

IV/ Reconstituer les paléoclimats

1) L'exemple de la Terre « boule de neige » au Cryogénien

Le Cryogénien, période s'étalant de -850 à -630 Ma (Millions d'années), est marqué par un épisode climatique froid mondial. Diverses observations laissent envisager une Terre entièrement couverte de glace et de ce fait surnommée «Terre boule de neige». Les calottes glaciaires auraient atteint l'équateur.

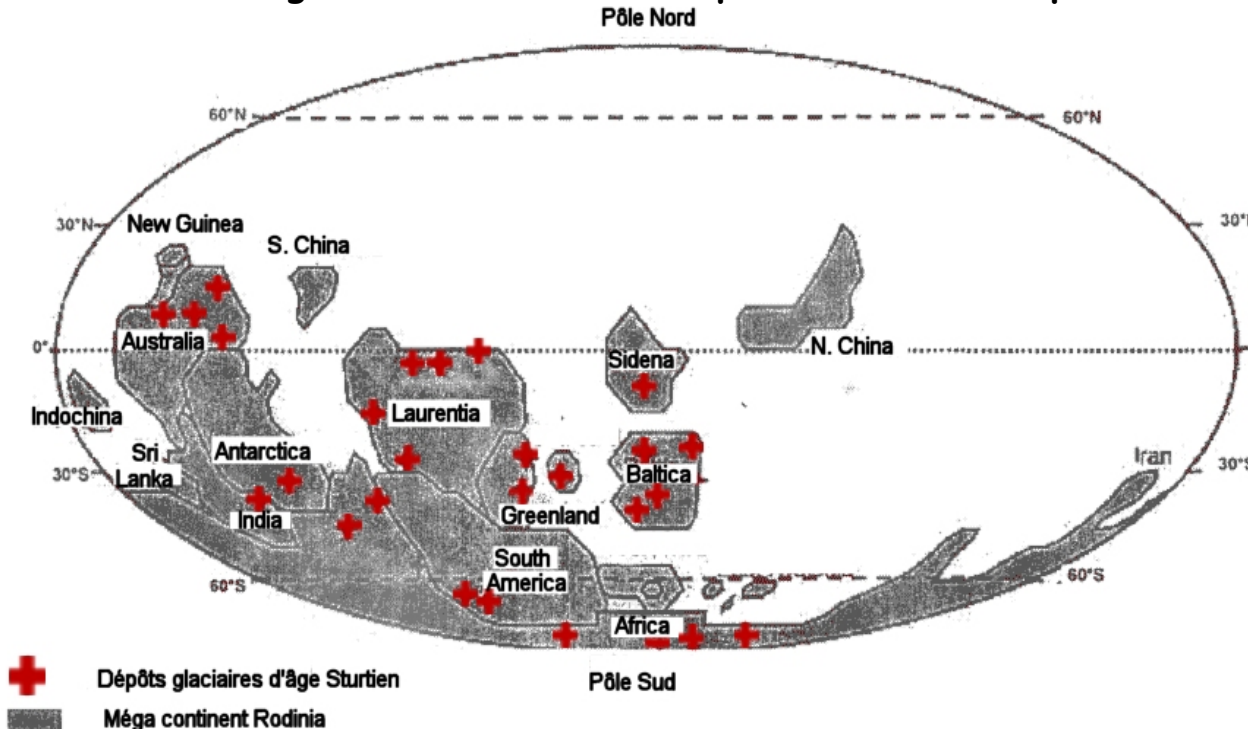
À partir de l'exploitation des documents, précisez les processus qui aboutissent au scénario d'un englacement total de la Terre au Cryogénien. En conclusion, vous proposerez un scénario de sortie de cet englacement et ses conséquences sur la biosphère.

Document 1 :

Localisation des traces glaciaires sur le méga-continent Rodinia au Sturtien

Le Sturtien est le premier étage du Cryogénien, système de l'éon Protérozoïque ; il s'étend de 850 à 650 millions d'années avant le présent.

La dislocation du mégacontinent Rodinia à la fin du Sturtien s'accompagne d'activités géologiques, notamment volcaniques, très intenses.



Document 2 : Altération des basaltes

Doc 2a : Il y a près de 800 Ma, l'immense continent Rodinia, porteur de grandes surfaces basaltiques (= trapps), se démantèle en de petites masses continentales se dispersant le long de l'équateur.

