

LE HADEEN (4568 MA – 3800 MA)

Inspiré de l'exposé du géologue Hervé Martin sur l'époque hadéenne

INTRODUCTION: MA = million(s) d'année(s)

Plus ancienne roche connue: 4100MA environ (débat)

Plus ancien minéral connu: 4400MA environ

De 4568MA à 4400MA: Formation du système solaire, de la prototerre, océan magmatique et différenciation du noyau métallique

De 4400MA à 4000MA : protocroûte continentale

Inclusion de quartz, micas, feldspaths dans les protocroûtes

Constitution isotopique de l'oxygène O18

Sites de roches de l'Hadeen:

Ouest Groenland, ouest Canada, ouest Australie

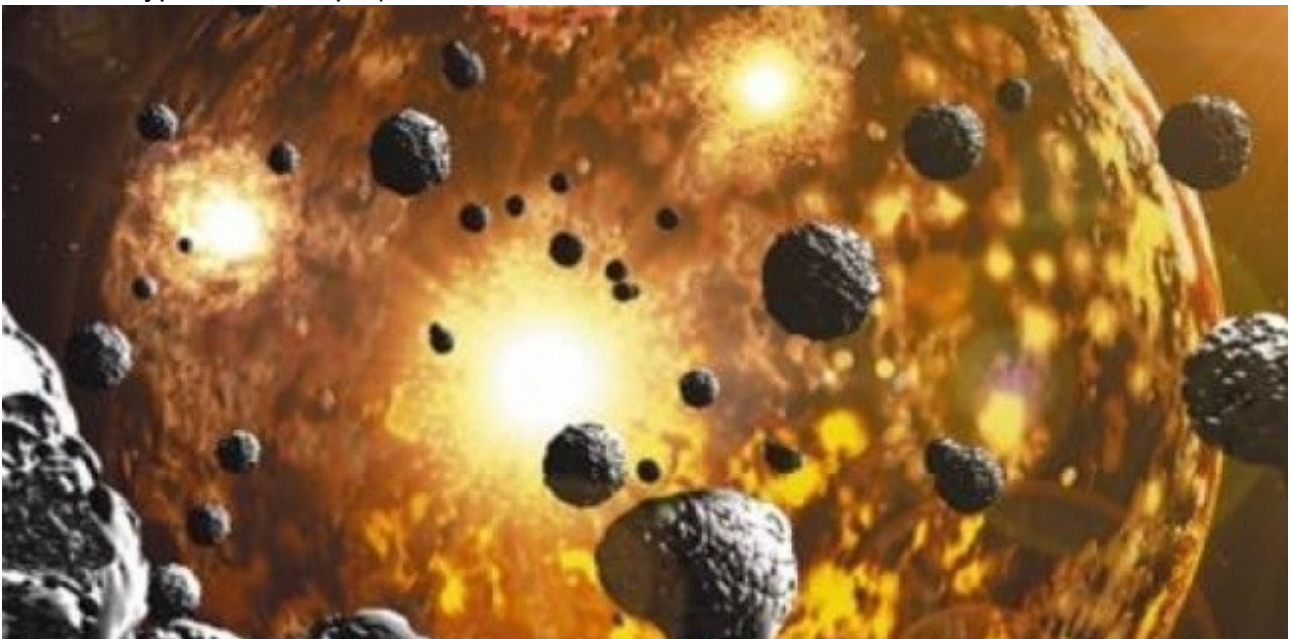
Anciennes formations de roches connues dans la ceinture de roches vertes d'Isua (3800MA) -dykes dans des roches maintes fois déposées

Cristaux de zircons dans les gneiss d'Acasta (ouest Canada) et région de Jack Hills (ouest Australie)

Certains échantillons du Groenland (fin de l'Hadéen) contiennent des BIF (banded iron formation). Présence de composés organiques carbonés. Début de vie fondée sur la photosynthèse?

FORMATION DU SYSTEME SOLAIRE ET DE LA TERRE:

4568MA: Une nébuleuse de gaz et de poussière s'effondre sous sa propre masse. Les CAI (inclusions riches en carbone et aluminium – parmi les plus vieux objets connus et datés de type chondritique) se forment.



4564MA: Collision à haute température d'objets de toutes tailles. C'est l'accrétion terrestre

4550MA : Effondrement de la nébuleuse solaire primitive. Contraction, augmentation de la température. La nébuleuse devient un objet Herbig Haro. Démarrage de la fusion de l'hydrogène. Jets polaires sur le protosoleil et 1MA d'intense activité qui souffle les matériaux légers (H,He,H2O,NH3,...) loin du soleil.

