\int_\Omega |\psi_\alpha(v^k)|^{p^{-*}} dx \leq C_2 \left(\int_\Omega \frac{|Dv^k|^{p^-}}{(1 + |v^k|)^{\alpha p^-}} dx \right)^{\frac{p^-}{p^-}}. \quad (13)$$

بملاحظة أن

$$\alpha p^- - 1 = \left(1 - \frac{s^+}{p^-}\right) p^- - 1 = \frac{N-p}{N} \left(\frac{N(p^- - 1)}{N - p^-} - s^+ \right) > 0,$$

و أن $v \in L_0^{1,p(\cdot)}(\Omega)$ و $|\Omega| < \infty$ نجد أن

$$\sup_{k>0} \int_\Omega \frac{|Dv^k|^{p^-}}{(1 + |v^k|)^{\alpha p^-}} < \infty \quad (14)$$

و بالتالي من خلال (13) نحصل على

$$\int_{\Omega} |\psi_{\alpha}(v^k)|^{p^{-*}} dx \leq C_3, \quad \forall k > 0. \quad (15)$$

الان ليكن $t \in \mathbb{R}$ اذن

$$\begin{aligned} |t|^{1-\alpha} &\leq (1+|t|)^{1-\alpha} \\ &= (1-\alpha)|\psi_{\alpha}(t)| + 1. \end{aligned} \quad (16)$$

من خلال (16)، نستنتج أن

$$\begin{aligned} \int_{\Omega} |v^k|^{s^+} &= \int_{\Omega} |v^k|^{p^{-*}(1-\alpha)} \\ &\leq 2^{p^{-*}-1} (1-\alpha)^{p^{-*}} \int_{\Omega} |\psi_{\alpha}(v^k)|^{p^{-*}} + 2^{p^{-*}-1} |\Omega| \end{aligned} \quad (17)$$

بواسطة (15) و (17) نحصل على

$$\int_{\Omega} |v^k|^{s^+} \leq C_4. \quad (18)$$

حيث C_4 ثابت موجب مستقل عن k .
بجعل $k \rightarrow \infty$ في (18) و من خلال توطئة فاتو (Fatou) يمكننا استنتاج أن

$$\int_{\Omega} |v|^{s^+} dx \leq C_4.$$

و بالتالي نحصل على $v \in L^{s(\cdot)}(\Omega)$.

الان نفرض أن $s^+ \geq \frac{N(p^- - 1)}{N - p^-}$.

من خلال (9) واستمرارية $s(\cdot)$ و $p(\cdot)$ على $\bar{\Omega}$ يوجد ثابت $\delta > 0$ بحيث

$$\max_{y \in B(x, \delta) \cap \Omega} s(y) < \min_{y \in B(x, \delta) \cap \Omega} \frac{N(p(y) - 1)}{N - p(y)}, \quad \forall x \in \Omega. \quad (19)$$

بملاحظة أن $\bar{\Omega}$ متراص فانه بإمكاننا تغطيتها بعدد منته من الكرات $(B_i)_{i=1}^k$.
علاوة على ذلك، يوجد ثابت $\tau > 0$ بحيث

$$|\Omega_i| > \tau, \quad \forall i = 1, \dots, N \quad \text{حيث} \quad \Omega_i := B_i \cap \Omega. \quad (20)$$

نعرف

$$s_i^+ = \max_{y \in \bar{\Omega}_i} \{s(y)\}, \quad p_i^- = \min_{y \in \bar{\Omega}_i} \{p(y)\}.$$

ليكن $v \in L_0^{1, p(\cdot)}(\Omega)$ ولنفرض أن $s_i^+ < \frac{N(p_i^- - 1)}{N - p_i^-}$.

