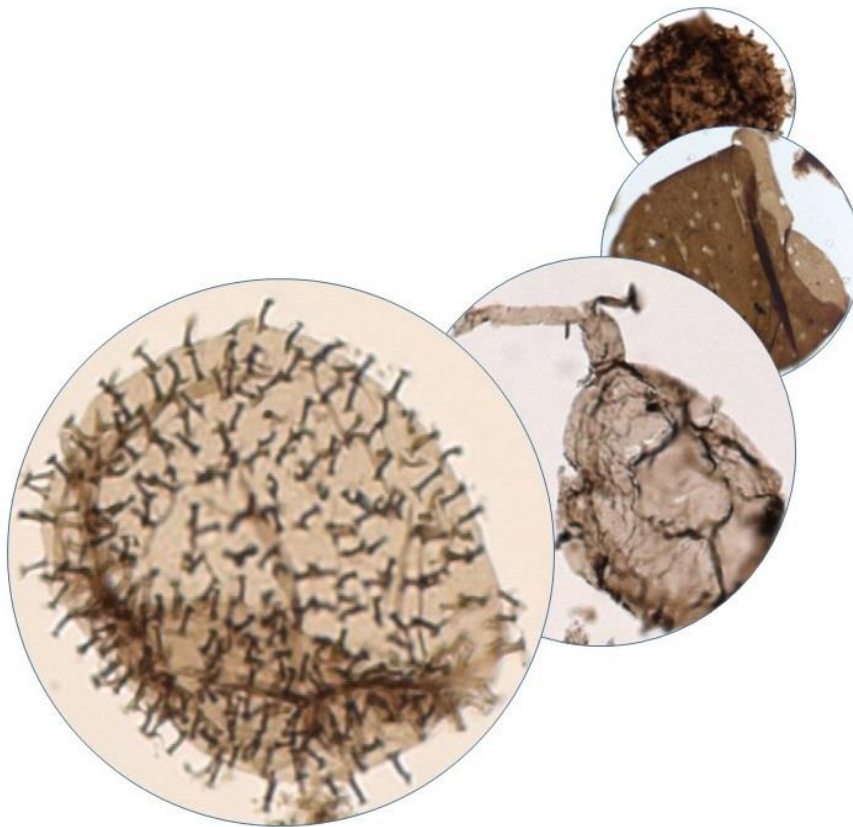




UNIVERSITE DE LIEGE
FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DE GEOLOGY
UR ASTROBIOLOGY
Early Life Traces & Evolution-Astrobiology

Diversity, paleobiology and ecology of Organic-walled Microfossils from the Proterozoic of Arctic Canada, and implications for early eukaryotic evolution.



Thesis submitted for the degree of Doctor in Sciences

by

Corentin C. Loron

2020



UNIVERSITE DE LIEGE
FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DE GEOLOGY
UR ASTROBIOLOGY

Early Life Traces & Evolution-Astrobiology

**Diversity, paleobiology and ecology of Organic-walled
Microfossils from the Proterozoic of Arctic Canada, and
implications for early eukaryotic evolution.**

Diversité, paléobiologie et écologie des microfossiles à parois organiques du Protérozoïque du
Canada Arctique, et implication pour l'évolution des premiers eucaryotes.

Thèse de doctorat

Présentée pour l'obtention du grade de Docteur en Sciences

Par **Corentin C. Loron**

Soutenance publique du 10 décembre 2020, devant un jury composé de :

Prof. Frédéric BOULVAIN (Université de Liège) – **Président**

Dr. Camille FRANÇOIS (Commission de la Carte Géologique du Monde) – **Secrétaire**

Prof. Emmanuelle JAVAUX (Université de Liège) – **Promotrice**

Dr. Purificación LÓPEZ-GARCÍA (CNRS Orsay) – **Membre**

Dr. Robert RAINBIRD (Geological Survey of Canada; Carleton University) – **Membre**

This research was funded by:



Fonds de La Recherche Scientifique-FNRS & Fonds Wetenschappelijk Onderzoek – Vlaanderen

Mandat Aspirant and EOS ET-HOME



European Research Council

ERC Stg ELITE

AGOURON
INSTITUTE



Agouron Institute

“Unraveling the Record of Proterozoic Eukaryotic Evolution in the Canadian Arctic”

Abstract

Understanding the appearance and evolution of Life on our Planet (and elsewhere?) requires multidisciplinary approaches intersecting, notably, biology, geology, chemistry and astronomy. Studies of Earth deep times provide insights on the early hydrosphere, atmosphere and geosphere which influenced the development of the early biosphere. Conversely, the transition from prebiotic chemistry to life and subsequent biological changes (prokaryotic then eukaryotic photosynthesis, rise of eukaryotes, appearance of crown-groups, ...) also played a role in modifying our young planet.

This study focuses on a fundamental period for the diversification of Life on earth, the Proterozoic, that span from 2500 to 541 Ma. The total diversity of organic-walled microfossils present in two unmetamorphosed sedimentary successions from the northwestern Canada was investigated: The Dismal Lakes Group and the lower Shaler Supergroup. These successions represent more than 700 million years of earth history (from 1600 to 900 Ma) and preserve beautiful and abundant microfossils, especially numerous taxa of eukaryotes.

