

Caractérisation et modélisation d'objets archéologiques en vue de leur datation par des méthodes paléo-dosimétriques. Simulation des paramètres dosimétriques sous Geant4.

Loïc Martin

Thèse dirigée par Norbert Mercier et Sébastien Incerti

Les méthodes paléodosimétriques permettent d'obtenir l'âge de certains matériaux de nature minérale qui se comportent comme des dosimètres naturels, l'âge étant alors donné par le rapport de la dose accumulée depuis l'événement à dater, au débit de dose naturel auquel l'échantillon a été soumis. La dose archéologique est déterminée par l'intermédiaire d'un signal de luminescence, issue d'une stimulation de l'échantillon par la lumière (on parle alors de Luminescence Stimulée Optiquement, ou OSL) ou par la chaleur (dans le cas de la thermoluminescence ou TL), ou via l'absorption d'une onde électromagnétique pour la Résonance Paramagnétique Electronique (RPE). Ces différentes méthodes permettent de dater divers événements sur la période du Quaternaire, du début du Paléolithique jusqu'à l'Antiquité ou le Moyen Age. Elles prennent le relais de la méthode du carbone 14 dans l'étude des peuplements humains pour les périodes plus reculées, et s'adressent à des matériaux ubiquistes (tels des grains de quartz, des silex chauffés, ou encore des vestiges dentaires), ce qui les rend complémentaires de cette dernière.

Beaucoup moins étudiée que la détermination de la dose archéologique, la caractérisation du débit de dose repose le plus souvent sur des modèles simples, initialement développés dans le cadre de la datation de tessons de poteries, qui permettent uniquement des calculs explicites. Cependant, ces modèles ne reproduisent que très imparfaitement la diversité des situations rencontrées étant donnée la variété des échantillons datables, ainsi que celle des dépôts sédimentaires rencontrés. La modélisation informatique permet d'envisager des modèles plus complexes et plus réalistes, qui conduisent à simuler numériquement le débit de dose. Elle a plusieurs fois été utilisée dans le cadre de la datation paléodosimétrique, par exemple par Nathan et Grün (2003) ou Guérin *et al.* (2012). Ces différentes études ne correspondent cependant qu'à des cas particuliers et restent sporadiques du fait du manque d'outils de modélisation adaptés aux échantillons datés et facilement accessibles.

Dans cette thèse, la boîte à outils Geant4, qui permet de simuler les interactions particule-matière selon la méthode de Monte-Carlo, a été utilisée pour créer des modèles complexes, ainsi que des outils de modélisation accessibles et adaptables aux différents types d'échantillons et situations dosimétriques. Des protocoles d'analyse d'échantillons ont été étudiés afin de récolter les données nécessaires à la création des différents modèles exposés, et leur applicabilité dans le cadre de méthodologie de datation courante est discutée. La pertinence des résultats obtenus dans le cadre

des simulations est discutée aux cours des travaux présentés, en liaison avec les approximations faites lors du calcul des débits de dose, et leurs'orientation les protocoles d'analyse des échantillons.

Dans une première partie, des simulations de débits de dose alpha, bêta et gamma ont été réalisées à l'aide de modèles d'environnements sédimentaires basiques. Les résultats obtenus permettent de mettre en évidence les principaux facteurs influençant ces débits de dose, ainsi que les limites des modèles de calcul actuels.

Une seconde partie détaille les principes et le développement du programme DosiVox basé sur Geant4. Ce programme offre la possibilité de réaliser des modélisations d'objets destinés à être datés par une méthode paléodosimétrique, ainsi que de leurs environnements, sans requérir de l'utilisateur des connaissances en programmation ou dans le fonctionnement de Geant4. Il a été conçu pour être adaptable à une large diversité d'échantillons, tout en restant accessible et pratique, notamment dans le cas d'une utilisation courante. L'architecture de la géométrie des modèles réalisables, la simulation de la radioactivité dans ceux-ci ainsi que le fonctionnement des entrées et sorties de données dans DosiVox sont détaillés. L'accent est particulièrement mis sur les raisonnements ayant orienté les choix dans le développement du programme.

Dans une troisième partie, DosiVox a été testé par des comparaisons avec des configurations dosimétriques connues ou mesurées. La concordance des résultats de simulation avec les données concernant les différents systèmes considérés permet de s'assurer de la justesse des modélisations créées à l'aide de ce programme. Cette partie permet également d'illustrer la variété des possibilités offertes par DosiVox en ce qui concerne la modélisation d'échantillons en cours de datation, et d'étudier de nouvelles possibilités dans le traitement et la caractérisation du débit de dose pour certains échantillons particulièrement complexes du point de vue dosimétrique.

La dernière partie de cette thèse est consacrée à la modélisation des débits de dose bêta dans les sédiments hétérogènes. Cette dernière problématique rassemble plusieurs difficultés en termes de dosimétrie, du fait de la portée de ces rayonnements dans les matériaux sédimentaires (quelques millimètres) proche de l'ordre de grandeur des différentes sources d'hétérogénéité. Ce contexte a été notamment abordé du point de vue de la caractérisation des sédiments, au travers de l'analyse et du traitement des données nécessaires à l'obtention des informations indispensables aux modélisations. Les possibilités de modélisation offertes par DosiVox sur ce type d'échantillons sont exposées, ainsi que le programme DosiSed, spécialement dédié à ces échantillons. Ce dernier permet de réaliser des empilements aléatoires de grains de différentes radioactivité et nature minérale, pour y simuler les

débits de dose. Enfin, l'interprétation des données résultant du calcul des débits de dose bêta dans les échantillons étudiés est discutée.

Un bilan rappelant les différentes observations faites quant aux mesures et modélisations des différents débits de dose, ainsi que les possibilités des différents outils développés dans le cadre de ces travaux, vient conclure la thèse. Leurs conséquences sur la méthodologie des datations paléodosimétriques sont discutées, en particulier en ce qui concerne les développements vers un usage courant de la modélisation informatique dans le cadre de la caractérisation des débits de dose.

Références citées :

Guérin, G. , Mercier, N., Nathan, R. , Adamiec, G. and Lefrais, Y., 2012. On the use of the infinite matrix assumption and associated concepts: a critical review. *Radiation Measurements* 47, 778-785.

Nathan, R.P., Grün R., 2003. Gamma dosing and shielding of a human tooth by a mandible and skull cap: Monte Carlo simulations and implications for the accuracy of ESR dating of tooth enamel. *Ancient TL* 21, 79-84.