إذا وضعنا $\alpha_i = 1 - \frac{s_i^+}{p_i^-}$ فان $\frac{1}{p_i^-} < \alpha_i < 1$ من خلال الافتراضات على p^- نجد

$$1 - \alpha_i < 1 - \frac{1}{p_i^-} \leq 1 - \frac{1}{p^+} < \frac{N(p^- - 1)}{N - p^-}.$$

هذا مع (18)، يعطينا

$$\int_{\Omega_i} |v^k|^{1-\alpha_i} dx \leq |\Omega| + \int_{\Omega} |v^k|^{1-\frac{1}{p^+}} dx \leq C_5. \quad (21)$$

باستخدام متباينة بوانكاريه-ويرتينغر (Poincaré-Wirtinger)، نحصل على

$$\|\psi_{\alpha_i}(v^k) - \bar{\psi}_{\alpha_i}(v^k)\|_{L^{p_i^-}(\Omega_i)} \leq C_6 \|D\psi_{\alpha_i}(v^k)\|_{L^{p_i^-}(\Omega_i)},$$

حيث

$$\bar{\psi}_{\alpha_i}(v^k) = \frac{1}{|\Omega_i|} \int_{\Omega_i} \psi_{\alpha_i}(v^k).$$

المتباينات (16)، (21) و (20) تضمن لنا أن

$$|\bar{\psi}_{\alpha_i}(v^k)| \leq C_7.$$

وبالتالي، من خلال أن $p_i^- \leq p(x)$ على Ω_i و $\alpha_i p_i^- > 1$ نحصل على

$$\|\psi_{\alpha_i}(v^k)\|_{L^{p_i^-}(\Omega_i)} \leq C_8 + C_6 \|D\psi_{\alpha_i}(v^k)\|_{L^{p_i^-}(\Omega_i)} \leq C_9.$$

الآن، باستخدام نفس الحجج كما كان من قبل محليا، بدلاً من التقدير (17)، نحصل على أنه
من أجل كل $i = 1, \dots, k$

$$\int_{\Omega_i} |v^k|^{s_i^+} \leq C_{10} + C_{10} \int_{\Omega_i} |\psi_{\alpha_i}(v^k)|^{p_i^-} dx \leq C_{11}.$$

باستخدام توطئة فاتو نجد ان

$$\int_{\Omega_i} |v|^{s_i^+} \leq C_{11}, \quad \forall i = 1, \dots, k.$$

اخيرا، بما أن $s(x) \leq s_i^+$ على Ω_i نحصل على النتيجة المطلوبة.

ملاحظة 3.3. لدينا $p_0 < 2 - \frac{1}{N}$ من أجل كل تابع $p(\cdot) > 1$.

فرضية 3.4. ليكن $p(\cdot) : \bar{\Omega} \rightarrow (1, N)$ و $q(\cdot) : \bar{\Omega} \rightarrow (0, N/(N-1))$ متستمرة. نفرض أن

$$\max_{x \in \bar{\Omega}} \{q(x)(p(x)-1)\} < \frac{N(p^- - 1)}{N-1} \quad \text{أو} \quad p^- > p_0.$$

اذن نجد

$$\int_{\Omega} |Dv|^{q(x)(p(x)-1)} dx < \infty, \quad \forall v \in L_0^{1,p(\cdot)}(\Omega).$$

الاثبات: ليكن $v \in L^{1,p(\cdot)}(\Omega)$ و $q(x) \in (0, N/(N-1))$ من أجل كل $x \in \bar{\Omega}$ ، وليكن $s(x) = q(x)(p(x)-1)$ في خطوة أولى ليكن s^+ ثابت يحقق

$$0 < s^+ < \frac{N(p^- - 1)}{N - 1}. \quad (22)$$

نشير الى أن (22)، مع (4)، يستلزم أن $s(x) < p^-$ الان، من أجل كل $k > 0$ ، نكتب

$$\begin{aligned} \int_{\Omega} |Dv^k|^{s(x)} dx &= \int_{\Omega} \frac{|Dv^k|^{s(x)}}{(1 + |v^k|)^{(1+\delta)s(x)/p^-}} (1 + |v^k|)^{(1+\delta)s(x)/p^-} \\ &\leq 2 \left\| \frac{|Dv^k|^{s(x)}}{(1 + |v^k|)^{(1+\delta)s(x)/p^-}} \right\|_{\frac{p^-}{s(\cdot)}} \left\| (1 + |v^k|)^{(1+\delta)s(x)/p^-} \right\|_{\frac{p^-}{p^- - s(\cdot)}}. \end{aligned}$$

