Eléments de cour de Géologie : les illustrations et les commentaires seront examinés pendant les séances de cours

Chapitre 7

HISTOIRE DE LA TERRE

PREMIER EPISODE : LE PRECAMBRIEN

C'est la période géologique la plus grande; elle représente près de 80 % de l'histoire de la Terre. Actuellement, les roches précambriennes sont concentrées dans des zones constituées de parties plus anciennes de la croûte terrestre appelées *cratons*. Ces derniers affleurent dans différents endroits du globe terrestre qu'on appelle « boucliers » (fig.1).

Le Précambrien est subdivisé en trois unités chronologiques appelées Eons :

- Le *Hadéen* qui n'a pas de témoins stratigraphiques,
- L'*Archéen* caractérisé par les roches les plus primitives de la Terre,
- Le *Protérozoïque* marqué par de nombreux événements géologiques et biologiques.

NB : Les grands événements du Précambrien sont résumés dans le tableau ci-joint.

1. - LE HADEEN : - 4 600 Ma - 4 000 Ma

1.1 - Pluie d'objets cosmiques

Le début de l'éon hadéen correspond à la formation de notre système solaire. Durant les premiers 100 Ma qui vont suivre, la Terre (et la Lune) va subir une pluie intense d'objets cosmiques : poussières, cailloux, astéroïdes et planétoïdes qui font augmenter sa masse, son volume et son attraction. Les vestiges de cet événement sont observés actuellement sur la surface lunaire qui n'a pas subi –contrairement à la Terre- de grands changements depuis cette époque.

1.2. - Augmentation de la température

Les impacts de tous ces objets cosmiques sur la surface de notre planète ont libéré des quantités considérables de chaleur qui a fendu la surface de la Terre jusqu'à une profondeur de plus de 400 km (fig.2).

Une autre source de chaleur provient de la désintégration progressive des éléments radioactifs emprisonnés dans les roches.

D'immenses volcans prennent naissance en crachant des torrents de laves et des panaches gigantesques de gaz et de vapeur d'eau.

La Terre était donc une immense boule de feu constituée de fleuves de lave et de plaines en fusion et elle était animée par de violentes explosions.

1.3 - Différenciation par gravité

Ce processus, déjà ébauché au moment de la formation de la Terre, se réactive après la formation de la Lune et poursuit durant tout le Hadéen, au fur et mesure de la diminution lente de la température.

~ les éléments les plus lourds comme le fer et le nickel se concentrent au centre pour former le noyau.

~ Les silicates plus légers se rassemblent autour du noyau en constituant le manteau

~ Les éléments volatiles, comme l'azote, l'hydrogène, l'eau, se dégagent à la périphérie en se mélangeant à d'autres constituant de l'atmosphère primitive

1.4 - Formation de la croûte primitive

Vers - 4000 MA, à la suite d'un refroidissement lent, la terre devient d'abord pâteuse, puis la couche superficielle durcit et résiste de mieux en mieux aux chocs. Elle se développe à partir du manteau supérieur sur quelques centaines de mètres d'épaisseur et contient des éléments légers de composition chimique proche de celle des météorites pierreuses (aérolithes).

On a obtenu un âge de 3.960 MA sur un gneiss canadien. Cela montre d'une part qu'une croûte continentale existait déjà et qu'il y avait aussi des agents géologiques externes pour l'éroder et donner des roches sédimentaires. On peut donc déduire que l'hydrosphère était déjà présente au Hadéen.

1.5 - Hydrosphère

La vapeur d'eau issue du dégazage du manteau et présente dans l'atmosphère primitive, finit par donner naissance, à la suite d'un abaissement important de la température, à un réseau hydrographique et à des bassins sédimentaires.

A cette époque l'hydrosphère primitive contenait des matières minérales très diversifiées avec une quantité très importante de CO_2 dissous (HCO_3) et de Fer. Ce dernier, issus des météorites, n'avait pas les conditions nécessaires pour migrer vers le noyau de la Terre. Il a été lessivé par le réseau hydrographique.

