

دراسة تكتونو- زلزالية وبتروولوجية لمنطقة الانهدام السوري

الدكتور أحمد بلال *

(تاريخ الإيداع 7 / 9 / 2008. قُبل للنشر في 5/1/2009)

□ الملخص □

تشير المعطيات الزلزالية إلى حركة تتراوح قيمتها من 2,7 إلى 3,3 مم/سنة، ومعامل تسارع زلزالي ضعيف تتراوح قيمته بين 0 - 0,25 سم/مربع السطح، وزلزالية حديثة موثقة لا يزيد كبرها (قدرها) عن 6 درجات على مقياس ريختر، مما يجعل من سورية نطاقاً ضعيفاً إلى معتدل الشدة الزلزالية. تتوافق هذه الزلزالية مع بركنة امتدت منذ الميزوزوي حتى الوقت الحالي على امتداد الانهدام السوري. وهي بركنة قلووية كلسية، حملت معها إلى السطح حشوات معطفية مكونة من بيريدونيت وبيروكسنيت تضم مختلف الأنواع البتروغرافية، التي تشير خصائصها البتروجيوكيميائية إلى أنها توازنت في سحنة الليرزوليت ذوغرينا قبل أن تبدأ الصعود مروراً بسحنة الليرزوليت نوسيبيل. إن وجود فلز السافرين بشكل محلول صلب في الكلينيبيروكسين يدعم ميكانيكية الصعود هذه المرتبطة بعملية الاستعاضة المعطفية. يشير تطور كبر الهزات الأرضية إلى أنها تناقصت منذ القديم إلى وقتنا الحالي بشكل موازٍ لانتقالها من سحنة الليرزوليت ذوغرينا إلى سحنة الليرزوليت نوسيبيل، وعليه فإن شدة النشاط الزلزالي قد تراجعت من الماضي إلى وقتنا الحالي.

الكلمات المفتاحية: تكتونو- زلزالية، بترولوجيا، الانهدام السوري، سورية.

* أستاذ - قسم الجيولوجيا - كلية العلوم - جامعة دمشق - دمشق - سورية.

Seismo-Tectonic and Petrological Study of the Syrian Rift

Dr. Ahmad Bilal *

(Received 7 / 9 / 2008. Accepted 5/1/2009)

□ ABSTRACT □

Seismic data indicates a rate movement estimated at 2,7-3,3 mm/y, seismic acceleration coefficient estimated at 0-0,25 cm/S², and a recent seismicity record with a magnitude not exceeding 6 on the Richter scale. This indicates that Syria represents a low to moderate seismic zone. This seismicity is associated with a volcanism dating since the Mesozoic to the present time along the Syrian rift. It is a calco-alkalin composition, which has brought up to the surface a quantity of mantelic xenoliths. They are originated in the garnet lherzolite stability field before passing to the spinelle lherzolite field. The presence of saphirine in exsolution in clinopyroxen supports this mechanism related to the metasomatic process . Earthquakes magnitude evolution indicates that it was higher in the past, at the level of the garnet lherzolite, and becomes less in the spinelle lherzolite level. Thus the seismicity decreases from the past to the present.

Key words: Seismo-tectonics, petrology, syrian rift, Syria.

*Professor, Dep. of geology, Faculty of sciences. Damascus University, Damascus, Syria.

مقدمة:

بالنظر الى الإطار الجيوتكتوني الاقليمي المتأثر بالنطاق الطوروسي الزاغروسي التصادمي في الشمال والنطاق المحيطي التوسعي في الجنوب، والى التحليل التكتوني والمعاملات الزلزالية المقاسة، فإن سورية تمثل نطاقاً ضعيفاً إلى معتدل الزلزالية. يعتبر الانهدام السوري، النطاق الزلزالي الهام في سورية، استمراراً لنطاق البحر الميت الفالقي نحو الشمال، الامتداد الطبيعي لانهدام البحر الأحمر المتشكل منذ حوالي 24 مليون سنة (Bohannon et al.1989, Baker et al.1997, Chorowicz et al. 2005).

ينتشر على امتداد هذا الفالق نشاط بركاني امتد منذ الجوارسي حتى وقتنا الحالي (Dubertret 1933, Ponikarov 1967) ويتوافق أيضاً بنشاط زلزالي يعود لألفي سنة قبل الميلاد (Taher 1979, Ambraseys et al. 1994). فقد شهدت المنطقة منذ الميزوزوي وحتى الرباعي عدة أطوار من البركنة من النوع بين الصفائحي (Shaw et al. 2007, Laws and Wilsson 1995). الطور الأقدم منها يعود إلى الجوارسي الأعلى - الكريتاسي الأدنى، واستمرت حتى الرباعي. هذه البركنة هي قلوبية كلسية التركيب مكونة من : بازلت، ميكروبازلت، بازانيت وتراكي بازلت (Sharkov et al. 1993, Bilal et Touret 2001, Ismail et al. 2008). حملت هذه البركنة معها إلى السطح حشوات قشرية (من القشرة السفلى)، ومعطفية . الحشوات المعطفية مكونة من البيروكسينيت والبيريدوتيت بأنواعها البتروغرافية المختلفة: الليروزوليت، الوهرليت والهارزبرجيت. سنلقي الضوء في هذه الورقة على ظاهرتي البركنة والنشاط الزلزالي من خلال معطيات جديدة (قياسات حقلية، تحاليل مخبرية جيوكيميائية، ملاحظات وتحاليل مجهرية الكترونية) لاستخلاص النتائج واقتراح التوصيات.

أهمية البحث وأهدافه:

من المعروف أن الزلازل، الهزات الأرضية، قد شغلت المواطن في السنوات الأخيرة من القرن الماضي ومطلع القرن الحالي عبر تصريحات أو مقالات تفتقر الموضوعية والعلمية في كثير من الأحيان. فبات من الضروري تقديم معلومة واقعية حسب ما تسمح به المعطيات العلمية عن النشاطين الزلزالي والبركاني المترافقين في المنطقة. يهدف هذا البحث الى تتبع النشاط الزلزالي والبركنة على امتداد الانهدام السوري، من خلال معطيات جديدة: قياسات حقلية وتحاليل مخبرية، بتقنيات جديدة للوقوف على واقع النشاط الزلزالي عبر التاريخ الجيولوجي وفهم عمليات البركنة وفقاً لمؤشرات التحاليل المخبرية والقياسات الحقلية، ولأحدث البحوث العلمية المنشورة.

طرائق البحث ومواده:

يقوم البحث على منهجية علمية واضحة مترابطة تنطلق من الملاحظات والقياسات والتحاليل للوصول الى استنتاجات وصياغة توصيات. ومن أجل ذلك اعتمدت مصادر متنوعة: الأرشفة القديمة للنشاط الزلزالي بعد تحميمها والتأكد من موثوقيتها، النشاط الزلزالي الحديث المسجل في المحطات الزلزالية، وكذلك القياسات الحقلية لقيمة الحركة ومعامل التسارع الزلزالي، إضافة الى تحاليل بتروغرافية وجيوكيميائية جديدة.

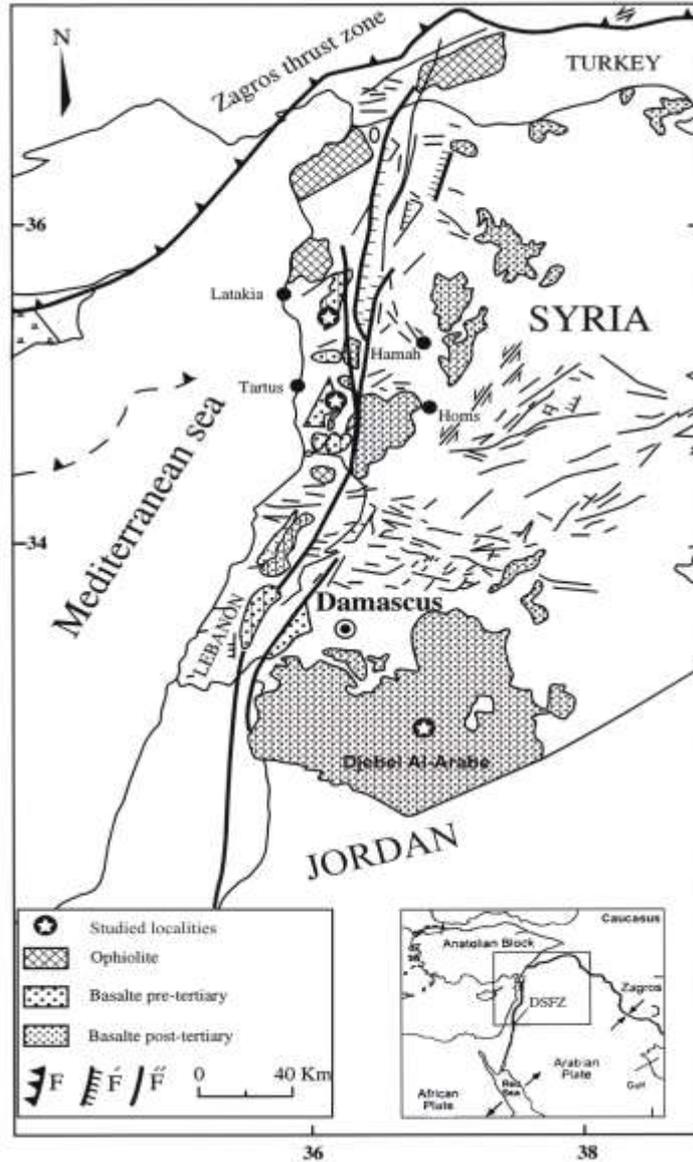
من أجل ذلك استخدمت تقنيات وطرق متنوعة: الدراسات الحقلية، الدراسات السابقة المنشورة، وثائق لتسجيل الزلزالية القديمة والحديثة، المجهر الاستقطابي للدراسات البتروغرافية، طرائق التحليل الطيفي الجيوكيميائي وأخيراً المجهر الإلكتروني