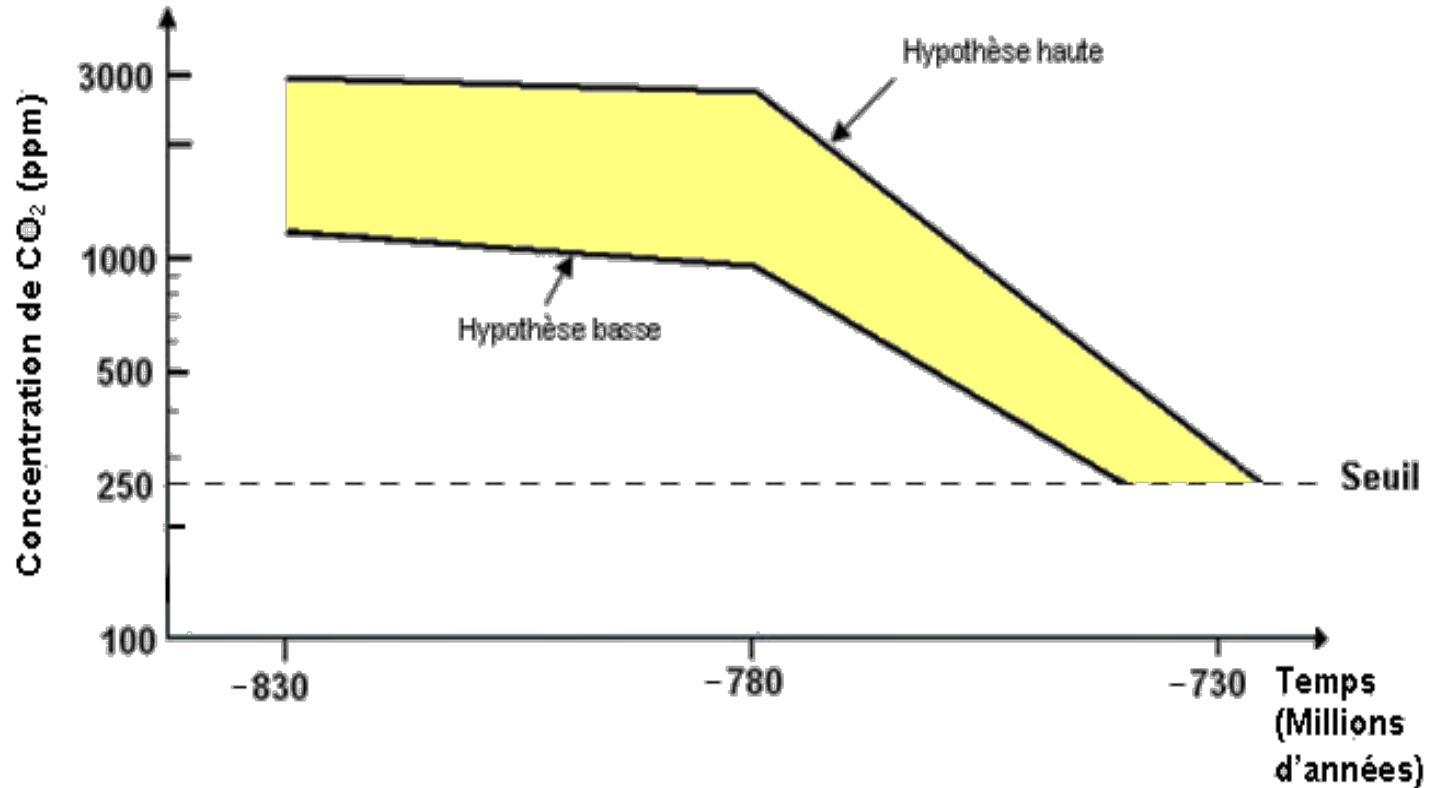
Cet événement s'est accompagné de l'ouverture d'océans et de bras de mer créant de nouvelles sources d'humidité et donc de pluies sur les continents. Ces abondantes précipitations ont fortement accéléré l'altération des surfaces basaltiques continentales. Or, quand elles s'érodent sous l'effet de l'humidité, les surfaces basaltiques consomment huit fois plus de CO_2 qu'une même surface granitique.

D'après le modèle GEOCLIM du site <http://www.insu.cnrs.fr>

Doc 2b : Un exemple d'équation d'un mécanisme géochimique d'altération d'un pyroxène calcique présent dans un basalte



Document 3 : Simulation de l'évolution de la concentration en CO_2 atmosphérique entre -830 et -730 millions d'années



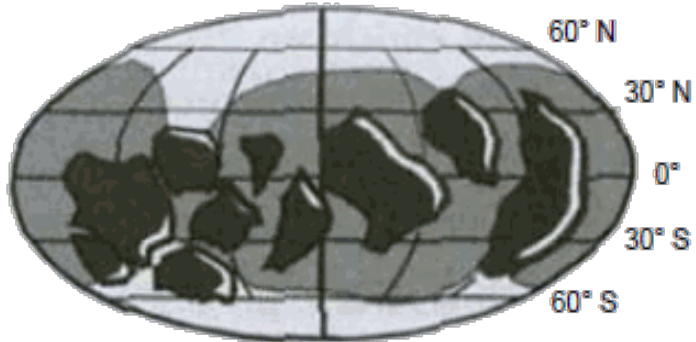
La valeur seuil indique la concentration de CO_2 requise pour générer une glaciation mondiale.