1.6 - Atmosphère primitive

La formation de l'atmosphère ne provient pas de la capture des gaz de la nébuleuse primitive. Les éléments atmosphériques sont issus du dégazage du manteau qui se poursuit actuellement à l'occasion des activités volcaniques. En effet, le rapport isotopique des gaz rares tel que l'argon a abouti à cette conclusion grâce aux valeurs suivantes :

- météorites : $^{40}Ar/^{36}Ar \rightarrow 10^{-2} - 10^{-4}$
- atmosphère : $^{40}Ar/^{36}Ar \rightarrow 296$
- volcans sous-marins : $^{40}Ar/^{36}Ar \rightarrow 20\ 000$

En effet, le rapport isotopique d'autres gaz rares, a permis de conclure que 80 à 85 % de l'atmosphère actuelle a été formé pendant le premier million d'années de la formation de la Terre, à partir du dégazage du manteau lors des activités volcaniques.

L'atmosphère primitive est anoxique; elle était composée de CO_2, d'azote, de l'eau et des traces de méthane, d'ammoniac, de SO_2, de HCl mais sans oxygène libre. Le CO_2 et le méthane ont induit un effet de serre. L'hydrogène et l'hélium, plus légers, ont été progressivement dispersés dans l'espace.

L'atmosphère primitive était le siège d'importants orages, accompagnés de pluies acides induites par le CO_2, le HCl et le SO_2 atmosphériques.

1.7 - Vie primitive

Sur les fonds marins peu profonds et sous l'action de diverses formes d'énergies, commence *la synthèse abiotique*, c'est à dire la transformation des matières minérales en premières molécules organiques (*molécules prébiotiques*) en formant une couche épaisse. Les interactions chimiques entre molécules ont permis l'apparition de nouvelles espèces moléculaires : acides aminés, oses, acides gras, d'autres molécules importantes comme les Thio esters, les bases puriques, puis certains nucléotides. Ainsi certains peptides ont pu se former par l'assemblage de quelques acides aminés entre eux en donnant naissance l'ARN.

Certains ARN se combinent entre eux, et forment ainsi un ARN plus long et donc des peptides plus longs, parmi lesquelles, certains apportent de nouvelles propriétés. Ainsi une enzyme permettant de fabriquer l'ADN a pu voir le jour.

A la fin de l'éon hadéen, dans les grandes profondeurs, la vie primitive aurait débuté par l'apparition des *Archéobactéries* qui sont des microorganismes anaérobiques vivants actuellement dans des conditions extrêmes (haute température et haute pression) près des sources thermales des dorsales océaniques.

2. – L'ARCHEEN : - 4.000 Ma – 2.500 Ma

2.2 – Production des continents

Au début la croûte primitive est encore très mobile en raison de forts courants de convection qui animent le manteau. Celle qu'on connaît actuellement commence, dès cette époque, à se former par des phénomènes d'accrétion verticale grâce à une activité magmatique intense d'une part et à l'accumulation de sédiments dans les bassins d'autre part. Ainsi commence la production des continents qui atteint plus de 30% au volume actuel des masses continentales.

Des phénomènes d'érosion et de sédimentation aboutissent à la formation de sédiments qui s'engagent, par la suite, dans un cycle orogénique; c'est-à-dire elles seront déformés (plissements et fractures polyphasés), métamorphisés et granitisés (mise en place des granites). Il en résulte la formation de chaînes de montagne parmi lesquelles on peut citer la chaîne de l'*orogénèse léonienne* et de *l'orogenèse libérienne* qui caractérise l'Afrique de l'Ouest.

A la fin du dernier cycle orogénique, les continents se sont consolidés en grandes plaques stables : les *cratons*. Ces derniers actuellement affleurent dans certaines parties du globe terrestre qu'on appelle *boucliers* ; ils sont recouverts en discordance angulaire par des sédiments plus récents, généralement paléozoïques, peu ou pas déformés.

2.3 – Apparition des stromatolites

Les cellules primitives anaérobiques des profondeurs finissent par atteindre la surface de l'eau et évoluent en cellules à chlorophylle : les *cyanophycées* (*= cyanobactéries*) qui réduisent la teneur en CO_2 et augmente celle de O_2 dans les eaux, en permettant un grand développement des *stromatolites*. Ces dernières, sont des constructions laminaires fossiles qui se sont bien développées pendant les éons archéen et protérozoïque. Elles sont caractérisées par une alternance de lits calcaires (claires) avec des lits calcaires sombres riches en matière organique (fig.2).

Actuellement, on observe des formations de structures semblables dans les milieux marins très salés ou très agités forment des dépôts calcaires. Le lit le plus récent est constitué d'un tapis de consistance gélatineuse, laminaire, composée d'un treillis de filaments bactériens dont plusieurs sont des *cyanobactéries*. Ce tapis bactériens agit de deux façons : il piège les particules sédimentaires entre ses filaments et il induit la cimentation carbonaté ($CaCO_3$) des particules sédimentaires, grâce à son activité photosynthétique qui, en consommant du CO_2, et en captant le Ca_{++}marin, favorise ainsi la précipitation du calcaire selon la réaction suivante: $Ca^{2+} + 2HCO_3^- <=> CO_2 + CaCO_3 + H_20$.