النتائج والمناقشة

دراسة تكتونو - زلزالية :

يعزى النشاط الزلزالي في المنطقة لعملية الانهدام التي تتم في الليتوسفير (Lay and Wallace 1995 , Yeats et al. 1997)، المسببة بفعل صعود قبة ريشية معطفية (Stein and Hofman 1992, Bilal et Touret 2001, Bilal et Sheleh 2004)، المرتبطة بمجموعة من العوامل الإقليمية : نطاق الانضغاط الطوروسي الزاغروسي الألبى في الشمال والشمال الشرقي؛ نطاق التوسع المحيطي خليج عدن في الجنوب الشرقي؛ والنطاق المثلثي للانهدام الأفريقي والبحر الأحمر والحفرة الأثيوبية في الجنوب الغربي (شكل 1). وفي الداخل يمثل الانهدام السوري العنصر الرئيسي للانهدام الشرقي الذي يؤمن الاتصال مع الانهدامات الأفريقية عبر البحر الأحمر، خليج العقبة والبحر الميت، حيث يلاقي في الشمال نطاق التصادم الطوروسي الزاغروسي في نقطة مرعش (Chorowicz et al. 2005). يمتد هذا الانهدام بطول حوالي 1200 كم من الجنوب إلى الشمال، منها 500 كم في الأراضي السورية. يبدأ دخوله الأراضي السورية في الجنوب عند منخفض جبل العرب، مارا بفالق اليمونة، ثم بازلت حمص - شين وبرشين، حيث تمتد السلسلة التدمرية التي تعمل كمفصلة بين جزئي الفالق الشمالي والجنوبي. يتابع الانهدام بعد ذلك نحو الشمال عبر انهدام الغاب بالقرب من اللاذقية ثم يخنقي في النطاق الطوروسي الزاغروسي في تركيا. يتوافق هذا الاختفاء مع ظهور الأطوار الأوفبوليتية الأولى في الكريتاسي، مشيراً بذلك إلى تغيرات ريولوجية - تغيرات في خواص المرونة واللدونة والسرعة الموجية - في القشرة الأرضية على مستوى القوس الأوفبوليتي.

وفي محاولة للوقوف على مقارنة سليمة للزلزالية التاريخية، التي تعاني من صعوبة توثيقها وتعرضها للتشويه حسب المرجع المسند إليه، وانقطاع التوثيق وعدم الأمانة في الأخذ والإسناد، فقد تمت العودة إلى الزلازل الموثقة من قبل اليونسكو (1983) حسب الجدول (1). يلاحظ أنّ هذا الجدول لم يتضمن الزلزال الشهير لعام 1759 والذي شكّل مرجعية للعديد من الزلازل (Ambraseys et Barazangi 1989)، مع أنّ الدراسة التي نعتمدها، المنفذة من قبل اليونسكو، قد شارك فيها امبراسيس نفسه. يبدو أنه عُثر على هذا الزلزال في الأدبيات لاحقاً مما قد يفترض وجود زلازل أخرى لا يعرف الكثير عن طبيعتها وشداتها، وكبرها، وصحة الخسائر التي سببتها، مما يجعل استخدامها أمراً مشكوكاً فيه (Le Meur 1998).



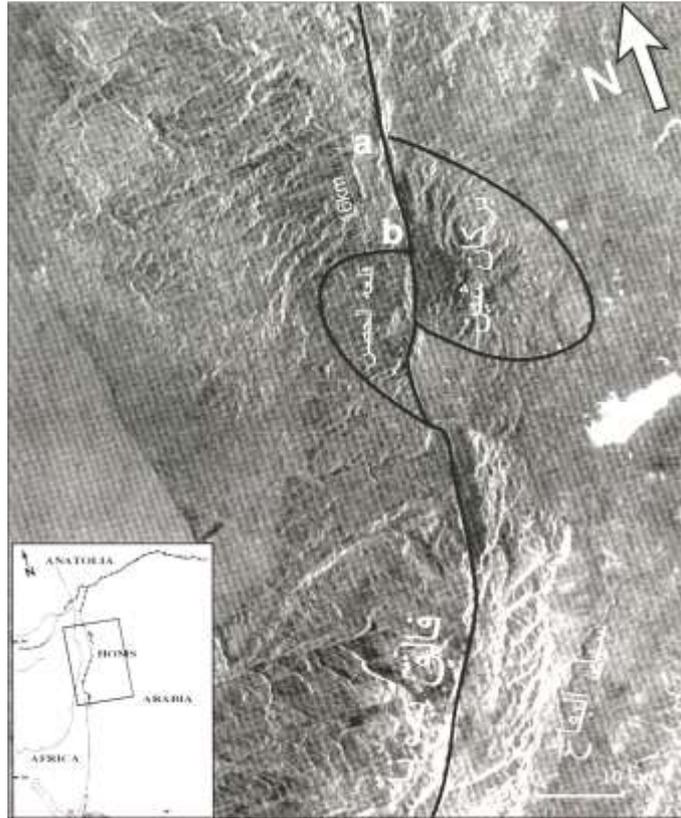
شكل 1: الإطار الجيوتكتوني لسورية موضحاً الانهدام السوري وتوزع البركنة القديمة والحديثة بحسب مراجع عديدة ، Bilal et Touret (2001) (معدل). المواقع المدروسة أشير إليها بنجمة .

الجدول 1- بعض الزلازل التاريخية الموثقة - UNESCO(1983)

| تاريخ الزلزال | عدد القتلى | المنازل | منطقة الدمار | درجة الدمار |
|---------------|------------|---------|-----------------|-------------|
| 6 آذار 1719 | 100 | 200 | حلب | منخفضة |
| 26 نيسان 1796 | 1500 | - | اللاذقية | متوسطة |
| 13 آب 1822 | 8000 | 17000 | حلب- جسر الشغور | متوسطة |
| 3 نيسان 1872 | 1800 | 3200 | حارم- حلب | متوسطة |

أما بالنسبة للدورة الزلزالية، التي هي تكرارية زلزال كل فترة محددة على امتداد فالق ما ، فقد قدرت هذه الدورة في منطقة الدراسة بزمن قدره 250-350 سنة (Meghrawi et al, 2003)، وهي معلومة لا يمكن الاستناد إليها لنقص المعطيات من جهة، ولعدم توفّر التكرارية من جهة أخرى. فكلّ زلزال يشكل حالة مميزة له عن زلزال آخر (Maderiaga 2004). القياسات الحديثة لفالق سانت اندرياس أكدت عدم صحة مفهوم الدورة الزلزالية (King 2004).

للقوف على تقدير معامل الحركة أجريت قياسات لانزياح تلة قلعة الحصن عن بركان شين (الشكل 2)، حيث تشير المظاهر التكتونية: أحواض السحب Pull Apart، الميلونيت والمسيلات والأودية شديدة الانحدار إلى أن الفالق السوري لا يزال نشطاً (Butler et al. 1998, Bilal 2004, Chorowicz et al. 2005). قدرت قيمة هذا الانزياح بـ 16 كم خلال 6 مليون سنة، هو عمر بازلت حمص، مما يعني انتقالاً قيمته 2,7 مم/سنة. قياسات أخرى توصلت إلى نتائج مختلفة، أقربها وأكثرها دقة تلك المحددة من قبل (Chorowicz et al. 2005) والتي بلغت 3,3 مم/سنة. وهذا يعني أنّ قيمة الحركة تتراوح بين 2,7 - 3,3 مم/سنة، بتوافق كامل مع معطيات حديثة قدرت قيمة الحركة في فالق وادي عربة، الامتداد الجنوبي للفالق، بمقدار 2 ± 4.6 مم/سنة مع قيمة دنيا بحدود 2,3 مم/سنة (Le Béon 2008). ويوضح الجدول (2) قيمة الحركة المقدرّة في بعض المناطق الأخرى.



شكل 2: بنية بازلت حمص حسب الصورة الفضائية (A) وحساب مقدار الانتقال ab البالغ 16 كم وهو يعادل انتقال قلعة الحصن عن بركان شين خلال 6 ملايين سنة. (Bilal 2004, Chorowicz and al. 2005).