بما أن

$$\int_{\Omega} \frac{|Dv^k|^{p(x)}}{(1 + |v^k|)^{1+\delta}} dx \leq C, \quad \forall k > 0,$$

اذن من خلال التوطئة 2.1 نحصل على

$$\int_{\Omega} |Dv^k|^{s(x)} dx \leq C_{12} \max \left\{ \left(\int_{\Omega} (1 + |v^k|)^{(1+\delta)\frac{s(x)}{p^- - s(x)}} dx \right)^{\frac{p^- - s^+}{p^-}}; \left(\int_{\Omega} (1 + |v^k|)^{(1+\delta)\frac{s(x)}{p^- - s(x)}} dx \right)^{\frac{p^- - s^-}{p^-}} \right\}. \quad (23)$$

بما أن $0 < s^+ < \frac{N(p^- - 1)}{N - 1}$ فان $\frac{s(x)}{p^- - s(x)} \leq \frac{s^+}{p^- - s^+} < \frac{N(p^- - 1)}{N - p^-}$ اذن يمكننا اختيار $\delta > 0$ بحيث

$$\max_{x \in \bar{\Omega}} \left\{ (1 + \delta) \frac{s(x)}{p^- - s(x)} \right\} = (1 + \delta) \frac{s^+}{p^- - s^+} < \frac{N(p^- - 1)}{N - p^-}. \quad (24)$$

من خلال الفرضية 3.2، (23) و (24)، نجد أن

$$\int_{\Omega} |Dv^k|^{s(x)} dx \leq C_{13}. \quad (25)$$

من الفرضية 3.1، من أجل اي معطى $v \in L_0^{1,p(\cdot)}(\Omega)$ فان $Dv(x)$ موجود حيثما كان تقريبا في Ω . يجعل $k \rightarrow +\infty$ في (25) و باستخدام توطئة فاتو، نحصل على

$$\int_{\Omega} |Dv|^{s(x)} dx \leq C_{13}.$$

الان، نفرض أن $s^+ \geq \frac{N(p^- - 1)}{N - 1}$ بنفس حجة (23) نحصل على $\delta > 0$ يحقق

$$\int_{\Omega} |Dv^k|^{s(x)} dx \leq C_{14} \max \left\{ A_k^{1 - (\frac{s(\cdot)}{p(\cdot)})^+}; A_k^{1 - (\frac{s(\cdot)}{p(\cdot)})^-} \right\}$$

مع

$$A_k = \int_{\Omega} (1 + |v^k|)^{(1+\delta)\frac{s(x)}{p(x)-s(x)}} (1 + \delta) \frac{s(x)}{p(x)-s(x)} < \frac{N(p(x)-1)}{N-p(x)}.$$

باستخدام الفرضية 3.2 و من خلال كون $p^- > p_0$ يمكننا استنتاج أن

$$\int_{\Omega} |Dv^k|^{q(x)(p(x)-1)} dx \leq C_{15}.$$

هذا و باستخدام توطئة فاتو، نحصل على

$$\int_{\Omega} |Dv|^{s(x)} dx \leq C_{15}.$$

هذا التقدير يثبت المطلوب.

فرضية 3.5. ليكن $\bar{\Omega} \rightarrow (2 - \frac{1}{N}, N)$ تابع مستمر، لدينا

$$L_0^{1,p(\cdot)}(\Omega) \subset W_0^{1,s(\cdot)}(\Omega)$$

من أجل كل تابع مستمر $s(\cdot) : \bar{\Omega} \rightarrow [1, \infty)$ حيث

$$1 \leq s(x) < \frac{N(p(x)-1)}{N-1}, \quad \forall x \in \bar{\Omega}.$$

الاثبات: بما أن $p(x) > 2 - \frac{1}{N}$ لدينا $N(p(x)-1)/(N-1) > 1$ من أجل كل $x \in \bar{\Omega}$.
ليكن $s(x) \in [1, \frac{N(p(x)-1)}{N-1})$ و $q(x) = s(x)/(p(x)-1)$ اذن $q(x) \in (0, \frac{N}{N-1})$ و $p^- > 2 - \frac{1}{N} > p_0$.
من الفرضية 3.4، من أجل كل $v \in L_0^{1,p(\cdot)}(\Omega)$ نجد أن

$$\int_{\Omega} |Dv|^{s(x)} dx \leq C_{16}. \quad (26)$$

انتهى الاثبات.

