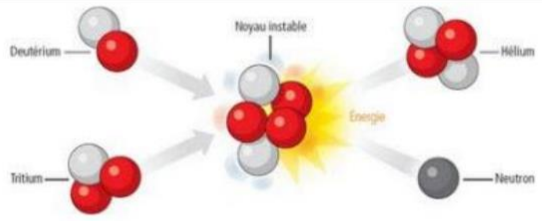
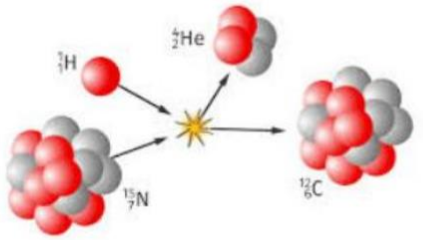
UNE LONGUE HISTOIRE DE LA MATIERE
La naissance des éléments chimiques

1. La formation des éléments chimiques

Actuellement, les scientifiques recensent une **centaine d'éléments chimiques** tous constitués de particules élémentaires (proton, neutron, électron). Ces particules sont apparues une microseconde après le **Big-Bang**, une gigantesque explosion de matière qui serait à l'origine de l'expansion de l'univers il y a 13,8 milliards d'années.
Remarque : le Big-Bang est un modèle utilisé pour décrire l'origine et l'évolution de l'Univers.

- La **fusion** des particules a produit les premiers noyaux d'hydrogène.
- Par interaction gravitationnelle, les premières étoiles se sont alors formées. Les réactions de fusion dans les étoiles ont permis de former d'autres éléments chimiques : l'hélium, le carbone, l'azote,.... jusqu'au fer.
- Après la production de fer dans le coeur de l' étoile (là où la température est la plus élevée), l'étoile devient trop lourde et s'effondre sur elle-même puis explose en supernova. Les éléments plus lourds que le fer sont alors produits par **fission** nucléaire.

La fusion et la fission sont des transformations nucléaires (nucléaire vient de nucléus qui veut dire noyau).

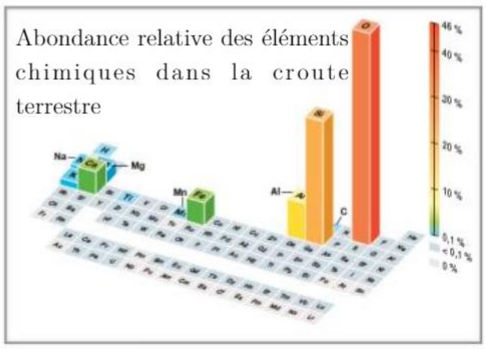
Fusion	Fission
La fusion nucléaire transforme 2 noyaux légers en 1 noyau plus lourd (nombre de nucléons plus élevé). Elle nécessite des températures très élevées et à donc lieu dans les étoiles.	**La fission nucléaire transforme 1 noyau en 2 noyaux plus légers (nombre de nucléons plus petit).**
 $^{1}_{1}H + ^{1}_{2}H \rightarrow ^{3}_{2}He$	 $^{15}_{7}N + ^{1}_{1}H \rightarrow ^{4}_{2}He + ^{12}_{6}C$
Exemple : La fusion de deux atomes d'hydrogène (deutérium et tritium) à des températures de plusieurs millions de degrés, comme au cœur des étoiles. Lorsque ces noyaux légers fusionnent, le noyau créé se retrouve dans un état instable. Il tente de retrouver un état stable en éjectant un atome d'hélium et un neutron.	*Exemple : La fission de l'azote par un hydrogène forme un noyau d'hélium et un noyau de carbone.*

Remarque : la fission nucléaire stellaire (dans les étoiles) permet de produire à nouveaux les éléments qui ont été consommés lors de fusions nucléaires. Elle permet donc d'expliquer pourquoi certains éléments n'ont pas disparu.

2. Composition de l'univers, de la Terre, des êtres vivants

La répartition des éléments chimiques dans l'univers est inégale. Elle dépend des systèmes considérés :