الجدول 2- قيمة الحركة المقاسة في بعض المواقع في سورية بالطريقة الحقلية

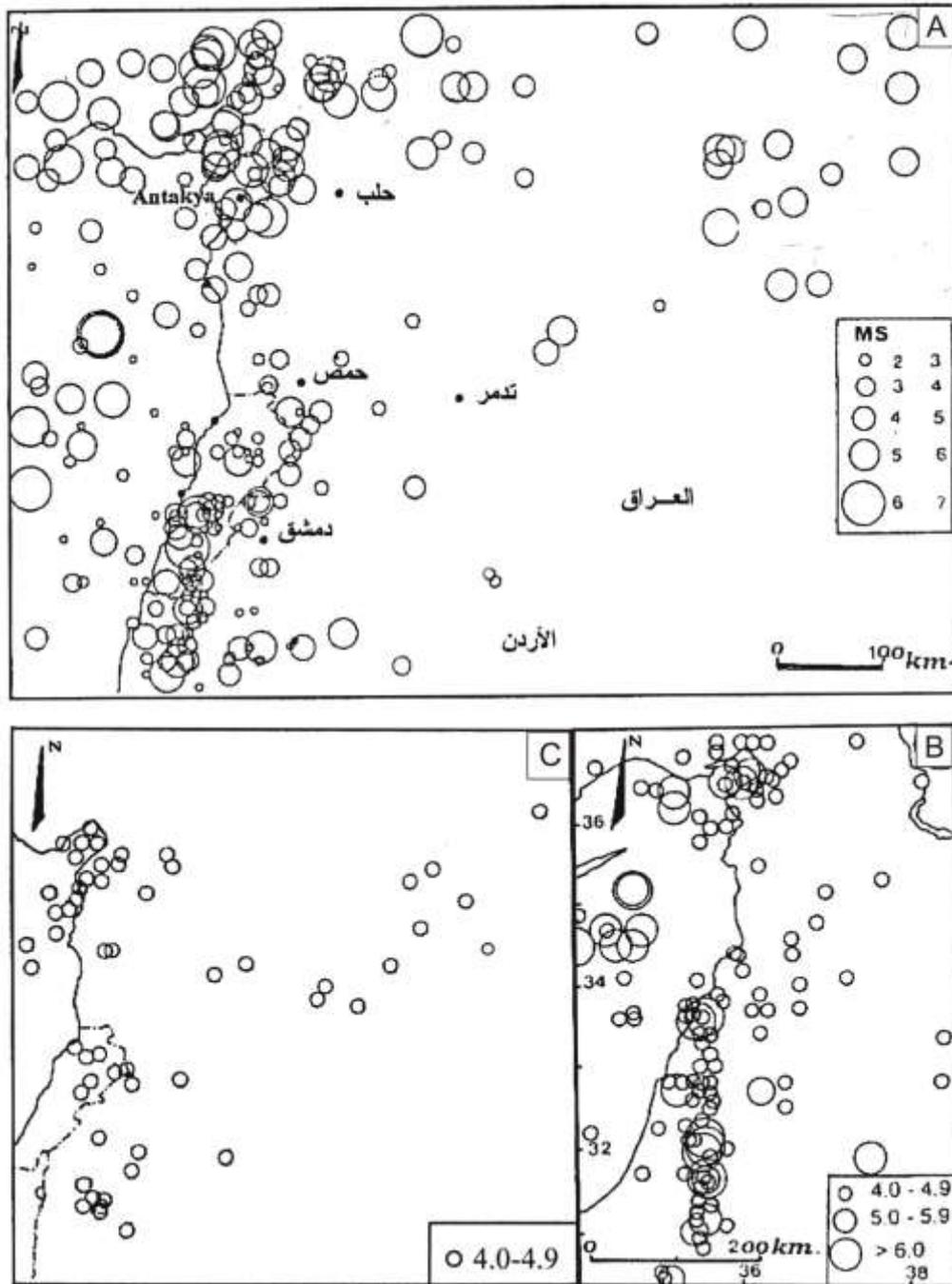
| الموقع | قيمة الحركة مم / سنة | طريقة الحساب |
|-----------------------------|----------------------|---|
| الغاب | 2,5 | الحركة على امتداد فالق حمص |
| الوسط-التدمرية | 1,5 -1 | تشوه الآثار القديمة |
| شرق سورية شمالاً وجنوباً | 1-1> | تشوه آثار الرصافة تشوه آثار قلعة سمعان الحركة على امتداد تكسرات عفرين |

أما التسارع الزلزالي (Z) فيعتبر عاملاً هاماً ولكنه إشكالي في تقدير قوة القَص من خلال المعاملات التالية :

$$Z = V/IK CSW \quad (1) \quad C = 1/T^{2/3} \quad (2) \quad T/0.1N \quad (3)$$

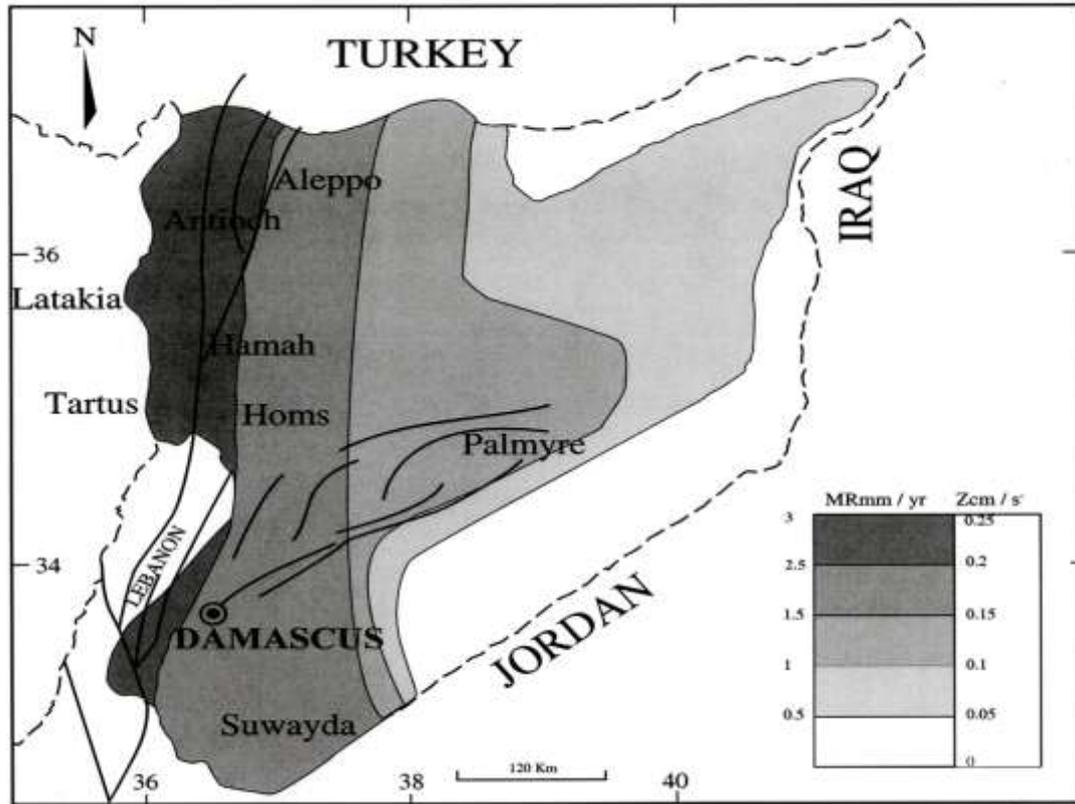
حيث V قوة القَص الأفقية، I تتعلّق بنوع المنشأة وأهميتها، K معامل اللامرونة للمنشأة، C الخاصية الديناميكية، التي ترتبط بالدورة T وعدد الطوابق N حسب المعادلتين (2) و(3)، S معامل الارتباط مع التربة، وأخيراً W الوزن الكلي. تم حساب هذا المعامل تقليدياً ورقمياً وكان نتاج متطابقة (Bojorque and De Loeck 2007). اعتماداً على تقدير قيمة الحركة والزلزالية الحديثة الموثقة، في ضوء عدم موثوقية الزلزالية التاريخية والدورة الزلزالية فإن قيمة هذا التسارع قدّرت بين 0,25-0 سم/مربع السطح.

وبالنسبة للنشاط الزلزالي الحديث في المنطقة فيشير إلى أنه حدث في القرن الماضي، وخاصة الربع الأخير منه، مجموعة من الزلازل، ذوات شدة زلزالية ضعيفة، تتراوح من 3-4 درجات عموماً، ونادراً ما تزيد عن 5 درجات على مقياس ريختر. كذلك التي حدثت في قبرص ولبنان وسورية (التدمرية) منذ عام 1996، والتي استخدمت من قبل البعض كمؤشر على قرب حدوث زلزال ذي كبر شديد. إنّ العودة إلى مفهوم الزلازل بأنه تحرير للطاقة، نرى أنّ هذه الزلازل غير مقلقة، فهي ضعيفة الشدة، وقد حررت الطاقة المتراكمة، وأسست لتوازن المنطقة، أكثر من التأسيس لزلزال شديدة تحتاج إلى تراكم كبير للطاقة. لأنّ الزلزال هو نتاج عمل طاقي تراكمي، بينما هذه الزلازل أفرغت الغلاف الصخري أو باطن الأرض من محتواها الطاقوي، وصارت أكثر استقراراً. وبالفعل بالنظر إلى خرائط الزلازل الحديثة للمنطقة يتبين أنّها مقرّ لزلزال ضعيفة، وإنّ الزلازل الشديدة تتوزع نحو الشمال باتجاه النطاق التصادمي، أو نحو الجنوب باتجاه النطاق التوسعي، في حين أنّ مركز المنطقة (سورية) هو بمعزل عن الزلازل الشديدة، وأن أكبر شدة مسجلة هي أقل من 6 درجات على مقياس ريختر (Stiro 1992, Sbeinati and Darawisheh 1992, Al Tarazi 1999). الشكل (3) يوضّح توزّع انتشار الزلازل وتمركزها في الشمال والجنوب وضعف كبرها، مما يؤكّد ما ذهبنا إليه من اعتدال للنشاط الزلزالي.



شكل 3: توزيع مراكز الزلازل خلال القرن العشرين (sbeinati and Darawisheh 1992) خلال الفترة من 1900 - 1993 (Al Tarazi 1999) وفي السنوات الأخيرة (USGS 1995).