ملاحظة 3.6. في الحالة الثابتة $p(x) = p$ ، الفرض $p > p_0$ يحقق من أجل كل $p > 1$.

4 النتائج الرئيسية (The main Results):

تعريف 4.1. تابع u هو حل ضعيف للمسألة (P) إذا كان $u \in L_0^{1,p(\cdot)}(\Omega)$ ، $\hat{a}(x, u, Du) \in L^1(\Omega)^N$ ، و من أجل كل $\varphi \in C_0^\infty(\Omega)$ نجد أن

$$\int_{\Omega} \hat{a}(x, u, Du) D\varphi dx = \int_{\Omega} \varphi d\mu.$$

النتيجة الرئيسية هي التالي.

نظرية 4.2. ليكن $\mu \in M(\Omega)$ ، نفرض أن $p(\cdot) : \bar{\Omega} \rightarrow (1, N)$ تابع مستمر بحيث

$$\frac{p^+ - 1}{p^- - 1} < \frac{N}{N-1} \quad \text{or} \quad p_- > p_0, \quad (27)$$

و $\hat{a}$ يحقق (1)-(3). فانه، يوجد على الاقل حل ضعيف $u \in L_0^{1,p(\cdot)}(\Omega)$ للمسألة الناقصية (P).
الاثبات يحتاج إلى ثلاث خطوات.

الخطوة 1 : تقريب.

لتكن (μ_n) متتالية من $C_0^\infty(\Omega)$ تتقارب نحو μ في $\mathcal{D}'(\Omega)$ وتحقق التقدير

$$\|\mu_n\|_{L^1(\Omega)} \leq \|\mu\|_{M(\Omega)}, \quad n \geq 1.$$

من أجل $u \in W_0^{1,p(\cdot)}(\Omega)$ نضع

$$Au = -\operatorname{div}(\hat{a}(x, u, Du)).$$

المؤثر A ينقل $W_0^{1,p(\cdot)}(\Omega)$ نحو $(W_0^{1,p(\cdot)}(\Omega))'$ ، وبفضل (2) نجد أن A نصف مستمر (hemicontinuous) بمعنى: من أجل كل u, v, w من $W_0^{1,p(\cdot)}(\Omega)$ ، التطبيق $\langle A(u + \lambda v), w \rangle$ مستمر. $\mathbb{R} \ni \lambda \mapsto$ بواسطة (1) و التوطئة 2.1 يمكننا كتابة

$$\begin{aligned} \frac{\langle Au, u \rangle}{\|u\|_{W_0^{1,p(\cdot)}(\Omega)}} &\geq \alpha \frac{\rho_{p(\cdot)}(Du)}{\|u\|_{W_0^{1,p(\cdot)}(\Omega)}} \\ &\geq \alpha \frac{\min \left\{ \|u\|_{W_0^{1,p(\cdot)}(\Omega)}^{p^+}, \|u\|_{W_0^{1,p(\cdot)}(\Omega)}^{p^-} \right\}}{\|u\|_{W_0^{1,p(\cdot)}(\Omega)}}. \end{aligned}$$

هذا يثبت أن A قهري (Coercif).

المؤثر A محدود. في الواقع، إذا كان $u \in W_0^{1,p(\cdot)}(\Omega)$ نجد أن

$$\begin{aligned} \|Au\|_{(W_0^{1,p(\cdot)}(\Omega))'} &\leq \sup_{\varphi \in W_0^{1,p(\cdot)}(\Omega), \|\varphi\| \leq 1} \int_{\Omega} \beta (h + |u|^{p(x)-1} + |Du|^{p(x)-1}) |D\varphi| dx \\ &\leq 2\beta \left\| (h + |u|^{p(\cdot)-1} + |Du|^{p(\cdot)-1}) \right\|_{\frac{p(\cdot)}{p(\cdot)-1}}. \end{aligned}$$

من خلال التوطئة 2.1 و (7) نحصل على النتيجة المطلوبة.

