

**Exposé de Georges Vendryes à la réunion du 30 novembre 2010**  
**de la Société Géologique de France, à la Faculté des Sciences d'Orsay**  
**Quelques réflexions sur les évènements remarquables qui sont survenus**  
**lors de la formation du Francevillien**

Monsieur le Président, chers amis géologues,

Tout d'abord un grand merci à Maurice Pagel et à Jean-Pierre Milesi pour m'avoir admis à présenter une communication à cette réunion alors que je suis un complet ignorant en géologie. C'est pour moi un domaine inconnu mais passionnant où je m'aventure non sans témérité. Le principal objectif de ma démarche ce matin est de recueillir vos remarques et vos objections éventuelles.

A l'origine de mes réflexions se trouve la découverte de Mr El Albani, du laboratoire Hydrasa de l'Université de Poitiers, qui a fait la une de la revue Nature du 1<sup>er</sup> juillet et qu'il a présentée à Orsay il y a quelques jours. Comme vous le savez certainement, il a trouvé des fossiles attribués à des organismes multicellulaires dans une carrière du Gabon. dans une couche du Francevillien datée de 2,1 milliard d'années. Cette découverte est remarquable car elle remet en question les connaissances que nous avons de l'évolution des êtres vivants. Les plus anciens témoignages d'organismes multicellulaires à avoir été identifiés auparavant sont beaucoup plus tardifs. Ils datent notamment de l'explosion cambrienne qui a connu une prolifération vertigineuse d'espèces il y a 600 millions d'années.

Du moment où j'ai eu connaissance de cette découverte en lisant mon journal, je n'ai pu m'empêcher de faire un rapprochement avec un autre phénomène exceptionnel, à savoir les réacteurs naturels d'Oklo, dont la mise en évidence demeure le souvenir le plus exaltant de ma vie professionnelle. Jean Bussac ici présent peut témoigner de l'émotion intense qui nous a saisis tous deux ce matin de la fin août 1972 dès qu'on m'eut apporté toutes chaudes les mesures brutes de la distribution isotopique du néodyme dans un échantillon de minerai prélevé dans la mine d'Oklo. Il nous suffit de quelques minutes de manipulation de nos règles à calcul, mettant en œuvre les quatre opérations élémentaires de l'arithmétique, pour voir apparaître sous nos regards émerveillés la distribution exacte des isotopes du néodyme produits de fission de l'uranium.

Ainsi avons-nous la démonstration aveuglante que des réactions de fissions s'y étaient produites en abondance. Incidemment ce résultat montrait que les propriétés de la fission nucléaire étaient exactement les mêmes il y a 2 milliards d'années que maintenant, c'est-à-dire que les constantes fondamentales de la physique ( c, h, e ...) avaient alors la même valeur numérique qu'aujourd'hui, ce qui n'était nullement évident a priori.

La distance entre les réacteurs naturels d'Oklo et la carrière aux fossiles n'est que de 30 km. Le gisement d'uranium occupe la couche supérieure (C1), de 5 m d'épaisseur, de la formation de grès FA qui est à la base du Francevillien, alors que les fossiles se trouvent dans la formation d'argiles FB située juste au dessus. Il est pour le moins troublant que deux phénomènes uniques dans l'histoire de notre planète aient eu lieu au même endroit de la croûte terrestre et à peu près à la même époque. Ne pourrait-il y avoir lien entre eux ? Il était tout naturel que cette question me vint à l'esprit. La meilleure preuve en est que je reçus le soir même un coup de téléphone de Jean Bussac qui, en lisant son journal de son côté, avait eu la même idée que moi tout à fait indépendamment.

Je me suis replongé aussitôt dans les résultats des études des réacteurs d'Oklo. Ils ont fait l'objet de trente ans de recherches approfondies, dans le cadre d'un projet international sous l'égide de l'AIEA. La France y a joué un rôle majeur, grâce à la collaboration étroite et exemplaire qui s'établit entre les physiciens nucléaires et les chimistes du CEA et des géologues de diverses universités. Parmi ces derniers je citerai seulement les noms de Mr Weber et de Mr Gauthier-Lafaye, de l'Université de Strasbourg. Une synthèse excellente de toutes ces études se trouve dans le livre de Roger Naudet, publié en 1991 et malheureusement épuisé. Il m'a servi de guide constant dans mes réflexions depuis l'été dernier.

Un fait qui avait beaucoup frappé ceux qui effectuaient ces études était l'omniprésence des matières organiques dans le gisement d'uranium, jusque dans le cœur de certains des réacteurs, où l'uranium appauvri accompagné de produits de fission était véritablement enchassé dans de la matière organique, qui s'y trouvait présente avant le début des réactions de fission. Cela allait bien au delà d'une simple cohabitation entre uranium et matière organique. C'est aux organismes vivants de l'époque (cyanobactéries, algues unicellulaires), tous exclusivement marins, et aux matières organiques résultant de leur décomposition, qu'on doit la formation du gisement d'uranium.