بالاستناد إلى هذه البارامترات والتحليل للزلزالية التاريخية والحديثة فإن الزلزالية في المنطقة هي زلزالية ضعيفة إلى معتدلة. في ضوء ذلك قمنا بوضع خريطة زلزالية لسورية ميزت بين خمسة نطاقات من 1-5، حيث النطاق 1 يتميز بزلزالية أكبر. وقد حددت لهذه النطاقات قيمة الحركة والتسارع الزلزالي (شكل 4).



شكل 4: خريطة سورية الزلزالية بنطاقاتها الخمسة مع مقدار الحركة والتسارع الزلزالي وموقع سورية ضمن إطارها الإقليمي

دراسة بركانوبترولوجية:

تنتشر البركنة على امتداد الانهدام السوري الكبير، من منخفض جبل العرب في الجنوب حيث البركنة حديثة - نيوجينية - رباعية - إلى حمص حيث بركان شين الحديث مروراً بمنطقة جبل النبي متى حيث البركنة القديمة- جوراسية - كريتاسية، في المحيطة وكذلك في الجوبات شمال اللاذقية (شكل 1)، وهي من النوع بين الصفائحي (Bohanon et al. 1989, Butlere et al.1998). ومع أنها شكلت مع حشواتها موضوع دراسات عديدة (Ismail et al. 2008, Sharkov et al. 1993, Sheleh 2001, Bilal et Touret 2001, et al. 2008)، فإن تناولها هنا للربط مع الجانب التكتونولوجي، إضافة إلى معطيات جديدة من خلال دراسة الأطوار الفلزية للحشوات المعطفية بالمجهر الإلكتروني التي قمنا بها.

تأكد من خلال الدراسات البتروغرافية المدعومة بالتحاليل الجيوكيميائية أن البازلت السوري هو ذو منشأ بين صفائحي وطبيعة قلبية كلسية مكونة من صخور أساسية، بازلت وتراكي بازلت، وصخور فوق أساسية، بيكروبازلت وبازانيت (Sheleh 2001, Bilal et Touret 2001). أما الحشوات المعطفية فهي مكونة بشكل أساسي من صخور الوهرليت، الليزوليت والهارزبيرجيت، فلزاتها الرئيسية هي الأوليفين، الأورتو والكلينوبيروكسين، إضافة إلى السبينل والغرينا كفلزات ثانوية، التي يوضح الجدول (3) تركيبها الكيميائي والمنرالوجي العام (Bilal et Touret 2001, Ismail et al. 2008). تتميز هذه الصخور ببنية حبيبية وتبدي انصهاراً جزئياً محدوداً (Bilal et Touret 2001). يحتوي الكلينوبيروكسين على محاليل صلبة من فلز السافرين تم كشفها بالمجهر الإلكتروني (شكل 5). يؤكد التحليل الإجمالي للعناصر الرئيسية حسب الجدول (3) أن التركيب الكيميائي الإجمالي يتوافق مع الأنواع البتروغرافية

الموصوفة، أما التركيب الفلزّي فهو يؤكّد الطبيعة البتروغرافية والفلزية حيث يكون الأوليفين هو السائد في الليزوليت والهارزبيرجيت بنسبة 70-90 % بينما يكون فلزا الأورتو والكلينوبيروكسين سائدين في البيروكسين، من 40-50 % . وقد تم إجراء التحليل الجيوكيميائي لفلزي الأورتو والكلينوبيروكسين لعشرين عينة من مختلف المواقع والأنواع البتروغرافية لتقدير قيمة الحرارة حسب المقاييس الجيولوجية (الجدولان 5,4).

الجدول 3- التركيب الكيميائي الإجمالي للعناصر الرئيسية والتركيب المترولوجي لأنواع البتروغرافية الرئيسية

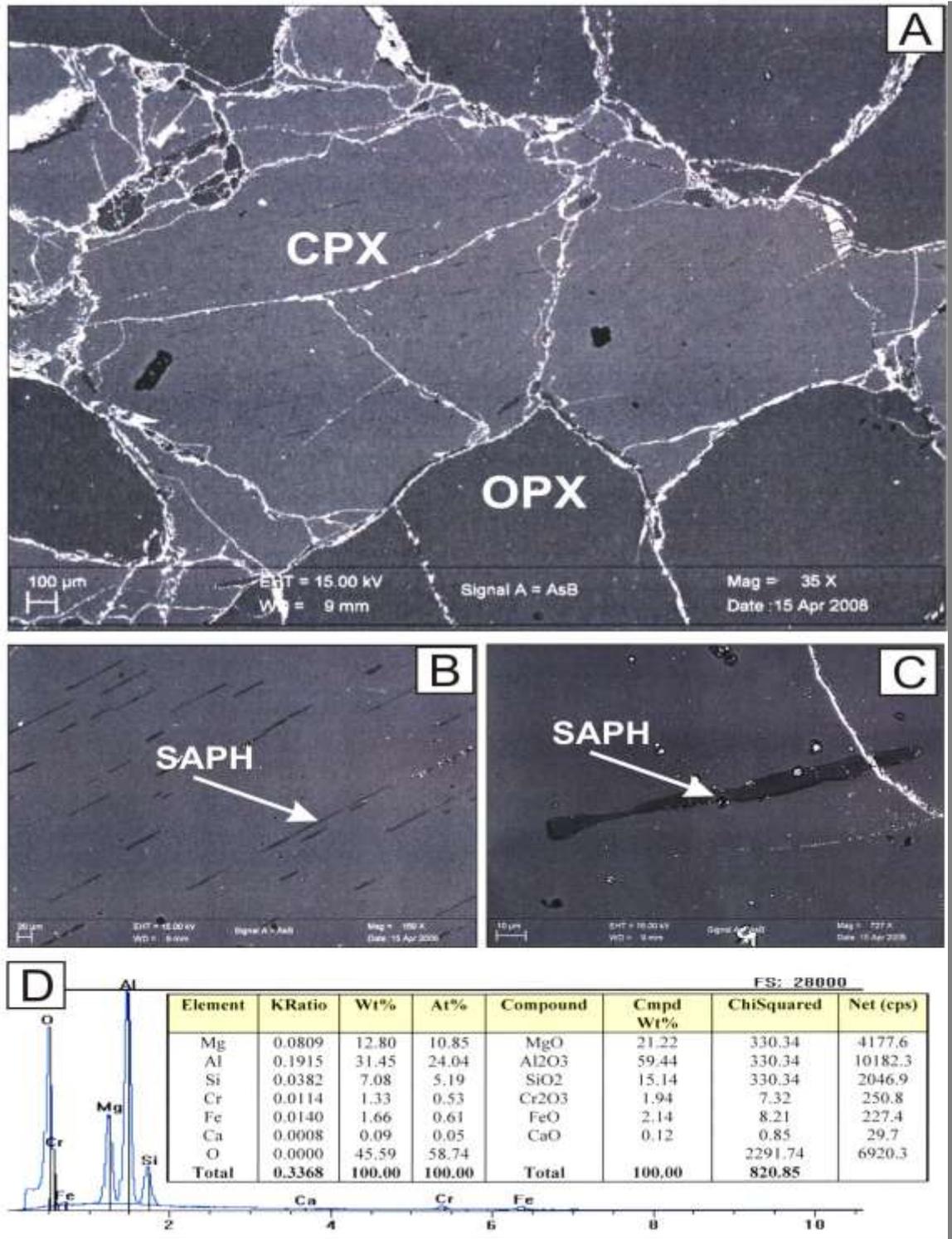
| Sample | 20071 | 20073 | 20075 | 20076 | 20079 | 200713 | 200719 | |
|---------------------------------|--------------------------------|--------------|--------------|------------|------------|------------|------------|-------|
| Locality | Tel Thannoun | Tel Thannoun | Tel Thannoun | Mhailbeh | Mhailbeh | Jubates | Jubates | |
| Type | Lherzolite | Harzburgite | Pyroxenite | Lherzolite | Pyroxenite | Lherzolite | Pyroxenite | |
| Chemical composition | SiO ₂ | 43.25 | 48.17 | 51.02 | 43.29 | 50.01 | 44.18 | 49.81 |
| | Al ₂ O ₃ | 2.21 | 4.41 | 4.24 | 1.81 | 4.41 | 2.05 | 3.01 |
| | Fe ₂ O ₃ | 4.01 | 4.96 | 4.81 | 3.89 | 5.18 | 3.16 | 5.31 |
| | FeO | 8.16 | 6.89 | 6.19 | 7.91 | 6.50 | 7.48 | 5.81 |
| | MnO | 0.21 | 0.17 | 0.16 | 0.18 | 0.18 | 0.16 | 0.22 |
| | MgO | 38.30 | 22.93 | 20.09 | 39.81 | 21.03 | 33.69 | 22.14 |
| | CaO | 1.41 | 10.04 | 11.02 | 1.28 | 10.2 | 1.51 | 12.14 |
| | Na ₂ O | 0.24 | 0.69 | 0.61 | 0.31 | 0.51 | 0.28 | 0.76 |
| | K ₂ O | 0.31 | 0.08 | 0.05 | 0.28 | 0.07 | 0.24 | 0.01 |
| | TiO ₂ | 0.30 | 0.12 | 0.08 | 0.26 | 0.08 | 0.25 | 0.12 |
| | P ₂ O ₅ | 0.05 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | ---- | 0.01 |
| | H ₂ O ⁺ | 0.25 | 0.30 | 0.01 | 0.31 | 0.4 | 0.15 | 0.2 |
| | H ₂ O ⁻ | 0.08 | 0.03 | 0.01 | 0.10 | 0.03 | 0.05 | 0.04 |
| Total | 99.23 | 98.80 | 98.54 | 99.44 | 98.66 | 100.20 | 100.85 | |
| Mineralogical Modal Composition | OI | 67-73 | 90-95 | 8-9 | 60-70 | 3-6 | 70-72 | 6-10 |
| | Opx | 15-20 | 0.5-1 | 44-48 | 20-22 | 45-50 | 20-21 | 33-43 |
| | Cpx | 5-12 | 5-10 | 40-42 | 5-9 | 37-40 | 5-6 | 45-50 |
| | Sp | 2-4 | 1-3 | 4-6 | 3-4 | 3-6 | 3-4 | 4-8 |
| | Ph | 0 | 0 | 1-3 | 0-6 | 1-4 | ---- | 1-3 |
| | Am | 0-2 | 1-5 | ---- | 0-5 | ---- | ---- | ---- |

من الظواهر المثيرة والهامة التي تمت مشاهدتها في الحشوات المعطفية هي وجود محاليل صلبة في الكليوبيروكسين (Bilal et Touret 2001). تتوضع هذه المحاليل الصلبة بشكل صفيحات منتظمة في الكليوبيروكسين (شكل 5). وللوقوف على طبيعة هذه المحاليل الصلبة أجريت دراسة بالمجهر الإلكتروني وتم تحليل هذه المحاليل.