النتيجة المحصل عليها في [7] تؤكد أن A غامر، وبالتالي توجد متتالية $(u_n)_{n \in \mathbb{N}} \subset W_0^{1,p(\cdot)}(\Omega)$ تحقق

$$\int_{\Omega} \hat{a}(x, u_n, Du_n) D\varphi = \int_{\Omega} \mu_n \varphi, \quad \forall \varphi \in W_0^{1,p(\cdot)}(\Omega). \quad (28)$$

الخطوة 2 : تقديرات قبلية.

توطئة 4.3. من أجل كل $T \in \operatorname{Lip}_{p(\cdot)}(\mathbb{R})$ ، يوجد ثابت $C = C(T)$ ، بحيث

$$\int_{\Omega} |DT(u_n)|^{p^-} dx \leq C, \quad \forall n \geq 1. \quad (29)$$

$$\int_{\Omega} |DT_k(u_n)|^{p(x)} dx \leq k \frac{\|\mu\|_{M(\Omega)}}{\alpha}, \quad \forall k > 0, \quad (30)$$

و من أجل كل $\delta > 0$ ، يوجد ثابت $C = C(\delta)$ يحقق

$$\int_{\Omega} \frac{|Du_n|^{p(x)}}{(1 + |u_n|)^{1+\delta}} dx \leq C, \quad \forall n \geq 1. \quad (31)$$

الاثبات: ليكن $T \in \text{Lip}_{p(\cdot)}(\mathbb{R})$.
نعتبر التابع الاختباري $\int_0^{u_n} |T'(t)|^{p^-} dt$ في (28).
باستعمال قهريّة A ، نحصل على

$$\begin{aligned} & \alpha \int_{\Omega} |Du_n|^{p(x)} |T'(u_n)|^{p^-} dx \\ & \leq \|\mu_n\|_{L^1(\Omega)} \int_{-\infty}^{+\infty} |T'(x)|^{p^-} dx \leq C(T). \end{aligned}$$

اذن لدينا (29). إذا اخذنا تابع اختباري في (28)، نحصل على (30).
من أجل التقدير (31)، نختار $\psi_{\delta}(u_n) = \int_0^{u_n} \frac{d\sigma}{(1+|\sigma|)^{1+\delta}} d\sigma$ تابع اختباري في (28) و باستعمال (1) نجد

$$\int_{\Omega} \frac{|Du_n|^{p(x)}}{(1+|u_n|)^{1+\delta}} dx \leq \frac{\|\mu\|_{M(\Omega)}}{\delta\alpha}.$$

توطئة 4.4. ليكن $s(\cdot)$ و $p(\cdot)$ معرفين في الفرضية (3.2). إذا كان الافتراض (10) محقق فإنه لدينا

$$\int_{\Omega} |u_n|^{s(x)} dx \leq C, \quad \forall n \geq 1. \quad (32)$$

الاثبات: من أجل إثبات (32)، نقوم بتعديل اثبات المبرهنة 3.2. وذلك باستبدال (14) بـ (31). هكذا التوطئة 4.4 تم اثباتها.

توطئة 4.5. ليكن $p(\cdot)$ كما هو مشار اليه في (27) اذن يوجد ثابت $C > 0$ ، بحيث

$$\int_{\Omega} |Du_n|^{q(x)(p(x)-1)} dx \leq C, \quad (33)$$

من أجل بعض التوابع المستمرة $q(\cdot)$ على $\bar{\Omega}$ التي تحقق

$$1 < q(x) < \frac{N}{N-1}, \quad x \in \bar{\Omega} \quad \text{من أجل كل}$$

الاثبات: نفرض أن $\frac{p^+-1}{p^--1} < \frac{N}{N-1}$ ، اذن يوجد تابع مستمر $q(\cdot)$ على $\bar{\Omega}$ يحقق

$$1 < q(x) < \frac{N}{N-1}, \quad \text{و} \quad q^+(p^+ - 1) < \frac{N(p^- - 1)}{N-1}, \quad (34)$$

بالتالي، يوجد $\delta_1 > 0$ بحيث

$$(1 + \delta_1) \frac{q^+(p^+ - 1)}{p^- - q^+(p^+ - 1)} < \frac{N(p^- - 1)}{N - p^-}. \quad (35)$$