Vous savez mieux que moi que c'est seulement à partir de 2,4 Milliard d'années environ que les bactéries ont commencé à pratiquer la photosynthèse à partir du rayonnement solaire. Ce faisant elles ont émis de l'oxygène qui auparavant n'existait pas à l'état libre. La teneur en oxygène a progressivement augmenté dans l'atmosphère ainsi que dans les eaux superficielles qui sont devenues oxydantes. C'est cet évènement majeur nouveau qui a donné naissance aux premiers gisements sédimentaires à haute concentration de fer, de manganèse, d'uranium.

Celui d'Oklo est l'un des plus anciens qui soient. Selon les informations que j'ai tirées du livre de Roger Naudet un scénario possible de sa formation a été le suivant.

La provenance probable de l'uranium est le socle archéen, où il a pu être déposé à la suite d'anciens épisodes d'intense activité volcanique continentale. Les cendres contenant les grains d'uranium ont été ensuite lessivées par ruissellement des eaux de pluie et entraînées jusqu'à un delta où les eaux oxydantes ont provoqué le passage de l'uranium en valence 6 et sa mise en solution dans une mer de faible profondeur. Il y est resté un temps indéterminé, jusqu'à ce que ces eaux viennent en contact avec un environnement chimique réducteur au voisinage de l'interface FA/FB. Il en est résulté un retour de l'uranium en valence 4 entraînant sa précipitation sous forme d'uraninite  $UO_2$  dans la couche supérieure du FA où son dépôt se trouva se trouva facilité par l'existence de fracturations abondantes dues à des actions tectoniques locales.

Toujours selon ce livre un consensus existait parmi les géologues (et je pense qu'il existe toujours) pour considérer que cet environnement réducteur était dû à un champ d'hydrocarbures résultant d'une dégradation avancée des matières organiques en provenance des étages supérieurs du Francevillien. La formation de ces hydrocarbures constitue également une première dans l'histoire de la terre. Elle nécessitait que le milieu où ils ont été produits se soit trouvé à une température de l'ordre de  $150^{\circ}C$ , ce qui implique que le dépôt de l'uranium dans la couche C1 ait eu lieu à une grande profondeur, de l'ordre peut-être de 3 Km. L'environnement réducteur autour du gisement a durablement persisté, du fait que l'uranium n'a pas été remis en solution. Un mécanisme précis pour la succession des réactions d'oxydo-réduction auquel ce dernier a été sujet tout au long du processus exposé ci-dessus a été proposé par l'Université d'Orléans.

Tout au long de cette série d'évènements ont eu lieu des interactions étroites entre phénomènes physiques, nucléaires, chimiques et biologiques dans un cadre géologique évolutif où la tectonique a joué un rôle majeur. Dans un tel contexte il est légitime de se demander si la présence, pour la première fois dans l'histoire de la vie, d'une concentration très élevée d'uranium n'aurait pas pu provoquer par le truchement de sa radioactivité la formation d'organismes multicellulaires à partir des unicellulaires initiaux.

Les réacteurs eux-mêmes n'ont joué aucun rôle à cet égard, ne serait-ce que pour des raisons de chronologie, car leur fonctionnement est à coup sûr postérieur à la formation des organismes récemment découverts .

A ce propos, je me permets de faire une remarque, que certains jugeront peut-être impertinente, au sujet des problèmes de datation. En août 1972, dans les jours qui ont précédé la révélation éclatante de l'existence de ces foyers naturels de fissions, nous avons effectué des calculs neutroniques pour déterminer les conditions permettant la réalisation de réactions de fission autoentretenues dans un mélange d'uranium naturel et d'eau. Il nous fallait pour cela connaître la teneur de l'uranium en  $^{235}\text{U}$ , c'est-à-dire dater l'époque où avaient eu lieu ces réactions. Les géologues que nous avons alors consultés nous ont déclaré que l'âge de la couche où se trouvait le gisement d'uranium était, selon l'opinion la plus répandue, compris entre 1,7 et 1,8 milliard d'années. Pour faire nos calculs nous avons adopté la valeur de 1,74 milliard d'années qui figure dans la note aux C.R. de l'Académie des Sciences de septembre 1972 et dont la précision peut faire sourire aujourd'hui. Toujours est-il que nos calculs nous permettaient de conclure qu'à cette date des réactions en chaînes de fissions étaient possibles, mais tout juste, tant était étroite la plage autorisée pour les principaux paramètres du milieu multiplicateur.

C'est seulement vers 1980 qu'a été obtenue une évaluation précise de la date de fonctionnement du réacteur n° 2, exceptionnellement bien conservé. L'analyse détaillée de mesures neutroniques d'une parfaite cohérence a donné :  $1950 \pm 30$  millions d'années, sans faire appel à aucune considération d'ordre géologique. Je ne crois pas altérer la vérité historique en disant que c'est ce résultat qui nous a obligés à repousser de plusieurs centaines de millions d'années la date de la formation de la couche uranifère. J'ai gardé de ces péripéties le sentiment que la datation d'un évènement géologique relève d'un art difficile et subtil, si bien que j'ai maintenant tendance, peut-être à tort, à considérer toute donnée sur un âge géologique dans l'absolu comme une estimation approximative.