Les cyanobactéries possèdent de la chlorophylle ***a*** qui leur permet, en présence de lumière, de libérer l'oxygène selon la réaction suivante : $6CO_2 + 6H_20 => C_6H_{12}O_6 + 6O_2$

2.4 –Précipitation du Fer de l'hydrosphère

Vers 3800 Ma, l'oxygène, produit par les bactéries et les algues bleues, s'est d'abord accumulé dans les bassins sédimentaires où il a été fixé par des éléments oxydables comme le Fer.

La plus grande partie du Fer a ainsi précipité pendant l'Archéen. Ce phénomène s'est poursuivi au début du Protérozoïque (entre -2.500 Ma et -2.000 Ma) pour former les grands gisements de fer rubané du Précambrien qu'on connaît actuellement.

2.5 – Atmosphère

La planète s'est habillée peu à peu d'une atmosphère dense et épaisse mais avec une teneur en O_2 très faible. En effet certains sédiments d'Afrique du sud, datés de -2.700 Ma à -2.500 Ma,

sont riches en uraninite (U_3O_8) caractérisant ainsi un milieu sédimentaire deltaïque peu profond et très agité et qui est en équilibre avec l'atmosphère. Si cette dernière contenait de l'O_2, l'Uranite sera déstabilisée car elle est soluble dans l'oxygène.

3 . - LE PROTEROZOIQUE (-2.500 Ma à -542 Ma)

3.1 – Evolution géologique

Après l'établissement des premiers noyaux continentaux à l'Archéen, le volume de la croûte continentale a augmenté progressivement tout au long du Protérozoïque qui a une durée de près de 2.000 Ma. À la fin du Protérozoïque, le volume des masses continentales avait atteint celui que nous connaissons aujourd'hui. Cette évolution résulte d'un ensemble de phénomènes géologiques durant de plusieurs cycles orogéniques qui ont servi de base pour subdiviser le Protérozoïque en trois époques : le *Protérozoïque inférieur (Paléoprotérozoïque : -2.500 à -1600 Ma), le Protérozoïque moyen (Mésoprotérozoïque : -1600 à –900 Ma) et le Protérozoïque supérieur (Néoprotérozoïque : -900 à -542 Ma).*

Dans l'Anti-Atlas Marocain on a mis en évidence deux chaines orogéniques précambriennes:

- *l'orogenèse éburnéenne* caractérisée par d'anciens dépôts, suivis vers -1800 Ma, de déformations, de granitisations et de métamorphismes de haute pression pendant le protérozoïque inférieur,

- *l'orogénèse panafricaine* pendant le protérozoïque supérieur dont le maximum de déformation a été réalisé vers - 900 à -850 Ma.

Vers -2000 Ma et -850 à -650Ma, la planète a connu des glaciations générales qui a modifié le caractère sédimentaire.

Vers -750 Ma, les océans ont de nouveau tous fermés et la coûte continentale formait un supercontinent qu'on appelle le *Rodinia* (fig.4).

3.2 – Poursuite du dépôt de fer

Le fer rubané archéen, continue à se déposer jusqu'à sa disparition du milieu aquatique puis apparaissent d'autres minerais de fer différents appelés couches rouges continentales. Ces dernières résultent de l'oxydation du fer dans les sols des continents. La différence de milieu de formation a son importance car elle montre clairement qu'avant -2.000 Ma l'atmosphère est dépourvue de O_2.

3.3. – Atmosphère

Grâce à la photosynthèse les cyanobactéries se sont mises à puiser le dioxyde de carbone de l'atmosphère et à le remplacer par de l'oxygène. Ce dernier, sous forme de gaz, s'échappe du milieu aquatique pour enrichir l'atmosphère primitive.

En altitude, sous l'effet des éclairs et des rayonnements UV une partie d'O_2 est transformée en ozone (O_3) qui forme un écran protecteur aux UV. Ainsi à partir de -2.000 Ma, lorsque la concentration en O_2 était égale à 1 % de sa concentration actuelle, les UV ne pénétraient plus dans l'eau au delà de 30 cm. La vie n'est encore possible que dans l'eau.