بما أن $1 < p(x) < N/(N-1)$ و $1 < q(x) < N/(N-1)$ ، نجد أن
 $q(x)(p(x)-1) < \frac{N(p(x)-1)}{N-1}$ و $q(x) < p'(x) = p(x)/(p(x)-1)$

ليكن $\delta > 0$ ، باستعمال متباينة هولدر نحصل على

$$\begin{aligned} \int_{\Omega} |Du_n|^{q(x)(p(x)-1)} dx &= \int_{\Omega} \frac{|Du_n|^{q(x)(p(x)-1)}}{(1+|u_n|)^{(1+\delta)q(x)/p'(x)}} (1+|u_n|)^{(1+\delta)q(x)/p'(x)} dx \\ &\leq 2 \left\| \frac{|Du_n|^{q(x)(p(x)-1)}}{(1+|u_n|)^{(1+\delta)q(x)/p'(x)}} \right\|_{\frac{p'(\cdot)}{q(\cdot)}} \left\| (1+|u_n|)^{(1+\delta)q(x)/p'(x)} \right\|_{\frac{p'(\cdot)}{p'(\cdot)-q(\cdot)}}. \end{aligned}$$

من خلال التوطئة 2.1 و التقدير (31) نستنتج أن

$$\int_{\Omega} |Du_n|^{q(x)(p(x)-1)} dx \leq C \max \left\{ B_n^{1-\left(\frac{q(\cdot)}{p'(\cdot)}\right)^+}; B_n^{1-\left(\frac{q(\cdot)}{p'(\cdot)}\right)^-} \right\}, \quad (36)$$

بحيث

$$B_n = \int_{\Omega} (1+|u_n|)^{(1+\delta)\frac{q(x)(p(x)-1)}{p(x)-q(x)(p(x)-1)}} dx.$$

من خلال كون $q(\cdot)$ تابع مستمر و $q(x) < N/(N-1)$ ، يمكننا اختيار $\delta_2 > 0$ بحيث

$$\delta_2 < \frac{N(p(x)-q(x)(p(x)-1))}{q(x)(N-p(x))} - 1 = \frac{p(x)(N-1)}{q(x)(N-p(x))} \left(\frac{N}{N-1} - q(x) \right).$$

باخذ $\delta = \min\{\delta_1, \delta_2\}$ نجد أن

$$s(x) = (1+\delta) \frac{q(x)(p(x)-1)}{p(x)-q(x)(p(x)-1)} < \frac{N(p(x)-1)}{N-p(x)}, \quad \forall x \in \bar{\Omega}. \quad (37)$$

من خلال (35)، نستنتج أن

$$\max_{x \in \bar{\Omega}} s(x) \leq (1+\delta) \frac{q^+(p^+-1)}{p^- - q^+(p^+-1)} < \frac{N(p^- - 1)}{N - p^-} = \min_{x \in \bar{\Omega}} \left\{ \frac{N(p(x)-1)}{N-p(x)} \right\}. \quad (38)$$

الان، من خلال (36)، (37)، (38) و (32) نحصل على (33).

إذا كان $\frac{p^+-1}{p^- - 1} \geq \frac{N}{N-1}$ و $1 < q(x) < \frac{N}{N-1}$ ، يمكننا استعمال الفرض $p > p_0$ ، (36) و (37) للحصول على المطلوب. هكذا تم اثبات التوطئة.

لازمة 4.6 (بخصوص التوطئة 4.4). ليكن $p(\cdot)$ و $q(\cdot)$ المشار اليهما في التوطئة 4.5 و $s(x) = q(x)(p(x)-1)$. بملاحظة أن (34) تستلزم أن

$$s^+ < \frac{N(p^- - 1)}{N - 1} < \frac{N(p^- - 1)}{N - p^-},$$

من خلال التوطئة 4.4، نجد أن

$$\int_{\Omega} |u_n|^{q(x)(p(x)-1)} dx \leq C. \quad (39)$$

الخطوة 3 : المرور الى النهاية.

