

## Compte rendu

---

### Ouvrage recensé :

Braun, Jean, van der Beek, Peter et Batt, Geoffrey, 2006. *Quantitative Thermochronology. Numerical Methods for the Interpretation of Thermochronological Data*. Cambridge University Press, Cambridge, 270 p., 80 fig., 36 tabl., 24,7 x 17,4 cm, 100 \$ US (environ 116 \$ CAN), ISBN 0-521-83057-5 (couverture rigide)

par Jean-Claude Mareschal

*Géographie physique et Quaternaire*, vol. 60, n° 2, 2006, p. 209-210.

Pour citer ce compte rendu, utiliser l'adresse suivante :

URI: <http://id.erudit.org/iderudit/016833ar>

DOI: 10.7202/016833ar

Note : les règles d'écriture des références bibliographiques peuvent varier selon les différents domaines du savoir.

---

Ce document est protégé par la loi sur le droit d'auteur. L'utilisation des services d'Érudit (y compris la reproduction) est assujettie à sa politique d'utilisation que vous pouvez consulter à l'URI <https://apropos.erudit.org/fr/usagers/politique-dutilisation/>

---

Érudit est un consortium interuniversitaire sans but lucratif composé de l'Université de Montréal, l'Université Laval et l'Université du Québec à Montréal. Il a pour mission la promotion et la valorisation de la recherche. Érudit offre des services d'édition numérique de documents scientifiques depuis 1998.

Pour communiquer avec les responsables d'Érudit : [info@erudit.org](mailto:info@erudit.org)

nies dans une synthèse magistrale. Il peut cependant paraître un peu hermétique aux non-spécialistes par son contenu très dense.

Anne DE VERNAL  
Université du Québec à Montréal

Braun, Jean, van der Beek, Peter et Batt, Geoffrey, 2006. **Quantitative Thermo-chronology. Numerical Methods for the Interpretation of Thermochronological Data.** Cambridge University Press, Cambridge, 270 p., 80 fig., 36 tabl., 24,7 x 17,4 cm, 100 \$ US (environ 116 \$ CAN), ISBN 0-521-83057-5 (couverture rigide).

L'objectif de la thermo-chronologie est de reconstruire l'évolution thermique des roches au cours du temps, soit afin de comprendre leur histoire métamorphique, souvent présentée sous forme de diagramme P-T-t (Pression, Température, temps), soit afin de cerner le régime tectonique révélé par l'érosion qui accompagne les mouvements verticaux de la surface de la Terre. La thermo-chronologie fournit un outil de base pour aborder des questions essentielles en sciences de la Terre, concernant notamment les interactions entre la tectonique et le climat. Le premier objectif de ce livre est de présenter les principes de base de la thermo-chronologie. Un objectif secondaire est de fournir une introduction aux méthodes numériques appliquées surtout à des problèmes thermiques en géologie.

La thermo-chronologie se base sur des techniques semblables à celle de la géochronologie classique qui permettent de mesurer le temps écoulé depuis que la température de certains minéraux est passée sous une température critique. Afin de déterminer l'histoire tectonique récente, et notamment les taux d'érosion et de soulèvement, les méthodes thermo-chronologiques demandent que la température critique soit nettement inférieure à celles de la géochronologie traditionnelle. La thermo-chronologie se base donc soit sur des minéraux, soit sur des systèmes isotopiques très différents de la géochronologie conventionnelle. Parmi les méthodes géochronologiques, la méthode K-Ar est celle qui convient le mieux aux études à basse température. Les méthodes de chauffage par palier permettent en plus de calculer la perte d'argon et d'estimer des taux de refroidissement après le passage sous la température critique. La mesure des traces de fission dans l'apatite est la méthode la plus commune en thermo-chronométrie. Ces traces sont effacées à partir de 110 °C et elles permettent donc de dater le passage sous une isotherme assez superficielle. Les gaz rares et les méthodes U-Th-He, où l'on

mesure la diffusion de l'hélium à basse température permettent aussi d'obtenir des contraintes sur l'histoire du refroidissement à très basse température. Les différentes techniques utilisées en thermo-chronologie sont clairement expliquées et le livre offre une excellente introduction pour le non-spécialiste.

L'interprétation des données thermo-chronologiques permet de déduire une histoire tectonique (taux d'érosion, soulèvements, etc.) à partir des données thermo-chronologiques. Cette interprétation qui est entièrement basée sur des modèles qui permettent de calculer l'effet de l'érosion sur le régime thermique d'équilibre et elle demande de pouvoir bien calculer le régime thermique. L'interprétation tectonique détaillée nécessite aussi de pouvoir séparer les soulèvements d'origine tectonique, de l'érosion et de la réponse isostatique. Ce problème du couplage entre la tectonique profonde, le climat et l'érosion est toujours de très grande actualité et est l'objet de nombreux programmes de recherche.

