

Sedimentology and chemostratigraphy of the Ediacaran Shuram formation, Nafun group, Oman

Doctoral Thesis

Author(s):

Le Guerroue, Erwan

Publication date:

2006

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005182995>

Rights / license:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)

Sedimentology and Chemostratigraphy of the Ediacaran Shuram Formation, Nafun Group, Oman

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH
for the degree of
Dr sc. ETH Zürich

presented by

Erwan LE GUERROUE

D.E.A. Université de Rennes 1
Born 01.02.1978
Citizen of France

Accepted on the recommendation of
Prof. Dr. J.P. Burg, examiner
Prof. Dr. Ph. Allen, co-examiner
Dr. A. Cozzi, co-examiner
Dr. G. Halverson, co-examiner

Abstract

A large portion of the Neoproterozoic Ediacaran period, extending from the end of the Marinoan glaciation (c. 635 Ma) to the Precambrian-Cambrian boundary (c. 542 Ma), is occupied by large negative carbon isotope excursions that are closely linked in time with the first appearance of animals in the fossil record. These carbon isotopic signals include the Marinoan ‘cap sequence’ excursion, the Shuram-Wonoka and Precambrian-Cambrian boundary excursions (Fig. 0.1).

The Neoproterozoic of Oman displays an essentially complete succession from the Marinoan upward, resting on top of a 822-825 Ma basement. The Huqf Supergroup is well exposed in the core of the Jabal Akhdar of northern Oman. It contains the glaciogenic Abu Mahara Group, which has yielded a U-Pb zircon date of 723±16/-10 Ma from a tuffaceous

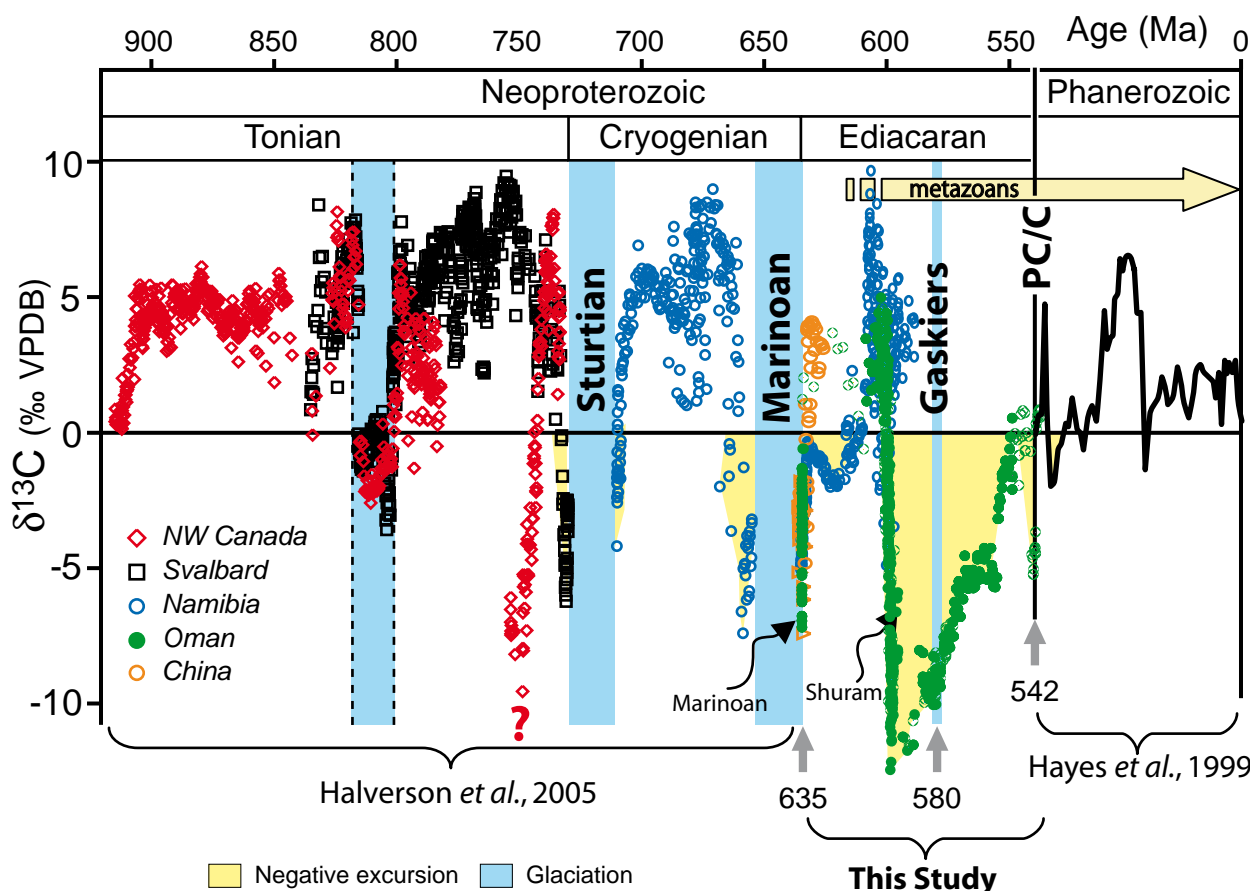


Figure 0.1. Secular variation in carbon isotopic composition of shallow marine carbonates and major Neoproterozoic glaciations over the last 1000 million years. Compiled after (Hayes et al., 1999; Halverson et al., 2005).