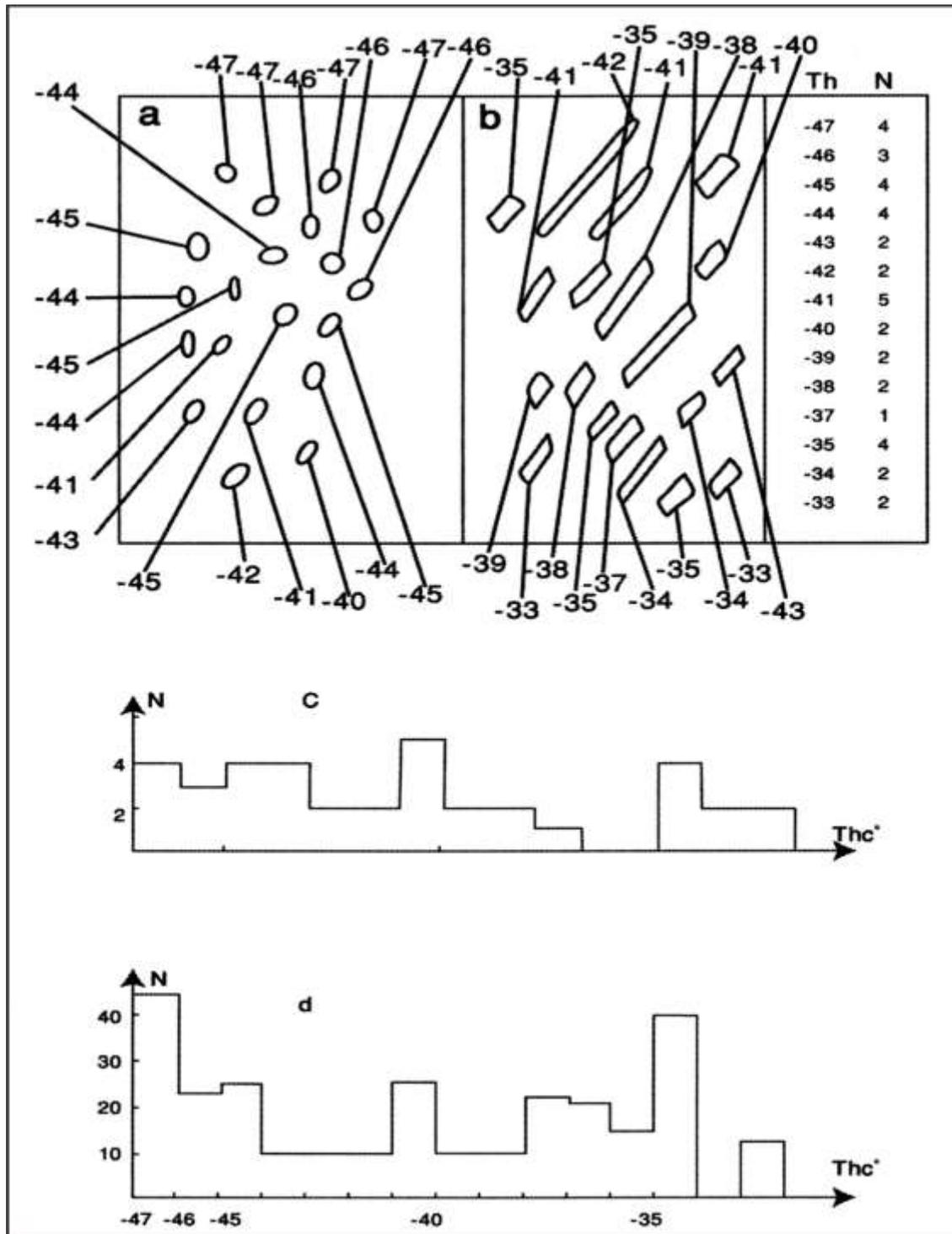
في التكبير العادي تبدو هذه المحاليل كبلورات متطاولة رقيقة تتوضع بشكل مواز لبعضها بعضاً وتأخذ شكلاً منتظماً. ولدى تكبيرها تظهر على شكل صفائح متطاولة خيطية وأحياناً مغزلية الشكل (الشكل 5، C.B.A). لدى تحليلها تبين أن تركيبها الكيميائي يتوافق مع فلز السافرين (شكل C.5).

الآلية التي تتشكل بها هذه المحاليل تشير إلى صعود للحشوات البيروكسينية والبيريدونيتية في المعطف إلى قاعدة القشرة الأرضية حيث الحرارة عالية فتعاني هذه الحشوات من استحالة تقود إلى تشكّل السافرين هذا إما بشكل محاليل أو بشكل تفاعلات حلقيه معروفة في الصخور الاستحالية الغرانوليتية في قاعدة القشرة السفلى (Bilal et al. 2008).

تحتوي فلزات الحشوات والبازلت كميات كبيرة من المحتسبات الكربونية، التي تضم غاز سائل الكربون النقي في الحشوات، وغاز كربون مع غازات أخرى ميثان، ازوت وغيرها تذكر بغاز البراكين في الصخور البازلتية. تأخذ المحتسبات الكربونية في الحشوات المعطفية أشكالاً دائرية منتظمة أو متطاولة وتتوضع بشكل منتظم، تتميز بدرجة انصهار 56,6، التي تؤكد نقاوة غاز الكربون، وحرارة تجانس (Th °) تتراوح بين 47 م° - 33 م° (شكل 6)، مما يشير إلى كثافة عالية. أما حرارة تجانس محتسبات الصخور البازلتية فهي عالية وتشير إلى كثافات منخفضة (Bilal et Touret 2001). وقد قمنا بقياس الخصائص الفيزيوكيميائية لحوالي 232 محتسب من 20 عينة من مختلف المواقع والأنواع البتروغرافية (الجدول 6).



شكل 5: صور المجهر الإلكتروني لمحاليل السافرين الصلبة في الكلينوبيروكسين A- صورة المحاليل الصلبة بالتكبير العادي وتأخذ شكل صفحات منتظمة خفية B- شكل المحاليل الصلبة للسافرين مكبرة C- صورة لمحلول مفرد من السافرين ويبدو بشكل بلورات متطاولة مغزلية الشكل D- التحليل الكيميائي للمحاليل الصلبة مؤكداً أنه سافرين .



شكل 6: شكل تخطيطي لتوضع المحتبسات الكربونية والدائرية في الكلينوبيروكسين مع حرارات تجانسها وهيستوم غرام هذه الحرارات للقياسات المنفذة.

