



Doctoral Thesis

Late hauterivian-early aptian carbon-cycle and climate evolution leading to oceanic anoxic event 1a

Author(s):

Keller, Christina Elisabeth

Publication Date:

2011

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-007114377> →

Rights / License:

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

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH N° 19712

**LATE HAUTERIVIAN-EARLY APTIAN CARBON-CYCLE AND CLIMATE
EVOLUTION LEADING TO OCEANIC ANOXIC EVENT 1A**

A dissertation submitted to

ETH ZURICH

for the degree of

Doctor of Sciences

presented by

CHRISTINA ELISABETH KELLER

Master of Science in Earth Sciences, University of Fribourg (CH)

born 15th October 1976

citizen of Basadingen-Schlattingen/TG

Switzerland

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Helmut Weissert, ETH Zurich, examiner

Prof. Dr. Peter Hochuli, University of Zurich, co-examiner

Prof. Dr. Stefano Bernasconi, ETH Zurich, co-examiner

Prof. Dr. Gerald Haug, ETH Zurich, co-examiner

Prof. Dr. Jens Herrle, University of Frankfurt (Germany), co-examiner

Abstract

The Early-mid Cretaceous carbon-isotope record is characterised by several high-amplitude positive C-isotope excursions generally associated with volcanically induced global C-cycle perturbations. The most prominent excursion in the Aptian has been attributed to the Ontong-Java volcanism. It is preceded by a shorter term negative C-isotope spike, which has been associated with addition of isotopically negative carbon from either marine volcanism or methane hydrate dissociation. At the end of the negative C-isotope spike, which corresponds to the start of the renewed rise in $\delta^{13}\text{C}$, the organic carbon-rich deposits of OAE1a reflect the onset of widespread anoxic conditions in the deep basins. This change in the pelagic realm coincides with extensive biocalcification crises on carbonate shelves and platforms and testifies to a major impact of the Early Aptian C-cycle perturbation on the marine environment.

The main objectives of this thesis are to determine the causes and consequences of the long- and short term preludes of the Early Aptian OAE1a with focus on a) the Early Aptian negative C-isotope spike interval and b) the long-term Barremian-Early Aptian evolution of climate and oceanography. Upper Hauterivian-Lower Aptian Tethyan successions from Italy and Switzerland serving as sedimentary archives are studied by means of lithological investigations, by C-isotope and C-content as well as palynological and palynofacies analyses.

In the Cismon core (N-Italy) pre-OAE1a $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ values decrease over an interval of ~80 kiloyears (ka) from ~-2.8‰ to 1.46‰, while $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ decrease from ~-26.4‰ to ~-29‰. This leads to an increase in the $\Delta\delta$ (difference between $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ and $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$) from ~-29.2‰ to ~-30.4‰. Since terrestrial and marine biomarkers all feature a distinct decrease in $\delta^{13}\text{C}$, the bulk $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ decrease does not seem to reflect a change in the relative contribution of marine versus terrestrial organic matter but rather a significant increase in fractionation between the carbonate and organic carbon as a result of a major volcanically induced increase in $p\text{CO}_2$. A possible additional input of isotopically very negative C from the dissociation of methane gas hydrates may have further amplified the isotopic signal, but was not the cause of the negative C-isotope spike. An increase in $p\text{CO}_2$ at the very beginning of OAE1a is also corroborated by the changing sporomorph assemblages. They feature an increase in the xerophytic and thermophile *Classopollis* spp. and *Araucariacites* spp. combined with decreasing bisaccate pollen percentages. This indicates a long-term temperature rise from several tens of kiloyears before to ~100 ka after the end of the negative C-isotope spike/onset of OAE1a. Evidence for coeval maximum temperatures and aridity suggest a northward shift of the hot-arid Northern Gondwana floral Province probably also due to increasing $p\text{CO}_2$. Likewise, decreasing bulk CaCO_3 percentages in the deepest basins starting ~80-60 ka before the end of the negative C-isotope spike and a coeval drop in nannoconid abundance suggest that the postulated increase in $p\text{CO}_2$ also affected ocean chemistry. The