Ce livre traite à la fois les fondements théoriques et les méthodes pratiques d'interprétation des données thermo-chronologiques. Il couvre donc les bases de la thermo-chronologie, l'étude de l'équation de la chaleur, les solutions approchées et les méthodes numériques pour résoudre l'équation de la chaleur, les méthodes inverses qui permettent de déterminer directement les taux d'érosion à partir des données, et différents types d'application à des problèmes de tectonique. Un certain nombre de programmes et sous-routines en FORTRAN sont fournis avec le livre. Ces programmes peuvent servir à calculer des âges de minéraux, à déterminer des taux d'exhumation à partir d'âges thermo-chronologiques, ou à résoudre numériquement l'équation de la chaleur.

Les chapitres consacrés à l'équation de la chaleur et ses applications sont présentés de façon très simple. Dans ce domaine, le livre de H.S. Carslaw et J.C. Jaeger intitulé « *Conduction of heat in solids* » reste la bible : inégalé du point de vue théorique, Carslaw et Jaeger contient la solution analytique de pratiquement tous les problèmes de conduction thermique, en tout cas tous ceux qui admettent une solution analytique. Depuis 1959, date de la publication de Carslaw et Jaeger, de nombreuses données ont été obtenues et le flux de chaleur, les propriétés physiques des roches, les variations verticales de la production de chaleur par les éléments radioactifs dans la croûte continentale sont beaucoup mieux connus. Sans une bonne connaissance de ces données, il est impossible de calculer de façon précise les profils de température. Sur ce plan, l'ouvrage « *Quantitative thermochronology* » fait un

exposé beaucoup trop succinct et ne fournit pratiquement pas de références. Il est bien clair que ce n'est pas l'objectif de ce livre, mais il aurait été utile de fournir un peu plus de références et plus d'explications sur le régime thermique de la croûte continentale. Ceci est important puisque les résultats de l'interprétation dépendent beaucoup du choix des paramètres du modèle thermique. Le livre donne trop peu d'information à ce sujet. Certains résultats ne sont introduits que par la bande dans les exercices. Les auteurs ont choisi de définir la production de chaleur par unité de masse plutôt que par unité de volume. Ce choix n'est pas illogique, car c'est ainsi que la production de chaleur est mesurée. Toutefois, dans l'équation de la chaleur il est plus commode de travailler avec une production par unité de volume et c'est cette définition qui est utilisée dans la littérature et dans tous les ouvrages de référence y compris celui de Carslaw et Jaeger. Ce choix risque de désorienter les étudiants et les lecteurs peu familiers avec la littérature.

Les très nombreuses applications de la thermo-chronologie à divers problèmes géologiques sont bien illustrées par de très nombreuses références récentes. Par contre, il est un peu surprenant que les auteurs n'aient pas fourni plus de références pour appuyer la partie plus fondamentale de leur exposé.

Les appendices contiennent des solutions particulières de l'équation de la chaleur, quelques détails mathématiques, ainsi que des exercices. Un appendice sur les propriétés physiques (thermiques) des roches de la croûte continentale aurait été utile et bienvenu.

« *Quantitative thermochronology* » réussit à offrir une présentation rigoureuse de la thermo-chronologie sans qu'il soit nécessaire que le lecteur ait une formation avancée en physique et en mathématique. Ce livre souffre peut-être de poursuivre deux objectifs. Il contient une excellente introduction à la thermo-chronologie pour des étudiants en géologie par exemple. En ce qui concerne le deuxième objectif, celui de fournir une introduction à la modélisation numérique, le résultat n'est pas satisfaisant. Sur ce plan, le livre est beaucoup trop détaillé pour le lecteur qui s'intéresse à la thermo-chronologie et tout à fait insuffisant pour celui qui veut apprendre à résoudre des problèmes quantitatifs. Le chapitre intitulé « méthodes inverses » traite à peine des méthodes inverses, et suppose une bonne connaissance de l'analyse spectrale. De même, la description des méthodes numériques contient des détails sur la manière de stocker efficacement en mémoire les éléments de matrices obtenues dans les équations des éléments finis. Ces digressions restent d'un niveau très élémentaire et risquent de laisser sur leur faim les techniciens

et les numériciens. Par contre, même si elles sont parfois accessibles, elles ne sont pas du tout nécessaires pour la plupart des lecteurs. En fait, plusieurs sections sur les méthodes numériques auraient très bien pu être reléguées dans un appendice et je soupçonne que de nombreux lecteurs choisiront de ne pas les lire. Cette confusion dans les objectifs est d'autant plus regrettable que sur le plan des méthodes quantitatives en géologie, ce livre n'apporte pas grand-chose par rapport à la très abondante littérature qui existe déjà.