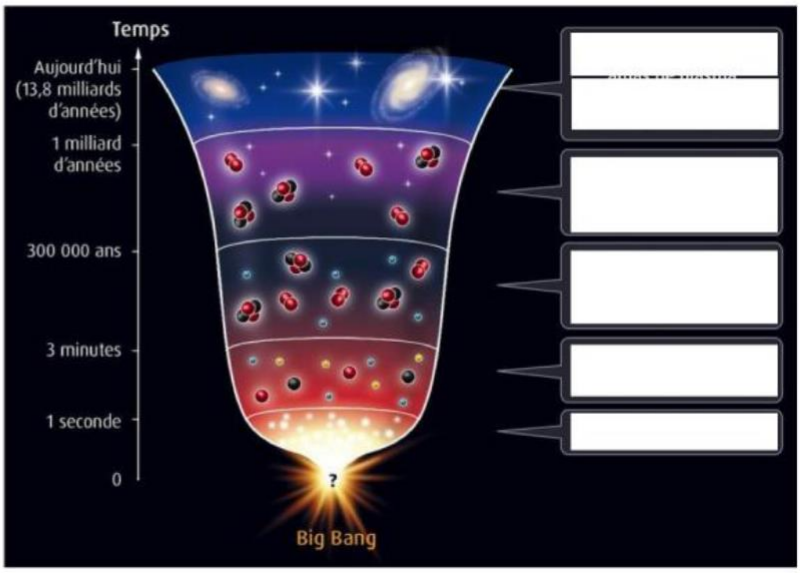
- l'**hydrogène** et l'**hélium** sont les éléments les plus abondant de l'**Univers**,
- la **Terre** minérale est constituée principalement de **fer, oxygène, de silicium, de magnésium**,
- les **êtres vivants** sont constitués en grande majorité d'**hydrogène, d'oxygène, de carbone et d'azote**.



Application 1 :

- Replacer les numéros de la légende ci-dessous sur le schéma ci-contre.

1. *Particules élémentaires*
2. *Formation des atomes d'hydrogène et d'Helium*
3. *Formation des autres atomes (Li, C, Fe,…) par fusion dans les étoiles*
4. *Fusion des noyaux d'hydrogène pour former les noyaux d'Helium*
5. *Explosion des étoiles et formation par fusion des atomes lourds et formation de nouveaux atomes par fission*
6. *Formation des protons, neutrons, électrons*



Application 2 :

Document 1 : Le tableau périodique simplifié des éléments

Tableau périodique simplifié des éléments

1 H 1 Hydrogène							4 He 2 Hélium
7 Li 3 Lithium	9 Be 4 Béryllium	11 B 5 Bore	12 C 6 Carbone	14 N 7 Azote	16 O 8 Oxygène	19 F 9 Fluor	20 Ne 10 Néon
23 Na 11 Sodium	24 Mg 12 Magnésium	27 Al 13 Aluminium	28 Si 14 Silicium	31 P 15 Phosphore	32 S 16 Soufre	35 Cl 17 Chlore	40 Ar 18 Argon
39 K 19 Potassium	40 Ca 20 Calcium	…					

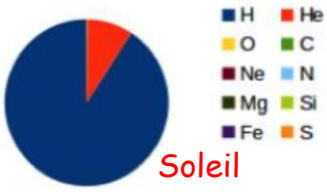
Nombre de masse → 12 ; Symbole chimique → C ; Numéro atomique → 6 ; Carbone

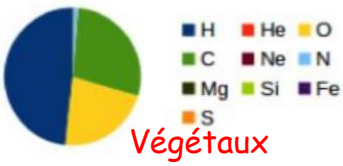
Document 2 : Abondance des éléments

Le tableau ci-contre fait apparaître l'abondance relative des principaux éléments chimiques (en % d'atomes) dans certains « objets » de notre environnement :

Élément chimique	univers	soleil	Croûte terrestre	atmosphère terrestre	Eau de mer	Corps humain	végétaux
H	90	93	0,22		66	61	47,9
He	9	6					
O	0,10	0,06	47	21	33	24,1	21,9
C	0,06	0,04	0,19	0,0015	0,0014	12,6	27,9
Ne	0,012	0,004					
N	0,01	0,007		78		1,4	1,1
Mg	0,005	0,004	2,2		0,033	0,008	0,13
Si	0,005	0,005	28				
Fe	0,004	0,003	4,5				
S	0,002	0,001			0,017	0,05	0,1

- Attribuer, à partir du document 2, les diagrammes circulaires représentant la composition : de l'Univers, de l'écorce terrestre, des êtres humains et des végétaux.





- Utiliser les diagrammes pour repérer les éléments les plus abondants dans :
  - dans le soleil (2 éléments) :
    H (93%) et He (6%)
  - dans le terre (4 éléments) :
    O (47%), Si(28%), Fe(4,5%) et Mg(2,2%)
  - dans les êtres vivants (4 éléments) :
    H (61%), O (24,1%), C (12,6%) et N (1,1%)

- A partir du tableau des éléments, déterminer si les éléments présents dans le soleil sont qualifiés de « légers » ou « lourds » ?