D'après le modèle GEOCLIM du site <http://www.insu.cnrs.fr>

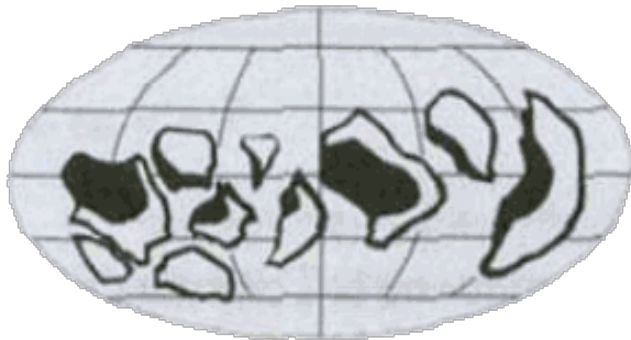
Document 4 : Développement des calottes polaires et albédo

Document 4a : Simulation de l'extension des calottes polaires au cours du Cryogénien

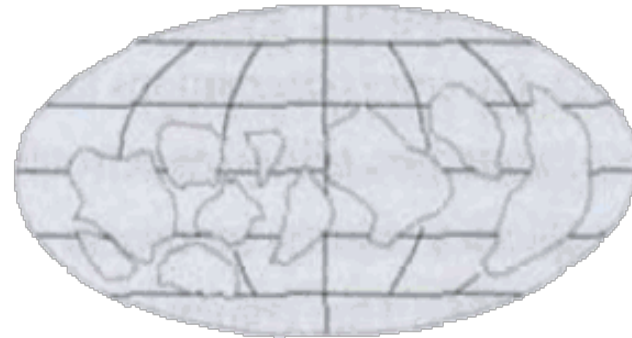
1. Englacement amorcé (vers -740 Ma)



2. Englacement amplifié



3. Englacement total (vers -730 Ma)



*Scénario retenu par Hoffmann,
auteur de la « Terre boule de neige »*

Remarque : lorsque les calottes polaires atteignent 30° de latitude (autour des Tropiques), l'englacement est inévitable.

D'après Mikhail Budyko

Document 4b : Variation de l'albédo terrestre en fonction de la nature de la surface

Surfaces	Albédo (%)
Neige Fraîche	95
Glace	60
Mer	40
Sol sombre	15

L'albédo se définit par le rapport de l'énergie solaire réfléchi par une surface sur l'énergie solaire incidente. Il correspond donc à la fraction de l'énergie solaire qui est réfléchi vers l'espace. Plus une surface est réfléchissante, plus son albédo est élevé. Actuellement, l'albédo terrestre est estimé en moyenne à 30 %.

D'après « Les climats passés de la Terre », Monica Rotaru, Jérôme Gaillardet, Michel Steinberg, Jean Trichet.

Document 5 : Un scénario hypothétique

Au cours du Cryogénien, les températures auraient été aussi basses que -50°C . Tous les continents auraient été couverts de glace, ainsi qu'une grande partie des océans jusqu'à des profondeurs atteignant plusieurs centaines de mètres. Les calottes glaciaires se seraient étendues jusqu'à l'équateur. Il y aurait eu à cette époque une diminution de la productivité organique océanique liée à une diminution de la photosynthèse pendant plusieurs millions d'années et une baisse significative de l' O_2 atmosphérique. Les aires de vie auraient été réduites de façon très importante. En fait, le seul refuge possible pour la Vie aurait été le fond des océans. La glaciation aurait causé un arrêt de l'érosion par les eaux de ruissellement.

Avec le temps, le dégazage des volcans aurait progressivement créé un renversement de situation. Le CO_2 des volcans se serait accumulé dans l'atmosphère, créant un effet de serre et une augmentation des températures suffisants pour fondre les glaces. Ce réchauffement soudain aurait entraîné de volumineux dépôts de calcaires (CaCO_3) qu'on observe généralement recouvrant les dépôts glaciaires. Certains proposent que cette période de grand stress écologique aurait eu une influence sur l'explosion de la diversité et l'apparition de la Vie métazoaire (animaux pluricellulaires) qui s'est faite immédiatement après la glaciation.

Durant la période glaciaire, les mutations auraient été favorisées à cause entre autres des isolements géographiques et de la sélection naturelle. C'est en effet immédiatement après cette glaciation qu'est apparue la faune d'Ediacara (Australie) et les premiers métazoaires.

Cette hypothèse de la terre boule de neige, utilisant des observations et des données concrètes, a eu et continue d'avoir pour conséquence d'initier une recherche fructueuse qui permet de mieux comprendre le système Terre.

D'après <http://www2.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/s3/boule.neige.html>

Méga-continent Rodinia



800 Ma Sturtien : dislocat° Rodinia



↑ altérat° basaltés



↓ CO₂ atm jusqu'à atteindre valeur seuil de glaciatioⁿ mondiale



↓ effet de serre



↓ T°

Englacement de + en + important

↑ albédo

rétroaction positive =
emballement du système

+++

Englacement
total =
Terre
« Boule de
neige »

Le schéma bilan fonctionnel permet de comprendre les mécanismes à l'origine de l'englacement total de la Terre.

La sortie de cet englacement a été induit par un volcanisme important qui a produit une grande quantité de CO₂. Ce gaz a entraîné un effet de serre qui a permis le réchauffement et la fonte des glaces.

Il a aussi été à l'origine du développement de la vie en donnant des conditions favorables à l'émergence de nombreuses espèces.

Schéma bilan fonctionnel expliquant la Terre « boule de neige » au Cryogénien