Le système solaire interne comportera des matériaux réfractaires (ex: Si, Fe) et l'externe des éléments légers. La différenciation par gravité conduit le fer (Fe) et le nickel (Ni) au centre de la Terre pour former le noyau et les silicates dans le manteau en moins de

60MA. A partir de ce moment là, la Terre est prête à être protégée par un bouclier magnétique alimenté par la rotation du noyau solide central dans le noyau liquide périphérique. En fait, ce bouclier se formera plus tard. Formation de Jupiter hors de la région réfractaire (au-delà de 4 unité astronomiques). Jupiter perturbe le disque protoplanétaire entraînant une concentration de poussières, de météoroïdes, de planétésimaux (phase Herbig Haro). Naissance de la Lune par collision tangentielle de la protoplanète Théia (de la taille de Mars) avec la prototerre, arrachage de la croûte de Mercure, collision entraînant le changement de la rotation de Vénus. Nous sommes à 4500MA. En 100MA le nuage solaire est devenu système solaire.

Augmentation de la chaleur: Les impacts de météorites en dehors de la Lune (appelée impact géant) fendent la surface de la Terre sur 400km d'épaisseur et libèrent quantité de chaleur. Autres sources de chaleur: la désintégration des éléments radioactifs. La Terre est une immense boule de feu avec des fleuves de lave, des plaines en fusion et de violentes explosions.

Remarque: Les planètes telluriques prendront entre 3 et 5MA pour atteindre leur taille actuelle. Il y a 4550MA, la Terre atteignait seulement (ou déjà) 60% de sa taille actuelle.

Atmosphère: L'atmosphère solaire a un rapport Azote/Néon ou N/Ne=1. Sur Terre, N/Ne=

86000! Cause: sur Terre, la gravité est faible. Mais Ne a une masse atomique proche de celle de N. Donc l'atmosphère terrestre a été formée secondairement. A partir de quoi?



	H2O (eau)	CO2 (gaz carbon.)	N2 (azote)	O2 (oxyg.)	H2 (hydrog.)
Volcans	60à90%	10à20%	0,02à2%	0%	
Chondrite ordinaire	60%	35%	< 5%	0%	0%
Gaz chondr. Ordin.	18%	5%	0,3%	0%	43%
Gaz chondr. Carbonée	72%	19%	0,7%	0%	3%
Chondr. élém. volatil	3200 à 3700%	1200%	34à50%	0%	7%
Terre atm. actuelle	traces	0,03%	78%	20,9%	

3700% paraît un nombre curieux mais montre le contraste et la concentration en un élément. La matière première provient d'éléments qui ont toujours composés la Terre et tous les corps du système solaire notamment les météorites.

Une chondrite chauffée dégage H2O, CO2, N2 comme les volcans. Lors de l'accrétion terrestre, les bombardements de chondrites ont chauffé la surface terrestre pour la faire entrer en fusion.

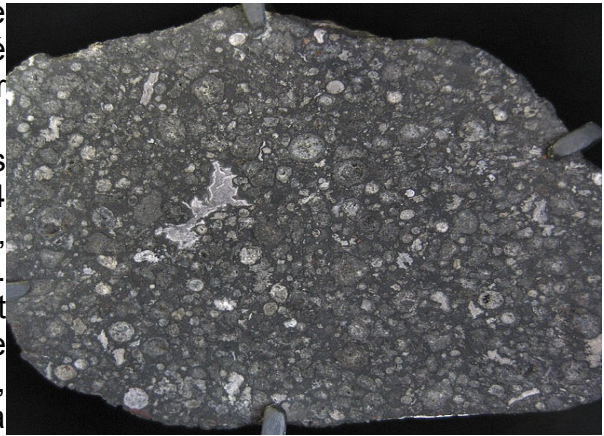
Définition: La chondrite est une météorite pierreuse contenant moins de 35% de métal. Les groupes: chondrites ordinaires, chondrites carbonées, chondrites à enstatites. Les chondrites sont des parties sphériques millimétriques ou centimétriques de silicates. Les chondrites pierreuses ont été formées à partir d'astéroïdes il y a 4,56 milliards d'années.

Certaines viennent de Mars ou de la Lune (achondrites) et contiennent des silicates, des minéraux hydratés(argiles), des CAI(carbone aluminium inclusion), des grains solaires(en) noyés dans une matrice silicatée amorphe. (image ci-dessous)

Autres données sur l'atmosphère hadéenne:

Elle concentrait 10 000 fois la quantité de CO₂ actuelle! 80 à 85% de l'atmosphère a été formé pendant le 1^{er} million d'années à partir du dégazage volcanique.