early onset of OAE1a black shales several tens of kiloyears before anoxic conditions were reached on a global scale indicates that the Western Tethys Ocean was more restricted than the Atlantic and Pacific Oceans. Moreover, the volcanically induced long-term climate changes appear to have stimulated marine productivity, which was accompanied by an extension of the oxygen minimum zone, and hence, it had the strongest impact on sections at intermediate depth. After the end of the negative C-isotope spike $\delta^{13}\text{C}$ values increased over ~ 235 ka to pre-C-cycle perturbation values. This recovery is attributed to burial of isotopically light organic carbon in the black shales of OAE1a. However, sporomorph data, $\delta^{18}\text{O}$ values and nannoconid abundances suggest that a significant drawdown of $\text{CO}_{2\text{atm}}$ and a southward shift of the Northern Gondwana floral Province occurred only after ~ 200 ka, when organic carbon burial was combined with a reduction in volcanic outgassing and probably also increased continental weathering. Release of a significant amount of methane gas hydrates during the first >200 ka of OAE1a is considered unlikely, as this is incompatible with the observed C-isotope recovery.

In the Upper Hauterivian-Lower Aptian successions several distinct changes in sedimentation rates and the occurrence of frequent and partly long-lasting hiatuses suggest important changes in the oceanic current regime. Several negative excursions in the $\delta^{18}\text{O}$ values indicate repeated warming pulses that – often via an increased water stratification – appear to be linked to black shale deposits. These palaeoenvironmental changes are attributed to increasing $p\text{CO}_2$ levels that seem at least partially related to a Late Hauterivian-Early Barremian onset of Ontong Java volcanism.

Zusammenfassung

Die globale Kohlenstoffisotopenkurve der frühen und mittleren Kreidezeit ist durch mehrere bedeutende positive Exkursionen gekennzeichnet. Diese werden üblicherweise mit Störungen des globalen Kohlenstoffkreislaufs in Verbindung gebracht, welche eine Folge vulkanischer Eruptionen sind. Die bedeutendste Exkursion im Aptian wurde auf den Ontong Java Vulkanismus zurückgeführt. Ihr geht eine kurze markant negative Kohlenstoffisotopenexkursion voraus, welche mit einer Zufuhr von isotopisch negativem Kohlenstoff erklärt wurde, der entweder marinem Vulkanismus oder schmelzenden Methanhydraten entstammt. Am Ende der markanten negativen Kohlenstoffisotopenexkursion beginnt ein erneuter Anstieg der $\delta^{13}\text{C}$ Werte. Gleichzeitig beginnt auch die Ablagerung der organisch-reichen Schichten des OAE1a Horizonts (Oceanic Anoxic Event 1a), welche auf weitverbreitete anoxische Bedingungen in den tiefen Becken hindeuten. Diese Änderung im pelagischen Bereich deckt sich mit einer Biokalzifizierungskrise auf den Karbonatschelfen und Karbonatplattformen und bezeugt, dass die Störung des Kohlenstoffkreislaufs im Frühen Aptian massive Auswirkungen auf das marine Milieu hatte.

Ziel dieser Arbeit ist es, die Ursachen und Konsequenzen der lang- und kurzfristigen ozeanographischen und paläoklimatischen Veränderungen vor dem OAE1a im Frühen Aptian zu ermitteln. Schwerpunkte sind dabei a) der Abschnitt um die markante negative Kohlenstoffisotopenexkursion im Frühen Aptian und b) die langfristige Entwicklung von Klima und Ozeanographie vom Hauterivian bis ins Frühe Aptian. Abfolgen aus dem Oberen Hauterivian-Unteren Aptian der Tethys (Italien und Schweiz) fungieren als Archive und werden mit Hilfe von Lithologie, Kohlenstoffisotopen und Kohlenstoffgehalt als auch mit palynologischen und palynofaziellen Analysen untersucht.

Die $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ Werte im Cismon Bohrkern (Norditalien) sinken vor dem OAE1a über einen Zeitraum von $\sim 80'000$ Jahren von $\sim 2.8\text{‰}$ auf 1.46‰ , während die $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ Werte von $\sim -26.4\text{‰}$ auf $\sim -29\text{‰}$ abnehmen. Dies führt zu einer Zunahme im $\Delta\delta$ (Differenz zwischen $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ und $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$) von $\sim 29.2\text{‰}$ auf $\sim 30.4\text{‰}$. Da sowohl terrestrische als auch marine Biomarker eine deutliche Abnahme im $\delta^{13}\text{C}$ manifestieren, scheint es, dass das $\delta^{13}\text{C}$ des gesamten organischen Materials nicht eine Änderung der relativen Zusammensetzung aus mariner und terrestrischer organischer Materie widerspiegelt, sondern auf eine signifikante Zunahme in der Fraktionierung zwischen Karbonaten und organischem Kohlenstoff zurückzuführen ist. Diese Fraktionierung wird als Folge vulkanischer Aktivität interpretiert, die zu einer Erhöhung des CO_2 Partialdruckes führte. Das Isotopensignal der negativen Kohlenstoffisotopenexkursion wurde möglicherweise durch einen zusätzlichen Input von isotopisch sehr negativem Kohlenstoff aus Methangashydraten verstärkt. Eine Destabilisierung von Klathraten war jedoch nicht der Auslöser für die markante Abnahme der $\delta^{13}\text{C}$ Werte. Eine Zunahme im $p\text{CO}_2$ zu