الجدول 4- التركيب الكيميائي للأوتوبيروكسين في العينات المدروسة

| Région | N | | | | | M | | | | | | | | S | | | | | | | |
|--------------------------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|--|
| Ech. | 20071 | 20072 | 20073 | 20074 | 20075 | 20076 | 20077 | 20078 | 20079 | 200710 | 200711 | 200712 | 200713 | 270014 | 270015 | 200716 | 200717 | 200718 | 200719 | 200720 | |
| Type Petro | Lher. | Lher. | Lher. | Pyro. | Pyro. | Lher. | Lher. | Lher. | Pyro. | Pyro. | Pyro. | Pyro. | Lher. | Lher. | Lher. | Har. | Har. | Har. | Pyro. | Pyro. | |
| SiO ₂ | 54.21 | 45.08 | 46.19 | 43.72 | 44.16 | 47.19 | 49.18 | 50.13 | 51.13 | 50.99 | 51.16 | 50.98 | 54.96 | 53.19 | 56.26 | 54.94 | 52.27 | 53.15 | 56.18 | 55.51 | |
| TiO ₂ | 0.01 | 0.07 | 0.08 | 0.09 | 0.11 | 0.15 | 0.02 | 0.03 | 0.05 | 0.01 | 0.04 | 0.01 | 0.04 | 0.06 | 0.02 | 0.00 | 0.01 | 0.02 | 0.06 | 0.05 | |
| Cr ₂ O ₃ | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.08 | 0.22 | 0.05 | 0.05 | 0.10 | 0.00 | 0.05 | 0.11 | 0.09 | 0.08 | 0.13 | 0.12 | 0.05 | 0.00 | 0.00 | |
| Al ₂ O ₃ | 4.18 | 5.19 | 3.76 | 3.18 | 4.09 | 4.23 | 8.11 | 7.26 | 8.12 | 8.06 | 7.79 | 8.11 | 3.14 | 4.21 | 3.38 | 2.64 | 6.14 | 4.52 | 2.53 | 2.14 | |
| FeO | 8.92 | 10.23 | 9.45 | 11.04 | 10.38 | 8.35 | 11.75 | 7.65 | 7.35 | 8.69 | 9.63 | 10.28 | 7.65 | 7.35 | 8.69 | 7.77 | 8.30 | 8.13 | 12.24 | 11.94 | |
| MnO | 0.12 | 0.14 | 0.15 | 0.15 | 0.18 | 0.16 | 0.18 | 0.22 | 0.33 | 0.32 | 0.13 | 0.11 | 0.19 | 0.22 | 0.17 | 0.21 | 0.33 | 0.32 | 0.35 | 0.31 | |
| MgO | 33.15 | 30.13 | 31.12 | 34.69 | 31.15 | 29.16 | 29.28 | 31.02 | 27.22 | 29.18 | 28.09 | 27.74 | 32.18 | 33.14 | 29.96 | 33.09 | 31.76 | 32.02 | 28.14 | 29.07 | |
| CaO | 7.96 | 9.17 | 8.45 | 7.18 | 9.13 | 7.26 | 0.89 | 0.76 | 1.34 | 1.12 | 1.86 | 1.92 | 1.21 | 1.34 | 0.98 | 1.01 | 0.72 | 0.82 | 0.37 | 0.34 | |
| Na ₂ O | 0.18 | 0.22 | 0.34 | 0.54 | 0.46 | 1.19 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | |
| K ₂ O | 0.08 | 0.11 | 0.15 | 0.12 | 0.17 | 0.34 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | |
| P ₂ O ₅ | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.01 | 0.08 | 0.12 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| P.F. | 0.05 | 0.03 | 0.05 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.46 | 0.12 | 0.34 | 0.42 | 0.78 | 0.37 | 0.13 | 0.04 | 0.17 | 0.03 | 0.43 | 0.81 | 0.14 | 0.44 | |
| Total | 99.89 | 100.41 | 99.78 | 100.77 | 99.95 | 99.85 | 99.94 | 99.92 | 99.68 | 101.20 | 99.48 | 99.57 | 99.61 | 99.67 | 99.71 | 99.79 | 100.09 | 99.85 | 100.01 | 99.83 | |
| Si | 1.65 | 1.65 | 1.69 | 1.60 | 1.63 | 1.72 | 1.75 | 1.77 | 1.81 | 1.78 | 1.79 | 1.79 | 1.90 | 1.84 | 1.94 | 1.90 | 1.80 | 1.87 | 1.96 | 1.96 | |
| Ti | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| Cr | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| Al | 0.18 | 0.22 | 0.16 | 0.14 | 0.18 | 0.18 | 0.34 | 0.30 | 0.34 | 0.33 | 0.33 | 0.34 | 0.13 | 0.18 | 0.14 | 0.11 | 0.26 | 0.19 | 0.11 | 0.09 | |
| Fe ³⁺ | 0.08 | 0.08 | 0.07 | 0.09 | 0.11 | 0.11 | 0.08 | 0.08 | 0.10 | 0.10 | 0.09 | 0.09 | 0.06 | 0.06 | 0.10 | 0.07 | 0.07 | 0.08 | 0.14 | 0.13 | |
| Fe ²⁺ | 0.19 | 0.22 | 0.21 | 0.24 | 0.20 | 0.18 | 0.26 | 0.22 | 0.23 | 0.21 | 0.19 | 0.21 | 0.16 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.18 | 0.15 | 0.21 | 0.21 | |
| Mn | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | |
| Mg | 1.80 | 1.64 | 1.70 | 1.90 | 1.71 | 1.59 | 1.56 | 1.63 | 1.44 | 1.52 | 1.52 | 1.48 | 1.69 | 1.75 | 1.57 | 1.74 | 1.69 | 1.68 | 1.49 | 1.53 | |
| Ca | 0.31 | 0.36 | 0.33 | 0.28 | 0.36 | 0.28 | 0.03 | 0.03 | 0.05 | 0.04 | 0.07 | 0.07 | 0.05 | 0.05 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.01 | 0.01 | |
| Na | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.04 | 0.03 | 0.08 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| K | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| Total | 4.23 | 4.21 | 4.20 | 4.30 | 4.24 | 4.18 | 4.03 | 4.04 | 3.97 | 4.00 | 3.99 | 3.99 | 4.00 | 4.04 | 3.94 | 4.01 | 4.04 | 4.00 | 3.92 | 3.93 | |

الجدول 5- التركيب الكيميائي للكلينوبيروكسين في العينات المدروسة

| Région | N | | | | | M | | | | | | | | S | | | | | | | |
|--------------------------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|--|
| Ech. | 20071 | 20072 | 20073 | 20074 | 20075 | 20076 | 20077 | 20078 | 20079 | 200710 | 200711 | 200712 | 200713 | 270014 | 270015 | 200716 | 200717 | 200718 | 200719 | 200720 | |
| Type Petro | Lher. | Lher. | Lher. | Pyro. | Pyro. | Lher. | Lher. | Lher. | Pyro. | Pyro. | Pyro. | Pyro. | Lher. | Lher. | Lher. | Har. | Har. | Har. | Pyro. | Pyro. | |
| SiO ₂ | 54.21 | 45.08 | 46.19 | 43.72 | 44.16 | 47.19 | 49.18 | 50.13 | 51.13 | 50.99 | 51.16 | 50.98 | 54.96 | 53.19 | 56.26 | 54.94 | 52.27 | 53.15 | 56.18 | 55.51 | |
| TiO ₂ | 0.01 | 0.07 | 0.08 | 0.09 | 0.11 | 0.15 | 0.02 | 0.03 | 0.05 | 0.01 | 0.04 | 0.01 | 0.04 | 0.06 | 0.02 | 0.00 | 0.01 | 0.02 | 0.06 | 0.05 | |
| Cr ₂ O ₃ | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.08 | 0.22 | 0.05 | 0.05 | 0.10 | 0.00 | 0.05 | 0.11 | 0.09 | 0.08 | 0.13 | 0.12 | 0.05 | 0.00 | 0.00 | |
| Al ₂ O ₃ | 4.18 | 5.19 | 3.76 | 3.18 | 4.09 | 4.23 | 8.11 | 7.26 | 8.12 | 8.06 | 7.79 | 8.11 | 3.14 | 4.21 | 3.38 | 2.64 | 6.14 | 4.52 | 2.53 | 2.14 | |
| FeO | 8.92 | 10.23 | 9.45 | 11.04 | 10.38 | 8.35 | 11.75 | 7.65 | 7.35 | 8.69 | 9.63 | 10.28 | 7.65 | 7.35 | 8.69 | 7.77 | 8.30 | 8.13 | 12.24 | 11.94 | |
| MnO | 0.12 | 0.14 | 0.15 | 0.15 | 0.18 | 0.16 | 0.18 | 0.22 | 0.33 | 0.32 | 0.13 | 0.11 | 0.19 | 0.22 | 0.17 | 0.21 | 0.33 | 0.32 | 0.35 | 0.31 | |
| MgO | 33.15 | 30.13 | 31.12 | 34.69 | 31.15 | 29.16 | 29.28 | 31.02 | 27.22 | 29.18 | 28.09 | 27.74 | 32.18 | 33.14 | 29.96 | 33.09 | 31.76 | 32.02 | 28.14 | 29.07 | |
| CaO | 7.96 | 9.17 | 8.45 | 7.18 | 9.13 | 7.26 | 0.89 | 0.76 | 1.34 | 1.12 | 1.86 | 1.92 | 1.21 | 1.34 | 0.98 | 1.01 | 0.72 | 0.82 | 0.37 | 0.34 | |
| Na ₂ O | 0.18 | 0.22 | 0.34 | 0.54 | 0.46 | 1.19 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | |
| K ₂ O | 0.08 | 0.11 | 0.15 | 0.12 | 0.17 | 0.34 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | |
| P ₂ O ₅ | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.01 | 0.08 | 0.12 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| P.F. | 0.05 | 0.03 | 0.05 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.46 | 0.12 | 0.34 | 0.42 | 0.78 | 0.37 | 0.13 | 0.04 | 0.17 | 0.03 | 0.43 | 0.81 | 0.14 | 0.44 | |
| Total | 99.89 | 100.41 | 99.78 | 100.77 | 99.95 | 99.85 | 99.94 | 99.92 | 99.68 | 101.20 | 99.48 | 99.57 | 99.61 | 99.67 | 99.71 | 99.79 | 100.09 | 99.85 | 100.01 | 99.83 | |
| Si | 1.65 | 1.65 | 1.69 | 1.60 | 1.63 | 1.72 | 1.75 | 1.77 | 1.81 | 1.78 | 1.79 | 1.79 | 1.90 | 1.84 | 1.94 | 1.90 | 1.80 | 1.87 | 1.96 | 1.96 | |
| Ti | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| Cr | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| Al | 0.18 | 0.22 | 0.16 | 0.14 | 0.18 | 0.18 | 0.34 | 0.30 | 0.34 | 0.33 | 0.33 | 0.34 | 0.13 | 0.18 | 0.14 | 0.11 | 0.26 | 0.19 | 0.11 | 0.09 | |
| Fe ³⁺ | 0.08 | 0.08 | 0.07 | 0.09 | 0.11 | 0.11 | 0.08 | 0.08 | 0.10 | 0.10 | 0.09 | 0.09 | 0.06 | 0.06 | 0.10 | 0.07 | 0.07 | 0.08 | 0.14 | 0.13 | |
| Fe ²⁺ | 0.19 | 0.22 | 0.21 | 0.24 | 0.20 | 0.18 | 0.26 | 0.22 | 0.23 | 0.21 | 0.19 | 0.21 | 0.16 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.18 | 0.15 | 0.21 | 0.21 | |
| Mn | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | |
| Mg | 1.80 | 1.64 | 1.70 | 1.90 | 1.71 | 1.59 | 1.56 | 1.63 | 1.44 | 1.52 | 1.52 | 1.48 | 1.69 | 1.75 | 1.57 | 1.74 | 1.69 | 1.68 | 1.49 | 1.53 | |
| Ca | 0.31 | 0.36 | 0.33 | 0.28 | 0.36 | 0.28 | 0.03 | 0.03 | 0.05 | 0.04 | 0.07 | 0.07 | 0.05 | 0.05 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.01 | 0.01 | |
| Na | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.04 | 0.03 | 0.08 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| K | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| Total | 4.23 | 4.21 | 4.20 | 4.30 | 4.24 | 4.18 | 4.03 | 4.04 | 3.97 | 4.00 | | | | | | | | | | | |