L'atmosphère primitive est anoxique (sans oxygène): CO₂, N₂, H₂O, traces de CH₄ (méthane), NH₃ (acide nitrique), S (soufre), HCl (acide chlorhydrique), mais sans O₂ libre. CO₂ et CH₄ produisent l'effet de serre. H et He sont dispersés dans l'espace. Cette atmosphère est le siège d'importants orages, d'éclairs, de pluies acides dues au CO₂, à HCl et à SO₂ atmosphériques.



Stabilisation de la Terre:

4500MA: La chaleur accumulée (énergie d'accrétion, énergie radioactive) ne pouvant être évacuée en absence de convections internes dans le manteau terrestre, la partie externe de la Terre fond sur 500 à 1000km d'épaisseur pour former un océan magmatique planétaire.

Le dégazage de ce magma forme l'atmosphère primitive (voir plus haut). Le soleil n'émet que 70% de son énergie actuelle. Cette donnée était à l'origine de la théorie froide où la Terre hadéenne aurait été gelée à -20°C. Cependant c'était ne pas compter avec l'effet de serre attesté (CO₂, NH₄, H₂O,...) qui maintient une température élevée.

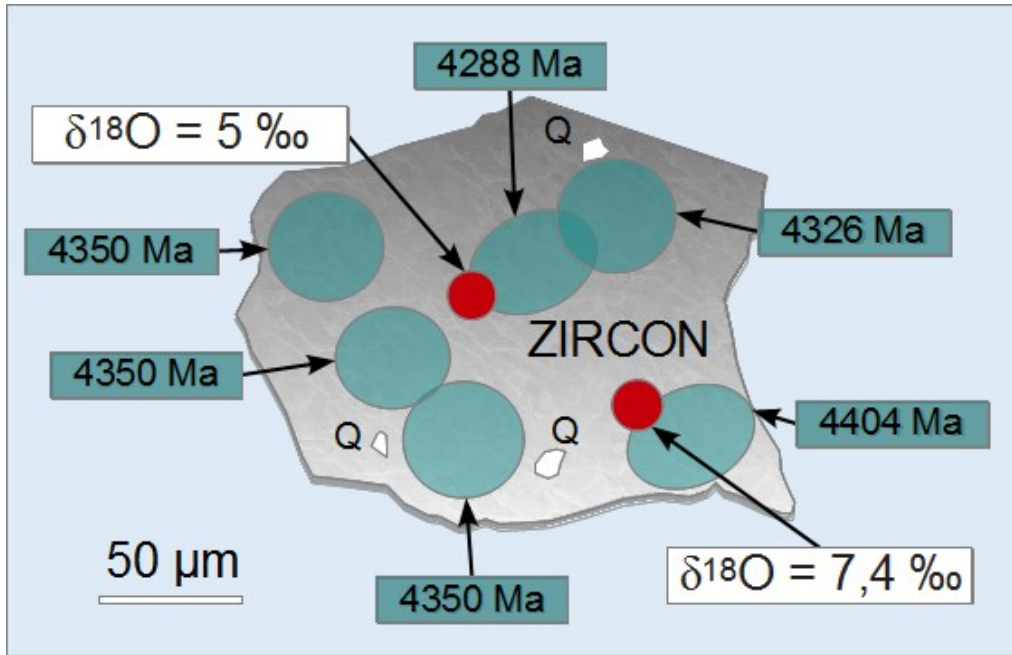
Petit rappel: Les gaz volcaniques contiennent 80% de vapeur d'eau, 6 à 12% de CO₂, 3% de SO₂. (voir plus haut)



L'eau abondante vaporisée à l'origine refroidira lentement pour se transformer en gouttelettes, en gouttes pour pleuvoir sur la Terre. Les océans se formeront si la température de surface de la Terre est inférieure à la température critique de l'eau (374,2°C dans le cas où la pression critique de l'eau est de 225 bars) mais probablement lorsque cette température sera inférieure à 350°C. L'opération « océanisation » finira vers 4300MA.

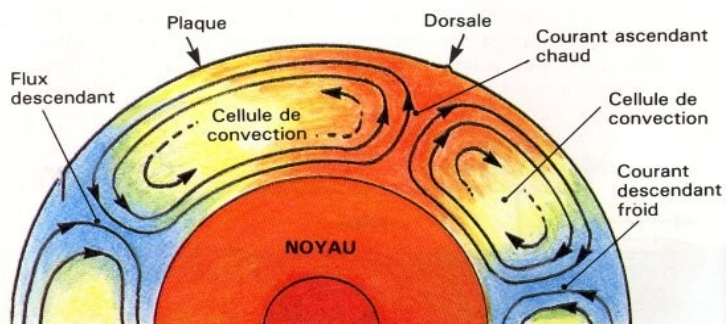
4400MA: Avant 4400MA, on pense que 10 à 15% de croûte actuelle était formée. Pourquoi? En Australie à Jack Hills, on a trouvé des zircons vieux de 4404MA±8MA. Ces cristaux stables renferment des mines d'informations comme la présence possible d'un isotope de O₂ (preuve de la présence d'eau liquide ou océans?) et des composants du granite (inclusion de micas, quartz, feldspaths)!