توطئة 4.7. توجد متتالية جزئية (نرمز لها (u_n)) تتقارب حيثما كان تقريبا نحو التابع u ($|u|^{q(\cdot)(p(\cdot)-1)} \in L^1(\Omega)$) ، مع $p(\cdot)$ و $q(\cdot)$ مشار اليهما في التوطئة 4.5.

الاثبات: نضع $T(u_n) = \arctan(u_n)$. بواسطة (29) المتتالية $(T(u_n))$ تبقى في مجموعة محدودة من $W_0^{1,p^-}(\Omega)$ ، بالتالي توجد متتالية جزئية (نرمز لها $(T(u_n))$) بحيث

$$T(u_n) \rightarrow w, \quad \Omega \text{ حيثما كان تقريبا في } L^{p^-}(\Omega) \text{ بقوة.} \quad (40)$$

اذن لدينا

$$u_n \rightarrow T^{-1}(w) := u, \quad \Omega \text{ حيثما كان تقريبا في } \Omega. \quad (41)$$

حسب (39)، (41)، وتوطئة فاتو نستنتج أن u محدود حيثما كان تقريبا في Ω و $|u|^{q(\cdot)(p(\cdot)-1)} \in L^1(\Omega)$.
توطئة 4.8. لدينا ما يلي

$$Du_n \rightarrow Du, \quad \Omega \text{ حيثما كان تقريبا في } \Omega, \quad (42)$$

الاثبات: بنفس طريقة اثبات الجزء الاول من [10]، التوطئة 3.8، اذن نجد

$$\limsup_{n \rightarrow +\infty} \int_{\Omega_\eta \cap \{|u| \leq k\}} (\hat{a}(x, u_n, Du_n) - \hat{a}(x, u_n, DT_k(u)))(Du_n - DT_k(u))dx = 0 \quad (43)$$

حيث $\Omega_\eta = \{x \in \Omega \mid |u_n - u| \leq \varepsilon\}$ ، من أجل كل $n \geq n_\varepsilon$ و $|\Omega/\Omega_\eta| \leq \eta$ و $\varepsilon \in (0, 1)$ ، $\eta > 0$.
باستدلال كما في [10]، نستنتج انه توجد متتالية جزئية $(Du_{n'})$ تتقارب نحو Du حيثما كان تقريبا في $\Omega_\eta \cap \{|u| \leq k\}$.
نضع

$$I_{n,\eta} = \int_{\Omega_\eta \cap \{|u| \leq k\}} |Du_n - Du|^{p^- - 1} dx.$$

حسب (30) ونظرية فيتالي (Vitali)، المتتالية الجزئية $I_{n',\eta}$ تتقارب نحو صفر. بالإضافة الى ذلك، بحجة التناقض نجد أن كل المتتالية تتقارب نحو الصفر.
من أجل كل $n, m \geq 1$ نكتب

$$\begin{aligned} \int_{\Omega} |Du_n - Du_m|^{p^- - 1} dx &= \int_{\Omega_\eta \cap \{|u| \leq k\}} |Du_n - Du_m|^{p^- - 1} dx + \\ &\int_{\Omega/\Omega_\eta} |Du_n - Du_m|^{p^- - 1} dx + \int_{\Omega_\eta \cap \{|u| > k\}} |Du_n - Du_m|^{p^- - 1} dx \\ &\leq C(I_{n,\eta} + I_{m,\eta}) + \int_{\Omega/\Omega_\eta} |Du_n - Du_m|^{p^- - 1} dx + \int_{\Omega_\eta \cap \{|u| > k\}} |Du_n - Du_m|^{p^- - 1} dx \\ &\leq C(I_{n,\eta} + I_{m,\eta}) + \\ &\left(|\{|u| > k\}|^{1 - \frac{1}{q^-}} + |\Omega/\Omega_\eta|^{1 - \frac{1}{q^-}} \right) \left(\int_{\Omega} |Du_n - Du_m|^{q^-(p^- - 1)} \right)^{\frac{1}{q^-}}. \end{aligned} \quad (44)$$