sediment sampled around its base. The glacial sequence of the Fiq Member ends with the Hadash 'cap carbonate' Formation, believed to be Marinoan-aged (c. 635 Ma). The basalts of the Saqlah Member mark the start of an episode of crustal extension.

The Nafun Group above the Marinoan cap carbonate (Hadash Formation) is well exposed in both the Jabal Akhdar and the Huqf region of east-central Oman. It comprises two siliciclastic to carbonate 'grand cycles', both initiated by significant transgressions: these cycles comprise the Masirah Bay/Khufai formations and the Shuram/Buah formations. The Khufai Formation displays a pattern of deposition consistent with a carbonate ramp setting and represents a shallowing-upward carbonate cycle (HST), from outer-ramp facies to cross-stratified grainstones and back-shoal mid-ramp deposits, to inner-ramp shallowing upward cycles. The end of Khufai highstand deposition is marked, basinward, by small incised channels, followed by a flooding into transgressive monotonous shales deposited below storm wave base. The Shuram Formation in the Huqf area (proximal part of the basin) records progressive shoaling through a stack of shallowing upward, storm-dominated parasequences. Eventually the siliciclastic Shuram Formation is gradationally overlain by the progradation of the Buah carbonate ramp.

The Shuram (Nafun Group, Huqf Supergroup) excursion of Oman is characterised by an exceptional amplitude (+5‰ to -12‰ $\delta^{13}\text{C}$; Fig. 0.1) and long stratigraphic record (~800 m). This carbon isotopic trend is reproducible throughout Oman, from outcrops to the subsurface, and irrespective of sedimentary facies. The entire excursion is essentially in phase with longer term relative sea level change, with the nadir in $\delta^{13}\text{C}$ occurring at the level of the maximum flooding zone of the lower Shuram, and the return to positive values occurring within the overlying Buah highstand.

The Shuram Formation is extremely well exposed for over 40 km in a roughly N-S oriented escarpment in the north of the Huqf area, where it displays a stack of shallowing-upward storm-dominated parasequences. At this parasequence scale, carbon isotopic

values are shown to reflect stratigraphic position within the parasequence stack, and each individual parasequence shows a trend in $\delta^{13}\text{C}$ values in the direction of sediment progradation. These combined stratigraphic-carbon isotopic observations and the fact that the trend is reproducible throughout Oman support a primary, oceanographic origin for the carbon isotopic ratios.

Radiometric ages combined with thermal subsidence modelling constrain the excursion in time and indicate an onset at ~600 Ma, and duration of approximately 50 Myrs.

The excursion is widely recognised in Oman and has potential correlatives in Ediacaran strata elsewhere. It may thus represent a characteristic feature of the middle Ediacaran period. However, these possible correlatives have a limited $\delta^{13}\text{C}$ data set and are dissected by unconformities, so that the full excursion cannot be recognized. The Doushantuo Formation of China probably records the end of the excursion at around c. 551 Ma.

The Ediacaran period is also marked by the non-global, short-lived Gaskiers glaciation around 580 Ma and possible more loosely dated coeval events. If the proposed chronology is correct, the Gaskiers-aged glaciation is embedded within the large-amplitude, long-term Shuram anomaly and appears to have had no effect on the chemostratigraphic records of Oman and other sections worldwide.

The fact that a carbon isotope excursion of this magnitude can be recognized in marine Ediacaran rocks from several continents indicates that it was a very widespread oceanographic phenomenon, reflecting the composition of seawater from which carbonate minerals were precipitated. However, the Shuram evidence demonstrates that the negative carbon isotopic excursion is unrelated to glaciation *per se* and that the marine carbon isotopic record cannot be used as a direct recorder of Neoproterozoic ice ages.

Any explanation of the Shuram shift must therefore imply an extreme disruption of biological systems within the oceans and a cessation of photosynthesis/biological productivity for a prolonged time (compared to Phanerozoic examples of perturbations of the carbon cycle; Fig. 0.1), challenging our understanding of the global carbon cycle. The preservation of the mass balance suggests an involvement of a sufficiently large reservoir of ^{13}C -depleted material (e.g. organic carbon).