Ce qui rend possible une croûte continentale silicatée avant 4400MA? A vérifier.



Le refroidissement lent du magma du manteau supérieur donne une protocroûte basaltique ou faite de serpentine (voir Hervé Martin) poreuse laissant s'échapper les gaz emprisonnés(H_2, CO_2, H_2O vaporisé, CH_4, SO_2 , etc.). Sous cette première croûte, le manteau silicaté recouvrant lui-même le noyau métallique. Lorsque le planétésimal Terre dépasse la masse critique, la gravitation augmente et les éléments radioactifs plus abondants qu'aujourd'hui réchauffent la Terre. Le fer (Fe), élément le plus dense, sous l'effet de la chaleur et de la gravitation, migre sous forme de gouttelettes vers le centre. Cette opération lente au départ s'accélère et par la suite on parle de «catastrophe du fer». La graine du noyau est formée. C'est le début du champ magnétique qui protège la Terre du vent solaire et surtout des rayons X, gamma, uv, etc.

4300MA: Présence en général d'eau H_2O dans les magmas basaltiques. Apparition de roches de type granitiques. L'eau de surface donne des sédiments détritiques et de la différenciation chimique. Les roches de densité inférieure aux basaltes restent en surface. Ces paquets de roches s'agglutinent en protocontinents par collisions. Le grand bombardement tardif (déstabilisation d'astéroïdes due à la migration des planètes gazeuses) entre 4100MA et 3900MA refond plusieurs fois la croûte solide et vaporise l'atmosphère (et l'hydrosphère) jusqu'à la formation définitive de l'atmosphère et des océans (théorie de l'origine extra terrestre des l'eau – astéroïdes couverts de glaces après l'assèchement de l'impact lunaire).L'enrichissement en eau est plutôt météoritique que cométaire, car le rapport deutérium/hydrogène ou De/H des roches météoritiques se rapproche le plus de celui des océans actuels. De grandes quantités d'eau mantellique rend ductile une lithosphère stagnante. Grâce au manteau hydraté moins rigide, la tectonique des plaques pourra démarrer. (ci-dessous)



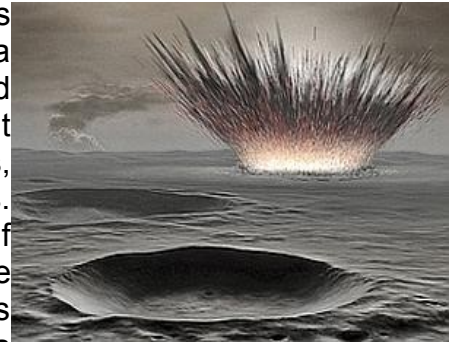
Résumons un peu : plus de plaques plus petites qu'actuellement, donc plus de zones de subduction, le tout lié à des croûtes terrestres plus fines cela conduit à un dégazage terrestre plus efficace. Dégazage : échappement de gaz emprisonnés dans le manteau. Cette opération est liée à une perte de chaleur plus efficace.

La tectonique permettra progressivement une différenciation entre les croûtes continentales et océaniques.

Conditions nécessaires à l'apparition de la vie réunies à la fin du grand bombardement.

Questions sur le grand bombardement météoritique (vers 4100 à 3900MA):

On pensait (dans les milieux scientifiques) jusqu'à ces dernières années, vu la cratérisation de la Lune (dont la surface semble quasi inchangée depuis le grand bombardement), il y aurait eu un fort bombardement météoritique continu sur la Terre donc l'existence d'océans, de continents, et de possibilités prébiotiques impossibles. Très récemment fut proposé « Le bombardement intensif tardif » (Late Heavy Bombardement -2005-) dont l'origine est : la modification orbitale de Jupiter et Saturne, d'Uranus et de Neptune entraînant l'éjection d'une partie interne de la ceinture d'astéroïdes (selon une source, selon une autre source Neptune a déstabilisé une partie de la ceinture de Kuiper- les 2 explications sont possibles). Donc avant 4000MA, les croûtes continentales et les océans semblent stables.



Questions en suspens :

Le grand bombardement a-t-il eu un effet stérilisateur ?

Y a-t-il eu vaporisation d'une partie ou des océans, fusion des croûtes, destruction d'une hypothétique vie ou pré vie ?

Jo DISS (COA)
Juin 2014