This thesis demonstrates that the major diversification of eukaryotes observed in the fossil record at ~800 Ma has, in fact, started earlier and was more gradual. Eukaryotes were diversified by the early Mesoproterozoic and crown groups might have already appeared by then. New and earlier evidence for eukaryovory permits to suggest that predation was probably a powerful driver of this diversity rise. By combining classical paleontological approaches with spectroscopic and ultrastructural analyses, a new candidate of crown-group eukaryote, *Ourasphaira giraldae* could be proposed. This microfossil, recognized as an early fungus, provides new insights into crown-group diversification in the Proterozoic but also a new calibration point for molecular clock estimates of early eukaryotic evolution, and in particular of the Opisthokontes. Collectively, these studies show that northwestern Canada is an exceptional window on early eukaryotes evolution.

Résumé

Comprendre l'apparition et l'évolution de la vie sur Terre (et ailleurs ?) requiert une approche pluridisciplinaire à la croisée de la biologie, de la géologie, de la chimie et de l'astronomie. Les études des temps reculés de la Terre nous fournissent des informations précieuses sur l'hydrosphère, l'atmosphère et la géosphère primitives ; lesquelles ont influencé le développement de la biosphère. Inversément, la transition de la chimie pré-biotique vers la vie et les changements biologiques qui ont suivis (photosynthèse procaryote puis eucaryote, diversification des eucaryotes puis de leurs groupes couronnes, ...) ont également joué un rôle dans les modifications de notre jeune planète.

Cette étude se concentre sur une période fondamentale pour la diversification de la vie sur terre, le Protérozoïque, qui s'étend de 2500 à 541 million d'années. Dans ce travail, la diversité totale de microfossiles à parois organiques présente dans deux successions sédimentaires non métamorphisées de l'arctique Canadien a été étudiée : Le Groupe du Dismal Lakes et le Supergroupe inférieur du Shaler. Ces successions représentent plus de 700 millions d'années de l'histoire de la Terre et préservent d'abondants et superbes microfossiles, notamment de nombreux eucaryotes.

Cette thèse démontre que la diversification majeure des eucaryotes, observée dans le registre fossile à environ 800 Ma, avait débuté plus tôt et était en fait plus progressive. Les eucaryotes étaient déjà diversifiés au début du Mésoprotérozoïque et les groupes couronnes étaient peut-être déjà présents. De plus, la découverte de traces d'eucaryovorie plus anciennes permet de suggérer que la prédation constituait sans doute un facteur important de cette hausse de diversité. En combinant des méthodes classiques d'investigation paléontologique avec des analyses spectroscopiques et ultrastructuralles, un nouveau candidat pour un groupe couronne eucaryote, *Ourasphaira giraldae* a pu être proposé. Ce microfossile, interprété comme un membre précoce des champignons, nous fournit des informations sur la diversification des groupes couronnes et un nouveau point de calibration pour les horloges moléculaires testant l'évolution des premiers eucaryotes. Collectivement, ces études montrent que le nord-ouest canadien constitue une formidable fenêtre sur l'évolution des premiers eucaryotes.

Table of Contents

Foreword	1
Chapter 1: General Introduction	10
1.1 On the Proterozoic environmental context.....	10
1.2 On the early eukaryotic fossil record	11
1.3 On the biological affinity of early eukaryotic fossils	16
1.4 On the evolution of early eukaryotic diversity	23
1.5 Objectives of the thesis.....	24
Chapter 2: Geological context	34
2.1 Geology of Northwestern Canada: The Hornby Bay and Amundsen basins.....	34
2.2 The Shaler Supergroup	35
2.3 The Dismal Lakes Group.....	37
Chapter 3: Late Mesoproterozoic-early Neoproterozoic diversity (the lower Shaler Supergroup)	41
3.1 <i>Organic-walled microfossils from the late Mesoproterozoic to early Neoproterozoic lower Shaler Supergroup (Arctic Canada): Diversity and biostratigraphic significance</i>	42
3.2 Microfossil assemblage from Grassy Bay Formation: investigation of new eukaryotic taxa with Scanning Electron Microscopy	68
3.2.1. Material and methods	68
3.2.2 Description of new microfossils.....	69
3.2.3 Biological affinities of Morphotaxa A, B and C	70
3.2.4 SEM investigation of Precambrian assemblages.....	72
Chapter 4: Mesoproterozoic diversity (the Dismal Lakes Group)	78
4.1 <i>Shale-hosted biota from the Dismal Lakes Group in Arctic Canada supports an early Mesoproterozoic diversification of eukaryotes</i>	79
4.2 Complementary investigation of the Dismal Lakes Group diversity: preliminary study of the chert-hosted biota from the Kendall River Formation	130
4.2.1 description of the microfossils	131
Chapter 5: Implications of selective predation on the macroevolution of eukaryotes: evidence from Arctic Canada	137
Chapter 6: Early fungi from the Proterozoic era in Arctic Canada	147
Chapter 7: Conclusion and Perspectives	156
Annexes	159