Résumé

Une grande partie de la période Néoprotérozoïque Ediacarienne, depuis la fin de la glaciation Marinoan (c. 635 Ma) jusqu'à la limite Précambrienne-Cambrienne (c. 542 Ma), est caractérisée par d'amples excursions négatives de la courbe isotopique du carbone dans l'enregistrement CARbonaté. Ces excursions sont observables dans la 'cap séquence' Marinoan, la Shuram-Wonoka et la limite Précambrienne-Cambrienne (Fig. 0.1).

La succession Néoprotérozoïque d'Oman, quasiment complète, repose sur un socle daté à 822-825 Ma. Le SuperGroup de Huqf affleure largement au nord de l'Oman, dans le cœur de l'anticlinal du Jabal Akhdar. Il est constitué des sédiments glaciogéniques du group de Abu Mahara (723+16/-10 Ma). L'événement glaciaire se termine avec la 'cap carbonate formation de Hadash d'âge supposé Marinoan (c. 635 Ma). Le groupe de Abu

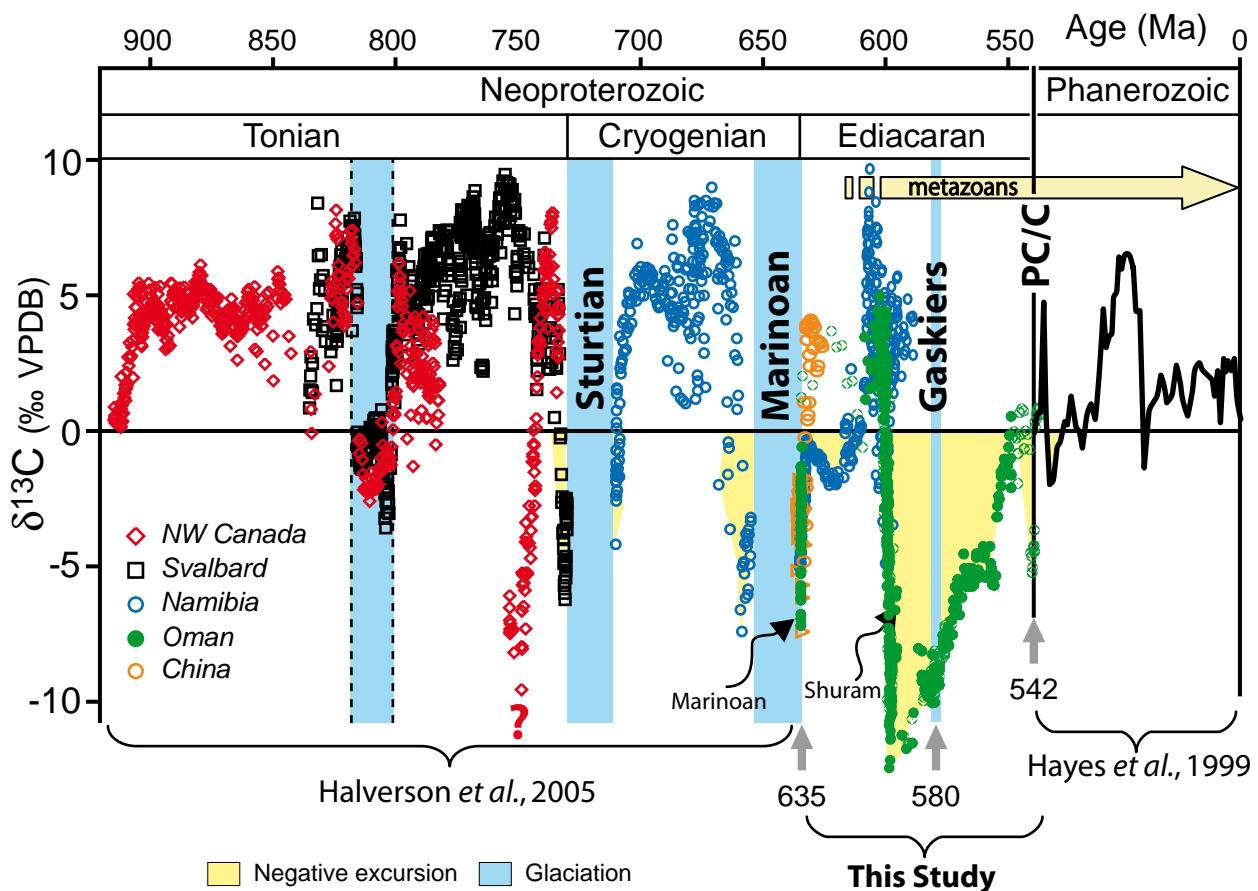


Figure 0.1. Variation séculaire des isotopes du carbone du carbonate océanique et glaciations majeures du Néoprotérozoïque durant les dernières 1000 million années. Après (Hayes et al., 1999; Halverson et al., 2005).