Vers -1.500 Ma, l'oxygène, se change en ozone qui, progressivement, protégera la surface terrestre des rayons ultraviolets nocifs et permettra à la vie de s'installer sur les continents.

3.4. – Evolution des êtres vivants

Vers -800 Ma apparaissent les premiers métazoaires = invertébrés marins peu complexes, et sans test (sans coquille) représentés –entre autre - par des méduses alors que le taux d'O_2 = 5% du taux actuel.

C'est dans un dépôt en Australie (*Ediacara Hills* au Nord d'Adélaïde) daté de -670 à -570Ma qu'on a identifié les premiers métazoaires connus sous le nom de *faune d'Ediacara* (fig.5). Celle-ci

est représentée par des organismes à symétrie radiale ou bilatérale, sans structures squelettique, médusoïdes pélagiques et fixées, constitués de feuillets minces indiquant des échanges avec le milieu par diffusion ionique et gazeuse (sans la participation d'organes complexes).

A la fin du Précambrien, la vie se limite au milieu aquatique; elle est marquée par une très grande diversité d'espèces unicellulaires et pluricellulaires. La plupart des groupes actuels étaient présents à cette époque; d'autres ont disparues depuis, y compris la faune d'Ediacara qui s'est éteinte il y a environ -550 millions d'années. Il faut noter que les algues et les lichens, à cette époque, bordaient les océans.

Fig. 1 : Répartition des terrains précambriens dans notre planète

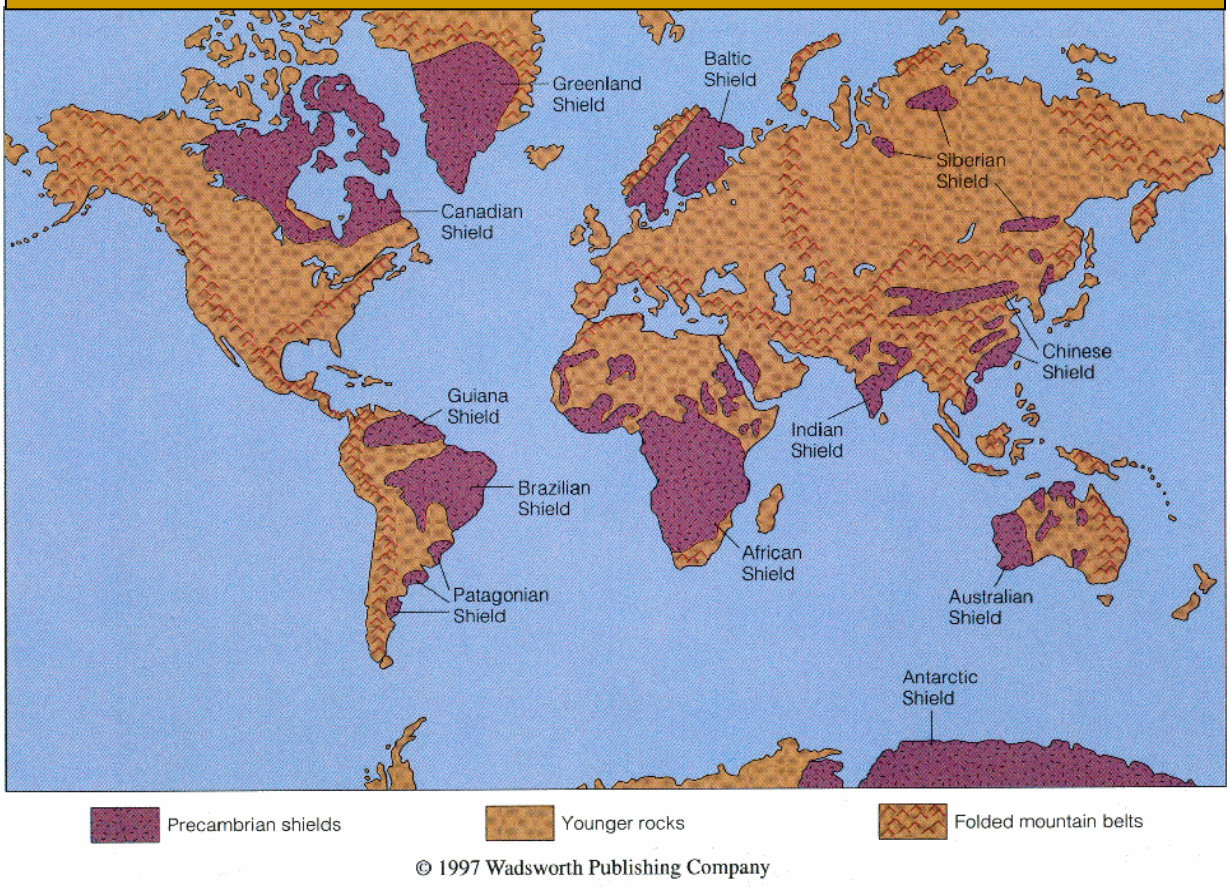
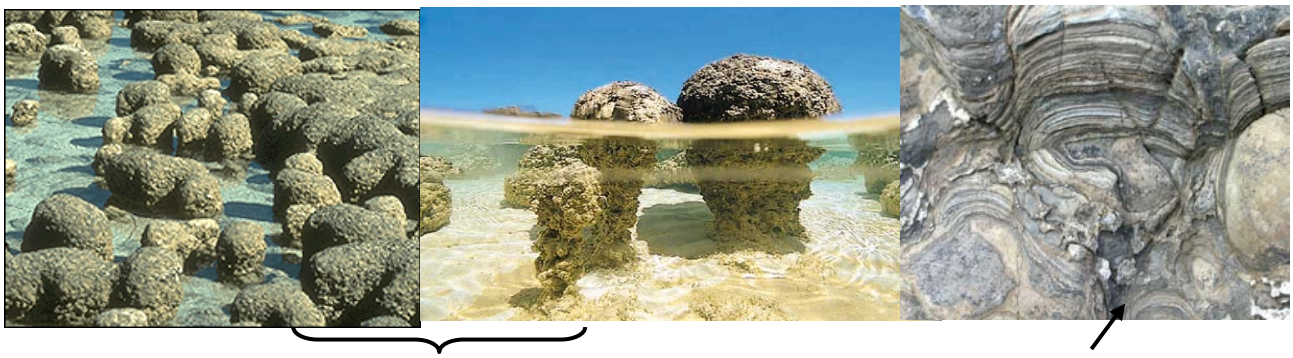