Quoiqu'il en soit, il apparait clairement que c'est bien avant le fonctionnement des réacteurs qu'aurait pu avoir lieu l'action de la radioactivité que j'ai en tête. Actuellement, si j'ai bien enregistré les propos que m'ont tenus Jean-Pierre Milesi et Jean-Louis Feybesse, on estime à 2,1 Milliard d'années le dépôt des sédiments à l'interface FA/FB, à 2,05 milliard d'années le dépôt de l'uranium dans la couche C1 de FA, et à 1,95 milliard d'années le fonctionnement du réacteur n°2, le seul dont l'âge ait pu être évalué parmi la douzaine de ceux qui ont été découverts dans la région d'Oklo.

Selon le schéma que j'imagine l'action de la radioactivité aurait eu lieu avant même la formation du gisement d'uranium. Jean-Pierre Milesi a attiré mon attention sur le fait qu'encore aujourd'hui on ne dispose pas de connaissances certaines en ce qui concerne l'origine de cet uranium et le cheminement qu'il a suivi jusqu'à son dépôt. J'ai donc conscience que le scénario que je viens de vous exposer et qui m'a été inspiré par la lecture du livre de Roger Naudet n'est pas prouvé. Il décrit un déroulement possible mais non certain des évènements.

En admettant qu'il corresponde à ce qui s'est passé réellement, cela implique que les organismes unicellulaires présents dans les couches superficielles des mers de l'époque se seraient trouvées directement exposées pendant une durée indéterminée, mais qui a pu être de dizaines de millions d'années, à la radioactivité de l'uranium en solution dans les mêmes eaux, et il ne semble pas exclu que ces irradiations aient eu lieu à une époque contemporaine de la formation des organismes multicellulaires.

Je serais bien incapable de proposer un mécanisme précis selon lequel des organismes unicellulaires ont pu donner naissance à des multicellulaires, et à ma connaissance il n'en existe aucun qui ait recueilli l'accord des biologistes spécialistes de l'évolution. Je serais pour autant surpris que la suite des processus qui ont conduit des uns aux autres n'ait pas comporté des modifications profondes de la structure des cellules initiales, accompagnées de mutations à leur génome, de la rupture de leurs éléments constitutifs conduisant à la formation même très fugitive de composés chimiques inhabituels, etc..., toutes choses que la radioactivité peut provoquer ou favoriser. J'insiste sur l'efficacité de la radioactivité  $\alpha$  (sans parler de la fission spontanée de l'uranium), dont le pouvoir ionisant est considérable .

Je suis très conscient que la relation de cause à effet que j'évoque entre la radioactivité de l'uranium du gisement d'Oklo et la formation des organismes multicellulaires récemment observés n'est à ce stade qu'une pure hypothèse, mais il me semble intéressant de la soumettre à l'épreuve. Il est à mon avis justifié de lancer à cette fin des études spécifiques associant des spécialistes de différentes disciplines. Sans vouloir faire preuve d'un nationalisme déplacé, je crois que la France dispose de nombreux atouts pour les entreprendre et les mener à bien. On peut imaginer toute une panoplie d'enquêtes, d'essais et d'expériences.

Une première tâche de grande utilité dans le cas particulier du Francevillien consisterait à décrire avec précision la nature et la chronologie des événements qui ont précédé le dépôt de l'uranium, à suivre à la trace le chemin qu'il a suivi, et à situer la formation des organismes multicellulaires dans le cadre de cette histoire. Toute observation qui ferait apparaître un lien entre eux et la radioactivité serait de grand intérêt. Je crois savoir que Daniel Beaufort se propose de rechercher des traces de dégâts d'irradiation dans les minéraux voisins de la carrière aux fossiles, ce qui constituerait un résultat hautement significatif.

On a observé bien d'autres cas de formation d'organismes multicellulaires, à des époques très postérieures (notamment aux sites d'Ediacara en Australie, de la Burgess Shale au Canada,...). Cela vaudrait la peine de rechercher si dans ces cas on peut mettre en évidence une relation quelconque avec des phénomènes radioactifs. Inversement il serait intéressant de rechercher des vestiges d'organismes multicellulaires au voisinage d'autres riches gisements d'uranium ou de thorium.

Enfin on peut songer à une tentative de recréer ce qui a pu se passer au moyen d'essais d'irradiation, en soumettant dans un milieu aqueux des organismes unicellulaires à la radioactivité d'uranium dissous dans les eaux les contenant. Une grosse difficulté, entre autres, de telles expériences est que le paramètre temps n'est pas à notre disposition pour tenter de reconstituer des événements qui ont pu nécessiter de très longues durées pour se produire.

Je m'en tiendrai là, en vous rappelant que je suis particulièrement intéressé par les commentaires et les critiques de la communauté des géologues français.

Merci de votre attention.