Beginn des OAE1a wird auch durch die Veränderungen in den Vergesellschaftungen von Sporomorphen angedeutet. Sie zeigen eine Zunahme der xerophytischen und thermophilen Gruppen *Classopollis* spp. und *Araucariacites* spp., die mit einer Abnahme der bisaccaten Pollen einhergeht. Dies deutet auf eine langfristige Temperaturzunahme hin, welche von mehreren zehntausend Jahren vor bis ~100'000 Jahren nach Ende der negativen Kohlenstoffisotopenexkursion/dem Beginn des OAE1a andauerte. Hinweise für die Kombination von hohen Temperaturen und maximaler Trockenheit weisen auf eine Verschiebung der heiss-trockenen Nord-Gondwana-Florenprovinz in nördlicher Richtung hin, was wahrscheinlich ebenfalls eine Folge einer $p\text{CO}_2$ Zunahme ist. Eine Abnahme des Karbonatgehalts in den tiefsten Becken, welche ~80'000-60'000 Jahre vor dem Ende der negativen Kohlenstoffisotopenexkursion begann, und ein gleichzeitiger quantitativer Rückgang von Nannoconiden deuten darauf hin, dass der postulierte Anstieg des $p\text{CO}_2$ auch die Ozeanchemie beeinflusste. Der frühe Beginn der OAE1a Schwarzschiefer – mehrere zehntausend Jahre bevor weltweit anoxische Bedingungen erreicht wurden – weist darauf hin, dass in der westlichen Tethys im Vergleich zum Atlantischen und Pazifischen Ozean restriktivere Zirkulationsbedingungen herrschten. Zudem scheinen die durch Vulkanismus bedingten langfristigen Klimaänderungen die marine Produktivität angeregt zu haben, was mit einer Ausdehnung der Sauerstoff-Minimum-Zone einherging und so die Sedimentabfolgen in mittleren Tiefen am Stärksten beeinflusste. Nach dem Ende der negativen C-Isotopenexkursion stiegen die $\delta^{13}\text{C}$ Werte während ~235'000 Jahren auf ein Niveau an, das demjenigen vor der Kohlenstoffkreislaufstörung entspricht. Diese Retablierung der ursprünglichen $\delta^{13}\text{C}$ Werte wird der Ablagerung von isotopisch leichtem organischen Kohlenstoff in den Schwarzschiefern des OAE1a zugeschrieben. Die quantitative Verteilung der Sporomorphen und der Nannoconiden sowie die $\delta^{18}\text{O}$ Werte legen nahe, dass eine signifikante Absenkung des $p\text{CO}_{2\text{atm}}$ und eine Verschiebung der Nord-Gondwana-Florenprovinz in südlicher Richtung erst nach ~200'000 Jahren stattfand, als die Ablagerung von organischem Kohlenstoff mit einer Reduktion vulkanischer Aktivität und wahrscheinlich auch stärkerer kontinentaler Verwitterung einherging. Wir erachten es als unwahrscheinlich, dass während der ersten >200'000 Jahre des OAE1a eine signifikante Menge an Methangashydraten freigesetzt wurde, da dies mit dem erneuten $\delta^{13}\text{C}$ Anstieg unvereinbar ist.