Fig. 2 : Les stromatolites



Constructions stromatolitiques actuelle en Australie

Stromatolites fossiles

Fig.3 : Récapitulatif des principaux événements du Précambrien

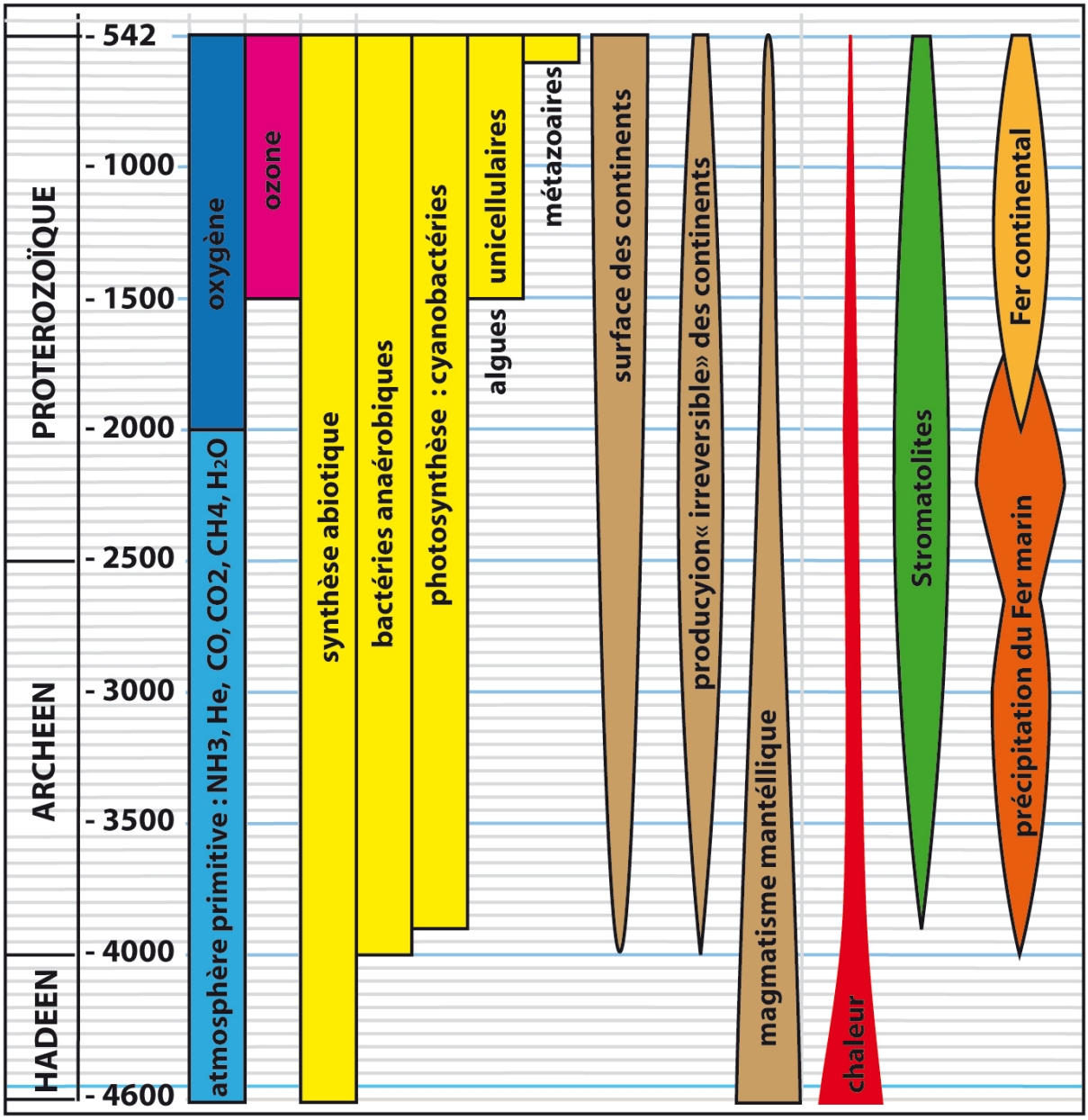