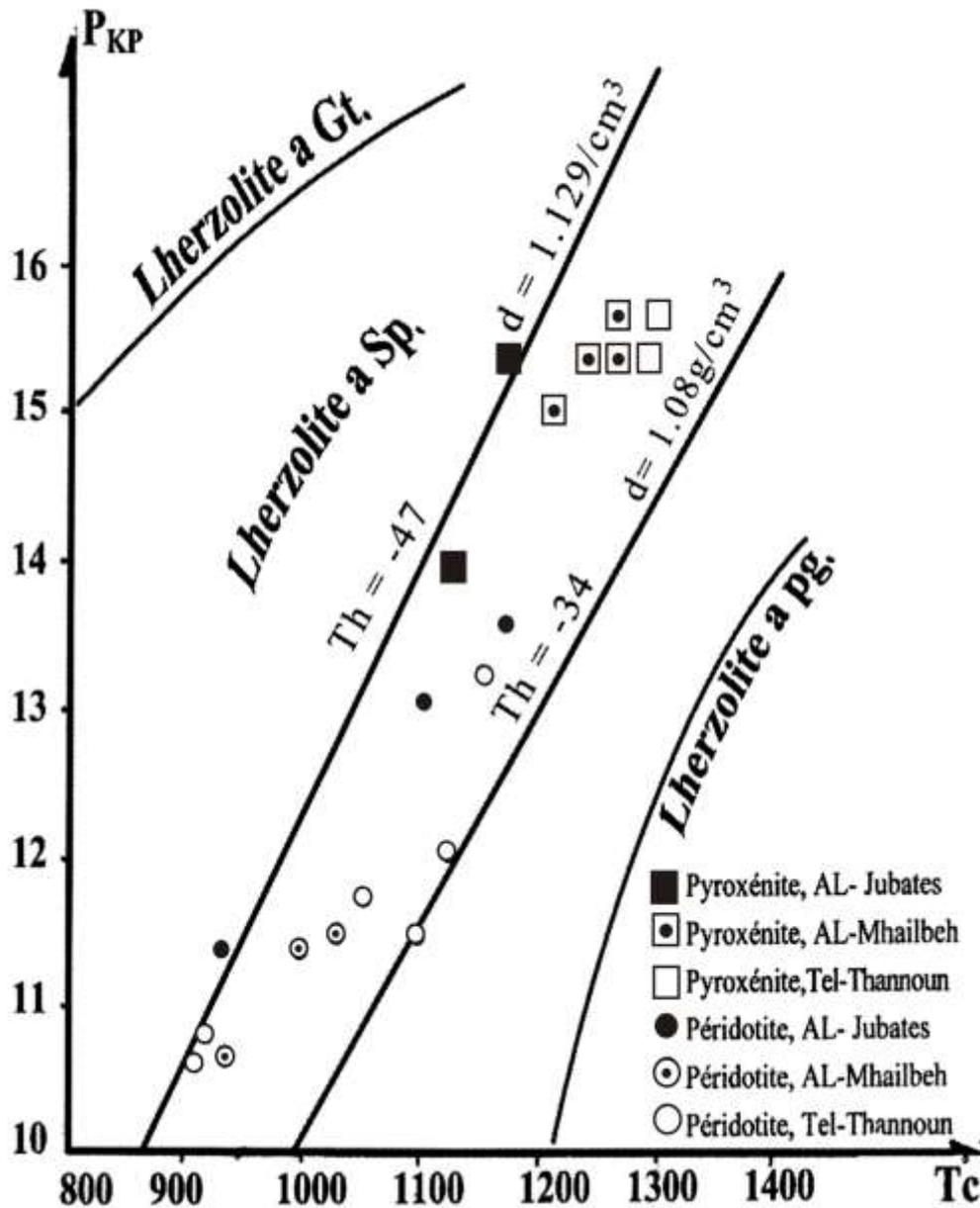
مناقشة-الشروط الترموديناميكية:

تسمح المعطيات السابقة باستنتاج الشروط المنشئية للحشوات المعطفية المدروسة عبر تطبيق المقياس الجيولوجي البروكسيني للحصول على قيمة الحرارة التي تتوازن فيها صخور الحشوات المعطفية (Bertrand et Mercier 1986, Brey et Koler 1990)، وذلك طبقاً للتحليل الكيميائي لكل من الأورتو والكلينوبيروكسين (الجدولان 4-5). أما الضغط فقد تمّ حسابه من حرارات التجانس للمحتسبات الكربونية والذي يمثل الحد الأدنى للضغط السائد. وهكذا بالجمع بين الحرارة المحسوبة من تطبيق المقياس الجيولوجي البروكسيني مع كثافة السائل الكربوني النقي أمكن الحصول على الشروط الترموديناميكية، بعد إضافة 2 كيلوبار لتعديل قيمة الضغط الجزئي للماء المتمثل ببعض الفلزات الهيدراتية (امفيبول وميكا) (Bilal et Touret 2001) وقد تمّ عرض النتائج التي حصلنا عليها في الجدول (6) والشكل (7).

تشير الشروط الترموديناميكية التي تمّ تقديرها أنّ الحشوات المعطفية الصاعدة إلى السطح بواسطة البركنة، هي صخور بيريدوتيتية تتوازن في مجال سحنة الليزوليت ذوسينيل. لكن حشوات المناطق الوسطى والشمالية، المترافقة مع البركنة القديمة تحوي فلزات الغرينا (Bilal et Touret 2001, Sharkov et al. 1993). كما أنه تمّ العثور على فلز السافرين بشكل محاليل صلبة في الكلينوبيروكسين، الأمر الذي يسمح باستنتاج أنّ الحشوات مرت في مرحلة أولية في سحنة الليزوليت ذوغرينا (الأعمق من الليزوليت ذو سينيل، وجميعها من الصخور البيريدوتيتية). ثمّ في البركنة الحديثة، كما في تل تنون حيث انتقلت أثناء صعود المعطف كما سنرى، إلى سحنة الليزوليت ذو سينيل مع الحفاظ على آثار السحنة الأعمق، الليزوليت ذوغرينا من خلال المحاليل الصلبة للسافرين في الكلينوبيروكسين، وهي تتوازن الآن في سحنة الليزوليت ذو سينيل (Ismail et al. 2008).

الجدول 6- مجالات قيم الحرارة والضغط للحشوات المدروسة، المحسوبة من تطبيق المقياس الجيولوجي للبروكسين وكثافة السائل الكربوني في المحتسبات الكربونية

| الموقع | النوع البتروغرافي | Thc_{max}° | الكثافة | $T^{\circ}c$ | P_{kb} |
|--------------|-------------------|---------------------|------------|--------------|-----------|
| Tel-Thannoun | Lherzolite | -38/-41 (25) | 1.12-1.115 | 900-1155 | 10.3-13 |
| Tel-Thannoun | Harzburgite | -37 -39 (10) | 1.10-1.12 | 930-1120 | 10.5-12 |
| Tel-Thannoun | Pyroxenite | -45/-46 (8) | 1.14-1.145 | 1285-1300 | 15-15.5 |
| Mhailbeh | Lherzolite | - 37/-42 (5) | 1.10-1.12 | 925-1030 | 10.4-11.3 |
| Mhailbeh | Pyroxenite | -33/-47 (15) | 1.08-1.15 | 1200-1280 | 14.9-15.3 |
| Jubates | Lherzolite | -33/-35 (15) | 1.075-1.08 | 930-1160 | 11.2-13.5 |
| Jubates | Pyroxenite | -44/-45 (15) | 1.13-1.14 | 1165-1260 | 15.2-15.4 |



شكل 7: حرارة توازن الحشوات في منحنى ضغط حرارة . معظم الحشوات تتوضع في مجال الليرزوليت نوسبينل عدا قيمة واحدة في الليرزوليت ذو غرينا وعدة قيم على الحد الفاصل بين المجالين نوسبينل وذوغرينا.