In den Abfolgen des Oberen Hauterivians-Unteren Aptians weisen mehrere ausgeprägte Änderungen der Sedimentationsraten und das Vorkommen von häufigen und z.T. langanhaltenden Schichtlücken auf wesentliche Änderungen im ozeanischen Strömungssystem hin. Zudem deuten verschiedene negative Exkursionen in der Sauerstoffisotopenkurve auf wiederholte Warmphasen hin, welche – oft durch eine verstärkte Stratifizierung der ozeanischen Wassermassen – mit Schwarzschieferablagerungen in Verbindung zu stehen scheinen. Diese paläoökologischen Änderungen werden auf einen zunehmenden CO_2 Partialdruck zurückgeführt, welcher zumindest teilweise mit der Aktivität des Ontong Java Vulkanismus im Späten Hauterivian-Frühen Barremian in Verbindung steht.

Résumé

La courbe des isotopes du carbone du Crétacé précoce à moyen est caractérisée par plusieurs excursions positives de forte amplitude. Celles-ci sont en général associées à des perturbations globales du cycle du carbone à la suite d'éruptions volcaniques. L'excursion la plus importante de l'Aptien a été attribuée au volcanisme d'Ontong Java. Elle est précédée par une courte excursion négative prononcée des isotopes du carbone qui a été associée à un apport de carbone isotopiquement négatif provenant soit de volcanisme marin soit de la dissociation d'hydrates de méthane. A la fin de l'excursion négative prononcée des isotopes du carbone, qui correspond au début d'une nouvelle hausse en $\delta^{13}\text{C}$, les dépôts riches en matière organique de l'OAE1a reflètent l'installation de conditions anoxiques dans les bassins profonds. Cette modification du domaine pélagique coïncide avec d'importantes crises de la biocalcification sur les rampes et les plate-formes carbonatées. Cela atteste de l'impact majeur des perturbations du cycle du carbone sur l'environnement marin au cours de l'Aptien précoce.

Les objectifs principaux de cette thèse sont de déterminer les causes et les conséquences des préludes de long et court termes de l'OAE1a de l'Aptien précoce. L'accent est mis a) sur l'intervalle d'excursion isotopique négative du carbone de l'Aptien précoce et b) sur l'évolution climatique et océanographique à long terme du Barrémien à l'Aptien précoce. Des sections sédimentaires téthysiennes de l'Hauterivien supérieur à l'Aptien inférieur d'Italie et de Suisse sont utilisées comme archives sédimentaires et sont étudiées par des outils d'analyses : lithologique, isotopique du carbone, de la teneur en carbone, des palynomorphes et des palynofaciès.

Dans la carotte sédimentaire de Cismon (Italie du Nord), les valeurs de $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ pré-OAE1a diminuent de $\sim 2.8\text{‰}$ à 1.46‰ pendant un intervalle d'environ 80'000 ans (80 ka), tandis que le $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ diminue de $\sim 26.4\text{‰}$ à $\sim 29\text{‰}$. Cela entraîne une augmentation du $\Delta\delta$ (différence entre le $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ et le $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$) de $\sim 29.2\text{‰}$ à $\sim 30.4\text{‰}$. Puisque l'ensemble des biomarqueurs terrestres et marins montrent une décroissance importante du $\delta^{13}\text{C}$, la diminution du $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ total ne semble pas refléter un changement dans la contribution relative de la matière organique marine versus terrestre, mais plutôt une croissance prononcée du fractionnement entre le carbonate et le carbone organique. Ce fractionnement est interprété comme conséquence d'une augmentation de la pression partielle du CO_2 ($p\text{CO}_2$) induite par une activité volcanique majeure. Il est possible qu'un apport supplémentaire de carbone isotopiquement très négatif issu d'une dissociation d'hydrates de méthane ait amplifié le signal isotopique, mais il ne constitue pas la principale cause de l'excursion négative du carbone. Au tout début du OAE1a, un accroissement de $p\text{CO}_2$ est également corroboré par un changement des assemblages sporomorphes. Ils montrent une augmentation des xérophytiques et thermophiles *Classopollis* spp. et *Araucariacites* spp. combinée à une diminution du pourcentage de pollens