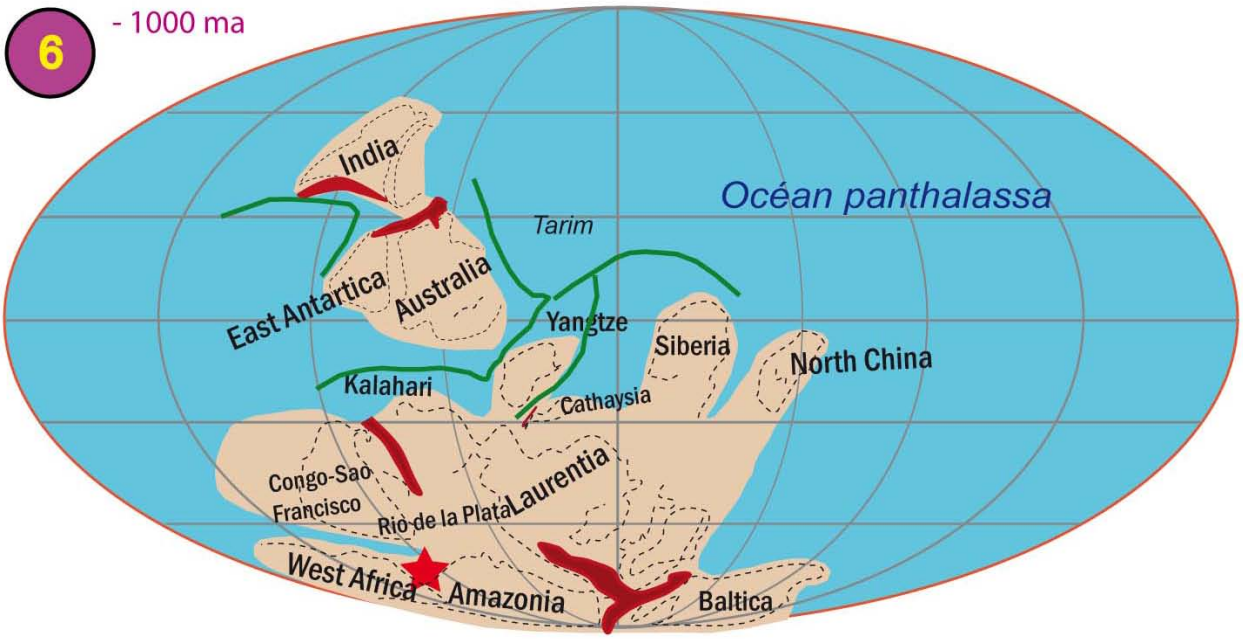


Fig. 4 : Début de la formation du supercontinent



Supercontinent : Rodinia

D'après les travaux de Z.X. L et al (2008), modifié

Fig.5 : Faune d'Ediacara