الاستنتاجات والتوصيات:

إنّ تحليلاً للزلزالية في سورية وتطورها في الزمن والفضاء يشير إلى أنّ الزلزالية القديمة كانت شديدة نسبياً، حيث قدرت حركتها بحوالي 6,4 مم/سنة (Le Béon 2008) ثم أخذت هذه الحركة تتباطأ إلى أن وصلت إلى وضعها الحالي حيث قدرت قيمة الحركة بحوالي 2,7-3,3 مم/سنة. يؤكد ذلك أنّ توزع الزلازل ذات الكبر الزلزالي الأشد يترافق مع البركنة القديمة (الشكلان 1،4) ، التي تعود إلى ما قبل الثلاثي - كريتاسي جوارسي- في حين أنّ الزلازل الحديثة لا يزيد كبرها عن 4-5 درجات على مقياس ريختر، ونادراً ما تصل إلى 6 درجات (Sbeinate et Derawisheh) (Altarazi 1993 , Stiro 1992) ، في حين أنّ الأدبيات أكدت أنّ كبر الزلازل القديمة تتراوح من 6-7,5 (Altarazi 1993)

(USGS 1993)، وأن الحركة كانت في التسعين مليون سنة الماضية أكبر منها في الاثني عشر مليون سنة الأخيرة (Le Béon 2008).

تسمح هذه المعطيات، في ضوء النتائج التي توصلنا اليه، بالربط بين الزلزالية من جهة والبركنة والبتروولوجيا من جهة أخرى. فقد كانت الزلزالية الناجمة عن صعود المعطف منذ الجوراسي - الكريتاسي (Stein and Hofman 1992 , Bilal et Sheleh 2001) ، أكثر شدة وذلك على مستوى سحنة الليزوليت ذوغرينا، ثم تابع المعطف صعوده ودخل مجال الليزوليت ذوسبينل حيث لا يزال بسرعة أقل. وعليه فإن الزلزالية قد تناقصت شدتها من الماضي إلى وقتنا الحاضر.

النتائج التي توصلنا اليها سمحت بتتبع النشاط الزلزالي منذ القديم حتى وقتنا الحالي؛ و بالربط بين النشاط الزلزالي والبتروولوجيا والبركنة؛ وأخيراً رصد ظاهرة المحاليل الصلبة لفلز السافرين في الكليبوبيروكسين. هذه نتائج جميعها جديدة وهامة تحتاج الى متابعة لتأكيدتها بتقنيات وطرائق مكملة لاسيما تقدير قيمة الحركة شاقولياً وافقياً بتقنيات رقمية، وظاهرة السافرين بشكل محاليل صلبة في الكليبوبيروكسين.

المراجع:

1. AL-TARAZI E. - *Regional seismic hazard study for the eastern Mediterranean (Trans-Jordan, Levant And Antakia) and Sinai Region*. J. of African Earth Sciences vol. n°3, 1999, 743-750
2. AMBRASYES N. and BARAZANGI M. -*The 1759 earthquake in the Beffa valley. Implications for earthquakes hazards assesment Mediterranean region*. Journal of Geophysical Research, 94, 1989, 4007-4013.
3. AMBRASEYS N.N.; MELVILLE C.P.; and ADAMS R.D. -*The seismicity of Egypte ,Arabian and the Red Sea*. A historical review, Cambridge University press, 1994, 181.
4. BAKER J.A., MENZIES M.A., THIRLWALL M.F. and McPHERSON C.G. - *Petrogenesis of Quaternary intraplate volcanism, Sana'a, Yemen; implications for plume-lithosphere interaction and polybaric melt hybridization*. Jpournal of Petrology 38, 1997, 1359-1390.
5. BERTRAND P. and MERCIER J.C.C. - *The mutual solibility ortho and clinopyroxene: Towards system?* Earth Planet. Sci. Lett. 76, 1986, 109-122.
6. BILAL A. -*Syrian seismic hazards map, geological, historical and odometric data*. 32 nd international geological congress. Florence-Italy. August 2004, 20-28.
7. BILAL A. et TOURET J.L. - *Les enclaves du volcanisme recent du rift Syrien*. Bul. Soc. Géol. France. t172. n°1, 2001 , 3-16.
8. BILAL A. et SHELEH F. - *Un "point chaud" sous le système du rift Syrien : données pétrologiques complémentaires sur les enclaves du volcanisme récent*. Comptes Rendus Géosciences, 366, 2004, 197-204.
9. BILAL A; JAMBON A; and BOUDOUMA O. -*The significance of sapphirine in the mantelic xenoliths of Syria*. C.R. Geosciences, (in press). 2008
10. BOHANNON R.G., NAESER C.W. SCHMIDT D.L. and ZIMMERMANN R.A. - *The timing of uplift, volcanism, and rifting peripheral to the Red Sea; a case for passive rifting*. Rift Syrien. Bull. Soc. Géol. France. t 172, no 1, 1989, 3-16.
11. BOJORQUE J. and DE ROECK G. -*Determination of the critical seismic acceleration coefficient in slope stability analysis using finite element methods*. jaim.bojorque @bwk.kuleuven.be 2007

12. BREY G.P. et KÖHLER T. - *Geothermometry in four phases lherzolites II. New thermometers and practical assessment of existing thermo-meters*. Jour. Petrol., NO31, 1990, 1353–1378.
13. BUTLER L.W., SOENCER S. & GRIFFITHS H.M. - *The structural response to evolving plate kinematics during transpression evolution of the Lebanese restraining bend of the Dead Sea Transform. Continental Transpressional and Transtensional Tectonics*. Geological Tectonic Framework of a complex pull-apart 1998
14. DUBERTRET L. - *Les grandes nappes basaltiques syriennes : Âge et relations avec la tectonique*. C.R. Soc. Géol. Fr., 3, 1933 178–180.
15. CHOROWICZ J., DHONT D., AMMAR O., RUKIEH M. and BILAL A. - *Tectonics of the Pliocene Homs Basalts (Syria) and implications for the Dead Sea Gault Zone Activity of the geological Society*, London, Vol 162, 2005 ,259-271.
16. ISMAIL M., DELPECH G. COTTIN J.Y., GREGOIRE M., MOINE B.N., and BILAL A. - *Petrological and geochemical constraints on the composition of the lithospheric mantle beneath the Syrian rift, northern part of the Arabian plate*. From: COLTORTI, M. & GREGOIRE M. (eds) 2008
17. ISMAIL M., DELPECH G. COTTIN J.Y., GREGOIRE M., MOINE B.N., and BILAL A. - *The ultramafic xenolithe, type II, of the syrian volcanism*. (in preparation). 2008
18. KING G. - *Les seismes ne se repetent pas*. La recherche, n 380 2004.
19. LAWS E. and WILSON M. - *Tectonics and magmatism association eight mesozoic passive continental margin development in the middle East*. Journal of Geological Society, London, vol. 154, 1997 459– 464.
20. LAY T. and WALLACE J.C. - *Modern Global Seismology*. Academic Press INC. 1995, 521.
21. Le BEON M. - *Cinématique d'un segment de faille décrochante à différentes échelles de temps: la faille de Wadi Araba, segment sud de la faille transformante de Levante*. Thèse Doctorat, Université Paris VI. 2008
22. LE MEUR H. - *Les seismes*. La Recherche, 310, 1998 , 129
23. MADERIAGA R. - *Chaque seisme est unique*. La recherche, n275 2004.
24. MEGHRAOUI M., GOMEZ F., SBEIMATI R., WOERD J.V.D., MOUTY M., DARKAL A.N., RADWAN Y., LAYYONS I., AL NAJJAR H., DARAWCHEH R., HIJAZI F., AL GHAZZI R. and BARAZANGI M. - *Evidence for 830 years of seismic quiescence from palaeoseismology, archaeology seismology, and historical seismicity along the dead Sea fault in Syria*. Earth and Planetary Science Letters 210, 2003, 35-52.
25. PONIKAROV.P. - *The Geology of Syria: Explanatory notes on the geological map of Syria, scale 1:100.000*. Minist. Industry, SYRIA. 1967
26. SBEINATI M. and DARAWSHEH R. - *seismological bulletin for earthquakes in and arounde Syria*. Report international ,SAES, Damascus 1992.
27. SHARKOV YE.V., LAZ'KO YE.YE. et HANNA S. - *Plutonic xenoliths from the Nabi Matta explosive center, Northwest Syria*. Geochemistry international, 30(4). 1993 23– 44.
28. SHAW J.E., BAKER J.A., KENT A.J.R., IBRAHIM K.M., and MENZIES M.A. - *The geochemistry of the Arabian lithospheric mantle -a source for intraplate volcanism?* Journal of petrology, Vol.48, no 8, 2007 ,1495-1512.

29. SHELEH F. - *Étude des enclaves mantéliques associées au rift syrien; Composition et évolution du manteau supérieur en Syrie-Implications géodynamiques et régionales.* Thèse de doctorat (en Arabe), Université de Damas, 2001, 180.
30. STEIN M. and HOFMAN A. - *Fossil plume head beneath the Arabian lithosphere?*, Earth Planet. Sci. Let, NO114, 1992, 193– 209
31. STIRO S-*Epicenters of earthquakes from 1961-1983,after USGS.Worhshop* , Damasus, 1992,32-36.
32. Unesco -*Assesement and mitigation of earthquakes riskes in the arab region.* AFESD, IDB, 1983,251.
33. U.S. Geological Survey *Special Report:The Hector Mine Earthquake 10/16/99.* Accessed@[Http//Www.Socal.W.Usgs.Gov/Hector/Report/Html](http://www.Socal.W.Usgs.Gov/Hector/Report/Html),1999.
34. YEATS R.S., SIEH K. and ALLEN C.R. *The geology of earthquakes.* Oxford Univ. Press, 1997,568.