bisaccates. Cela indique une élévation à long terme de la température à partir de plusieurs dizaines de kilo années avant la fin de l'excursion négative des isotopes du carbone/début du OAE1a jusqu'à environ 100 ka après la fin de l'excursion négative des isotopes du carbone/début du OAE1a. Des évidences de températures et d'aridité maximales suggèrent un déplacement vers le Nord de la Province florale chaude-aride du Gondwana septentrional autre conséquence probable d'une augmentation de $p\text{CO}_2$. De la même façon, une diminution du pourcentage de CaCO_3 total dans les bassins les plus profonds à partir de ~80-60 ka avant la fin de l'excursion isotopique négative et une baisse simultanée de l'abondance des nannoconides indiquent que l'augmentation supposée de $p\text{CO}_2$ à également affecté la chimie océanique. L'installation précoce de schistes noirs du OAE1a, plusieurs dizaines de kilo années avant que des conditions anoxiques soient atteintes à l'échelle globale, indique que la Téthys occidentale était plus restreinte que les océans Atlantique et Pacifique. En outre, les changements climatiques à long terme induits par volcanisme semblent avoir stimulé la productivité marine, qui était accompagnée d'une extension de la zone d'oxygène minimum, et a ainsi eu l'impact le plus important sur les sections de profondeurs intermédiaires. Après la fin de l'excursion négative des isotopes du carbone, les valeurs $\delta^{13}\text{C}$ ont augmenté pendant plus de 235 ka jusqu'à atteindre des valeurs similaires à celles précédant la perturbation du cycle du carbone. Ce rétablissement est attribué à l'enfouissement de carbone organique isotopiquement léger dans les schistes noirs du OAE1a. Toutefois, la répartition quantitative des sporomorphes et des nannoconides, ainsi que les valeurs $\delta^{18}\text{O}$, indiquent qu'un abaissement prononcé du $\text{CO}_{2\text{atm}}$ et un déplacement vers le Sud de la Province florale du Gondwana septentrional ont eu lieu seulement après ~200 ka, lorsque l'enfouissement du carbone organique était combiné à une réduction du dégazage volcanique et probablement aussi à une altération continentale accrue. La libération d'une quantité importante d'hydrates de méthane pendant les premières >200 ka de l'OAE1a est considérée comme invraisemblable car incompatible avec l'augmentation observée pour les isotopes du carbone.

Dans les sections sédimentaires de l'Hauterivien supérieur à l'Aptien inférieur, plusieurs changements prononcés des taux de sédimentation, ainsi que des hiatus fréquents et en partie de longue durée, suggèrent des changements importants dans le régime des courants océaniques. Plusieurs excursions négatives des valeurs de $\delta^{18}\text{O}$ indiquent des épisodes de réchauffement répétés qui – souvent par une stratification océanique accrue – semblent être liés à des dépôts de schistes noirs. Ces changements paléoenvironnementaux sont attribués à des niveaux de $p\text{CO}_2$ croissants qui semblent, au moins partiellement, en relation avec le commencement du volcanisme d'Ontong Java pendant le Hauterivien tardif et le Barrémien précoce.

Riassunto

Il record isotopico del carbonio del Cretaceo inferiore-medio è caratterizzato da diverse escursioni positive di grande ampiezza, generalmente associate a perturbazioni del ciclo del carbonio indotte da un'intensa attività vulcanica. La maggiore di queste escursioni nell'Aptiano è stata attribuita al vulcanismo della provincia magmatica dell'Ontong Java. Questa escursione è preceduta da un breve *spike* negativo nel record isotopico del carbonio che viene collegato all'aggiunta di carbonio leggero tramite vulcanismo marino, oppure per dissociazione di composti idrati di metano. Al termine dello *spike* negativo, che corrisponde all'inizio del nuovo aumento del $\delta^{13}\text{C}$, i depositi ricchi in carbonio organico caratteristici dell'evento anossico oceanico 1a (OAE 1a) testimoniano l'inizio di diffuse condizioni anossiche nei bacini di mare profondo. Questo cambiamento nel dominio pelagico coincide con estese crisi di biocalcificazione nelle piattaforme carbonatiche e continentali, indicando che la perturbazione del ciclo del carbonio nell'Aptiano inferiore ebbe un grande impatto sull'ambiente marino.

I principali obiettivi di questa tesi sono di determinare le cause e le conseguenze degli avvenimenti a breve e lungo periodo che precludono all'OAE 1a nell'Aptiano inferiore. Particolare attenzione è data a: a) l'intervallo dello *spike* negativo nell'Aptiano inferiore, b) l'evoluzione climatico - oceanografica sul lungo periodo tra il Barremiano e l'Aptiano inferiore. L'intervallo dal Hauteriviano superiore all'Aptiano inferiore viene studiato in varie successioni tetidee attraverso le analisi litologiche, degli isotopi e del contenuto di carbonio, dei palinomorfi e delle palinofacies.