نستعمل التوطئة 4.7، نحصل على

$$|\{|u| > k\}| \leq \frac{C}{k^{q^-(p^- - 1)}}.$$

حسب (44) و (33)، يعني أن

$$\begin{aligned} & \int_{\Omega} |Du_n - Du_m|^{p^- - 1} dx \\ & \leq C \left(I_{n,\eta} + I_{m,\eta} + k^{-(q^- - 1)(p^- - 1)} + \eta^{1 - \frac{1}{q^-}} \right). \end{aligned}$$

ناخذ $k \rightarrow +\infty$ و $\eta \rightarrow 0$ ، نستنتج أن

$$\lim_{n,m} \int_{\Omega} |Du_n - Du_m|^{p^- - 1} dx = 0.$$

من خلال هذا نستنتج أن (Du_n) هي متتالية لكوشي بالقياس في Ω ، اذن توجد متتالية جزئية نرمز لها (Du_n) و تابع قابل للقياس w بحيث

$$Du_n \rightarrow w, \quad \Omega \text{ حيثما كان تقريبا في } \Omega. \quad (45)$$

حسب (30) و التوطئة 4.7 نحصل على $Du = w$. الاثبات انتهى.

اثبات النظرية 4.2.

بفضل (31) يمكننا كتابة

$$\int_{\Omega} \frac{|DT_k(u_n)|^{p(x)}}{(1 + |T_k(u_n)|)^{1+\delta}} dx \leq C$$

ناخذ $n \rightarrow +\infty$ في هذا التقدير، حسب التوطئة 4.7 و (42) نجد أن

$$\sup_{k>0} \int_{\Omega} \frac{|DT_k(u)|^{p(x)}}{(1 + |T_k(u)|)^{1+\delta}} dx \leq C \quad (46)$$

ناخذ $n \rightarrow +\infty$ في (29)، نحصل على $T(u) \in W_0^{1,p^-}(\Omega)$. هكذا $u \in L_0^{1,p(\cdot)}(\Omega)$.
نستخدم (2)، (33)، (39)، التوطئة 4.7، (42) و نظرية فيتالي، يمكننا بسهولة المرور الى النهاية في (28). هذا يثبت النظرية 4.2.

المراجع

- [1] M. Bendahmane and P. Wittbold, (2009), Renormalized solutions for nonlinear elliptic equations with variable exponents and L^1 - data. Nonlinear Analysis TMA 70 (2), 567-583.

- [2] L. Boccardo, T. Gallouët. (1992), Nonlinear elliptic equations with right hand side measures, Comm. Partial Differential Equations 17, 641-655.
- [3] Y. Chen, S. Levine, and M. Rao. (2006), Variable exponent, linear growth functionals in image restoration, SIAM J. Appl. Math, 66, 1383-1406.
- [4] L. Diening, P. Hästö, T. Harjulehto and M. Ružička. (2011), Lebesgue and Sobolev spaces with variable exponents, Lecture Notes in Mathematics, Springer-Verlag, Berlin.
- [5] X.L. Fan and D. Zhao. (2001), On the spaces $L^{p(\cdot)}(U)$ and $W^{m,p(\cdot)}(U)$, J. Math. Anal. Appl, 263, 424-446.
- [6] O. Kováčik, J. Rákosník. (1991), On spaces $L^{p(\cdot)}$ and $W^{1,p(\cdot)}$, Czechoslovak Math. J. 41, 592-618.
- [7] J.L. Lions. (1969), Quelques méthodes de résolution des problèmes aux Limites non linéaires. Dunod, Paris.
- [8] J. M. Rakotoson. (1993), Generalized solution in a new type of sets for problems with measures as data, Differential Integral Equations 6 (1), 27-36.
- [9] J.M. Rakotoson. (1991), Quasilinear elliptic problems with measures as data, Diff. Int. Equ. 4, 449-457
- [10] J. M. Rakotoson. (1994), T -Sets and Relaxed Solutions for Parabolic Equations, Journal of Differential Equations, 458-471.
- [11] Mihailescu, M. and Radulescu, V., A multiplicity. (2006), result for a nonlinear degenerate problem arising in the theory of electrorheological fluids, Proc. R. Soc. A, 462 2625-2641.
- [12] M. Ruzicka. (2000), Electrorheological fluids: modeling and mathematical theory, Springer, Berlin. Lecture Notes in Mathematics, 1748.