Par contre, comme introduction à la thermo-chronologie, ce livre est unique ; il est bien structuré et il présente de façon claire, tant à travers le texte que par les figures, les méthodes de la thermo-chronologie. Je ne doute pas qu'il sera très utile à tous les étudiants gradués en géologie et à tous les professionnels qui veulent en savoir plus sur la thermo-chronologie.

Jean-Claude MARESCHAL  
Université du Québec à Montréal

## RÉFÉRENCES

Carslaw, H.S. et Jaeger, J.C., 1959. *Conduction of heat in solids*, 2<sup>e</sup> édition. Clarendon Press, Oxford, 510 p.

Reed, Stephen J.B., 2006. **Electron Microprobe Analysis and Scanning Electron Microscopy in Geology**, 2<sup>e</sup> édition. Cambridge University Press, Cambridge, 206 p., 236 diag., 24 fig. noir et blanc, 8 fig. coul., 24,7 x 17,4 cm, 70 \$ US (environ 78 \$ CAN), ISBN 0-521-84875-X (couverture rigide)

La microsonde électronique (EMPA) et le microscope électronique à balayage (SEM) sont deux techniques d'analyse très utilisées en géologie. La première était dédiée originellement et spécifiquement à l'analyse quan-

titative d'échantillons présentés en section et sur lames polies. Le SEM était, pour sa part, utilisé pour produire des images à haute résolution d'échantillons géologiques bruts et polis. L'auteur, dans cette deuxième édition, tout en procédant à un examen exhaustif de la théorie reliée aux deux techniques, souligne le chevauchement de plus en plus marqué, dans les appareils modernes, des deux méthodes d'analyse. Il met en évidence les avantages de chacune des deux méthodes, le tout soutenu par des références bibliographiques appropriées.

Dans l'introduction, l'auteur expose clairement les applications et les mérites des deux techniques dans plusieurs domaines de la géologie. Il fait aussi un survol intéressant des autres techniques analytiques connexes à la microscopie SEM et EMPA.

Les premiers chapitres décrivent, d'une façon résumée et appropriée, les principes régissant les deux types d'instrumentation. L'auteur fait un rappel des données théoriques connues sur le sujet, appuyées de références bibliographiques récentes et appropriées.

Les instruments SEM et EMPA, de même que les différents types de détecteur de mesure et d'imagerie pouvant être couplés aux deux types d'appareil, sont par la suite explicitement décrits et documentés. Dans cette section, nous retrouvons aussi une description détaillée des analyseurs de rayons-X de type WD et ED (wavelengths et energy dispersive), étant donné leur importance en géologie. La présentation des résultats (spectres, cartes de rayons-X, etc.) obtenus grâce à ces deux détecteurs sont aussi clairement expliqués et documentés.

Les nouveaux microscopes de type basse pression « environnemental » et « à pression variable » sont, pour leur part, timidement décrits et peu documentés. Il faut cependant souligner que ces instruments sont plus

récents et que les références scientifiques à leur sujet sont plus limitées.

Le dernier chapitre, très important pour les applications en géologie, concerne la préparation des échantillons. Il fournit l'essentiel pour une utilisation adéquate de la microscopie de type SEM conventionnelle et EMPA. Cette section couvre succinctement la majorité des techniques de préparation connues, laissant au lecteur la possibilité de recourir aux références bibliographiques pertinentes pour compléter l'information.

La dernière section, représentant une succession de spectres de rayons-X (ED), est incluse afin d'aider le lecteur dans l'interprétation des résultats analytiques. Elle est, à mon avis, non essentielle à la compréhension de ce type d'analyse. Les appareils récents possèdent tous un ou plusieurs systèmes informatiques capables d'identifier et de quantifier clairement les spectres provenant des différents analyseurs de rayons-X.

En général, le style est clair et le texte agréable à lire. Les tableaux et les figures sont utilisés efficacement, en évitant de reprendre systématiquement dans le texte leur contenu intégral. Les différents chapitres du livre sont clairement identifiés et leur énoncé en accord avec le titre de la section. La terminologie est uniforme tout au long du livre, de même que les abréviations et les unités de mesure. Les concepts sont clairement définis et représentent bien l'état des connaissances actuelles dans le domaine. Ils sont aussi accompagnés de références bibliographiques pertinentes.

En conclusion, cet ouvrage intéressera les analystes, surtout les géologues initiés aux méthodes analytiques, mais également aux néophytes intéressés à comprendre la théorie et la méthodologie entourant ce type d'analyse.

Raymond MINEAU  
Université du Québec à Montréal