Nella carota del Cismon (N Italia) i valori di $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ precedenti l'OAE 1a decrescono su un intervallo di 80 mila anni (ka) da 2.8‰ a 1.6‰, mentre il $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ decresce da -26.4‰ a -29.0‰. Questo porta ad un aumento del $\Delta\delta$ (differenza tra $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ e $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$) da 29.2‰ a 30.4‰. Poiché tutti i biomarker, sia marini che terrestri, mostrano una diminuzione del $\delta^{13}\text{C}$, la decrescita del $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ complessivo non sembra riflettere un cambiamento del contributo della materia organica marina rispetto a quella terrestre; questa rappresenta piuttosto un sostanziale aumento del frazionamento tra il carbonio del carbonato e il carbonio organico, risultante dal notevole aumento di $p\text{CO}_2$ tramite vulcanismo. Un'ulteriore aggiunta di C con composizione isotopica molto negativa, proveniente dalla dissociazione di gas idrati di metano, può avere amplificato il segnale isotopico, ma non fu la prima causa dello *spike* negativo dell'isotopo del carbonio. Un aumento di $p\text{CO}_2$ proprio all'inizio dell'OAE 1a è corroborato anche dal cambiamento delle associazioni di spore e pollini. Esse mostrano un aumento delle specie xerofite e termofile *Classopollis* spp. e *Araucariacites* spp. combinato con la diminuzione delle percentuali di pollini bisaccati. Ciò indica un aumento di temperatura che inizia varie decine di migliaia di anni prima e termina 100ka dopo la fine dello *spike* negativo del $\delta^{13}\text{C}$ / l'inizio dell'OAE 1a. L'evidenza di massimi di temperatura e aridità in contemporanea suggerisce uno

spostamento verso nord della provincia floristica caldo-arida del Gondwana Settentrionale, probabilmente anch'esso dovuto all'aumento di $p\text{CO}_2$. Analogamente, a partire da 80-60ka prima della fine dello spike negativo del $\delta^{13}\text{C}$, la diminuzione del CaCO_3 nei bacini più profondi ed il contemporaneo calo dell'abbondanza dei nannoconidi suggeriscono che il supposto aumento di $p\text{CO}_2$ influenzò anche il chimismo dell'oceano. Il fatto che i black shales relativi all'OAE 1a iniziarono a deporsi nella Tetide occidentale varie decine di migliaia di anni prima del raggiungimento delle condizioni anossiche a scala globale, indica che questo bacino oceanico era più ristretto rispetto agli oceani Atlantico e Pacifico. Inoltre, sembra che i cambiamenti climatici di lungo periodo causati dal vulcanismo abbiano stimolato la produttività marina, con conseguente aumento della zona di minimo dell'ossigeno, e quindi con un impatto più evidente in sezioni di profondità intermedia. Dopo la fine dello spike negativo, il $\delta^{13}\text{C}$ aumentò nuovamente per 235ka, fino a raggiungere i valori precedenti alla perturbazione. La causa di questo recupero è attribuita all'accumulo di carbonio organico nei black shales durante l'OAE 1a. Tuttavia, i dati palinologici, i valori del $\delta^{18}\text{O}$ e le abbondanze dei nannoconidi suggeriscono che una significativa diminuzione di CO_2 in atmosfera ed uno spostamento verso sud della provincia floristica del Gondwana Settentrionale avvennero solo dopo altri 200ka, quando l'accumulo di carbonio organico fu combinato ad una riduzione del rilascio di gas vulcanici e probabilmente anche ad un aumento dell'alterazione sul continente. Il rilascio di una sostanziale quantità di metano durante i primi >200ka dell'OAE 1a è considerato improbabile in quanto incompatibile con la ricrescita del $\delta^{13}\text{C}$ osservata.

Nelle successioni tra lo Hauteriviano superiore e l'Aptiano inferiore, variazioni del tasso di sedimentazione e la comparsa di lacune frequenti e di media durata suggeriscono importanti cambiamenti del regime delle correnti oceaniche. Varie escursioni negative del $\delta^{18}\text{O}$ indicano ripetuti episodi di riscaldamento che, spesso tramite una maggiore stratificazione della colonna d'acqua, sembrano legati alla deposizione di black shales. Questi cambiamenti paleoambientali vengono attribuiti ad un aumento dei livelli di $p\text{CO}_2$, i quali sembrano, almeno in parte, legati all'attività vulcanica dell'Ontong Java nel Hauteriviano superiore-Barremiano inferiore.