Mahara contiens aussi les volcanoclastiques du Membre de Saqlah caractérisant un épisode d'extension crustal.

Le Groupe de Nafun, situé au-dessus de la Marinoan cap carbonate (Formation de Hadash), représente deux 'grands cycles' siliciclastiques à carbonatés, tous deux initiés par de grandes transgressions. Ces cycles comprennent les formations de Masirah Bay/Khufai et les formations de Shuram/Buah. La Formation de Khufai est organisée selon un profil de rampe carbonatée et représente des cycles carbonatés en «shallowing-upward» (HST), allant de facies de rampe externe à des facies à grainstones cross-stratifiés et des dépôts de back-shoal de milieu de rampe, à des cycles «shallowing upward» de rampe interne. En domaine distal, la fin du Khufai highstand est marquée par des petits chenaux incisifs, suivi d'un système transgressif dominé par des argiles monotones, déposées sous la limite d'action des vagues de tempête. Dans le Huqf (domaine proximal du bassin), la Formation de Shuram enregistre une diminution progressive de la tranche d'eau qui se traduit par une série de parasequences «shallowing upward» constituées de dépôts de tempête. Les dépôts siliciclastiques de Shuram passent progressivement aux environnements en rampe carbonatée progradante de Buah.

L'excursion de Shuram (Group de Nafun, Supergroup de Huqf) d'Oman est caractérisée par une amplitude exceptionnelle (+5‰ to -12‰ $\delta^{13}\text{C}$; Fig. 0.1) et un long enregistrement stratigraphique (~800 m). Cette tendance est observée à travers tout l'Oman, de l'affleurement à la sub-surface, et ce indépendamment des faciès sédimentaires. L'excursion est globalement en phase avec les changements relatifs du niveau marin, le paroxysme du $\delta^{13}\text{C}$ étant atteint dans la partie inférieure de Shuram, au niveau de la zone d'inondation maximum, alors que le retour aux valeurs positives apparaît avec le prisme de haut niveau de Buah.

La Formation de Shuram affleure parfaitement sur les 40 km d'escarpement N-S du nord de la région du Huqf. Elle montre un empilement de parasequences «shallowing-

upward» dominées par des dépôts de tempête. À l'échelle de la parasequence, les valeurs isotopiques du carbone reflètent la position stratigraphique dans la pile de parasequences, et chaque parasequence montre une variation des valeurs du $\delta^{13}\text{C}$ avec la direction de progradation. Ces informations stratigraphiques et isotopiques ainsi que la reproductibilité du signal isotopique à travers l'Oman suggèrent une origine primaire et océanographique du rapport isotopique du carbone.

L'excursion est contrainte par des âges radiométriques combinés à une modélisation de la subsidence thermique du bassin. Son initiation est datée à ~600 Ma, pour une durée d'approximative de 50 Ma.

L'excursion, bien documentée en Oman, présente des équivalents probables dans d'autres séries Ediacariennes et pourrait constituer une spécificité de la période Ediacarienne. Cependant, une corrélation globale demeure spéculative en raison d'un enregistrement sédimentaire souvent limité par de nombreuses discordances. En Chine, la Formation de Doushantuo enregistre probablement la fin de l'excursion autour de 551 Ma.

La période Ediacarienne est aussi marquée par la glaciation non-global et de courte durée de Gaskiers, autour de 580 Ma, et ces possibles corrélatifs moins bien temporellement contraints. Si la chronologie proposée est correcte, la glaciation de Gaskiers est alors comprise dans une excursion négative de large amplitude et de longue durée du carbone isotopique. La glaciation apparaît aussi sans effet direct sur l'enregistrement isotopique et stratigraphique d'Oman et des autres sections du même âge.

Le fait qu'une excursion de l'isotope du carbone de cette amplitude peut être identifiée dans les sédiments Ediacariens de plusieurs continents indique qu'il s'agit d'un phénomène océanographique global, reflétant la composition océanique par laquelle les carbonates sont précipités. Une telle excursion est inhabituelle dans les temps géologiques et son explication représente un vrai défi. Cependant, le cas Shuram démontre que les

excursions négatives des isotopes du carbone ne sont pas liées aux glaciations per se et que l'enregistrement du carbone isotopique marin ne peut être utilisé comme témoin direct des glaciations Néoprotérozoïques.

Toutes tentatives d'interprétation de l'excursion de Shuram doit alors inclure un temps de résidence exceptionnellement long en comparaison avec les perturbations du cycle du carbone Phanérozoïques (Fig. 0.1) et doit engager un réservoir de matériel appauvri en ^{13}C suffisamment large (e.g. carbone organique dissous).