Dans le soleil il y a essentiellement de l'hydrogène et de l'hélium qui sont les deux éléments les plus légers.

Document 3 : Les travaux de Hans Bethe

Hans Albrecht Bethe (1906 - 2005) est un physicien américain d'origine allemande. Il s'exila d'Allemagne en 1933 pour s'installer définitivement aux États-Unis en 1935. Il fut lauréat du prix Nobel de physique de 1967 pour sa contribution à la compréhension de la **nucléosynthèse stellaire.**

En 1939, il expliqua : « Comme toute étoile, le Soleil est un gigantesque réacteur nucléaire : en son cœur, des réactions nucléaires ont lieu, au cours desquelles l'hydrogène est transformé en hélium en libérant de l'énergie.

[...] L'hydrogène se transforme en hélium jusqu'à épuisement, puis l'hélium devient combustible à son tour. Il se transformera ainsi en carbone. En suivant ce processus, appelé "nucléosynthèse", une série d'éléments – carbone, néon, oxygène, silicium – est ainsi créée jusqu'à l'obtention du fer. »

D'après **wikipédia.org** et cea.fr

Document 4 : Rappel de la composition du noyau d'un atome

- Compléter les définitions des réactions de fission et de fusion nucléaire avec les mots : *léger et lourd*
  - Fusion : Réaction nucléaire au cours de laquelle 2 noyaux légers s'unissent pour former un noyau plus lourd.
  - Fission : Réaction nucléaire au cours de laquelle 1 noyau lourd est scindé en 2 noyaux plus léger (sous l'impact d'une particule ou pas, dans ce cas on parle alors de fission spontanée).

- Parmi les réactions proposées ci-dessous, préciser si ce sont des réactions de fusion ou de fission nucléaire.

Fusion ou fission ?	Equation de la réaction
Fission	${}^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}U \rightarrow {}^{140}_{54}Xe + {}^{94}_{38}Sr + 2\,{}^{1}_{0}n$
Fusion	${}^{3}_{1}H + {}^{4}_{2}He \rightarrow {}^{7}_{3}Li$

Fusion ou fission ?	Equation de la réaction
Fusion	${}^{12}_{6}C + {}^{4}_{2}He \rightarrow {}^{16}_{8}O$
Fission	${}^{239}_{94}Pu \rightarrow {}^{103}_{38}Sr + {}^{133}_{56}Ba + 3\,{}^{1}_{0}n$

- A partir de quel élément initial, tous les autres éléments connus ont-ils été créés. Quel nom donne-t-on à ce phénomène ?

L'élément initial permettant la création de tous les autres éléments est l'hydrogène H.
Le phénomène conduisant à cette formation est la nucléosynthèse stellaire.

- Les réactions nucléaires évoquées par Hans Bethe lorsqu'il explique la nucléosynthèse sont-elles des réactions de fission ou de fusion nucléaire ? Expliquer.

La nucléosynthèse stellaire se produit à partir de l'hydrogène H. Cet hydrogène va se transformer en hélium. Ensuite, les élements légers vont fusionner pour donner des éléments plus lourd jusqu'à l'obtention du fer Fe.

UNE LONGUE HISTOIRE DE LA MATIERE
Fiche d'exercices

Exercice 1 : Le big-bang

D'après le modèle standard de la cosmologie, l'Univers a connu il y a 13,7 milliards d'années un moment où sa densité et sa température étaient excessivement élevées : c'est le Big Bang. Il n'y avait alors aucune particule de matière.

Comme l'Univers est alors en expansion rapide, il se refroidit et, au bout de quelques fractions de seconde, les premières particules élémentaires se forment à partir des grains d'énergie emplissant l'Univers (les photons).

D'environ 1 seconde à 3 minutes après le Big Bang, l'Univers s'est suffisamment refroidi pour permettre à ces particules de s'agglomérer de manière stable et de former les premiers noyaux d'atomes légers par fusion : l'hydrogène 1 (^{1}H), l'hélium 3 (^{3}He), l'hélium 4 (^{4}He) et le lithium 7 (^{7}Li). C'est la nucléosynthèse primordiale.

1. Pour quelle raison les atomes présents dans l'univers se rassemblent-ils pour former les étoiles ?
2. Quels sont les éléments chimiques qui composent ces étoiles de première génération ? Pourquoi ?
3. Pour quelle raison la température au coeur d'une étoile est-elle très élevée (lien avec le thème 1 Soleil) ?

Exercice 2 : Les étoiles

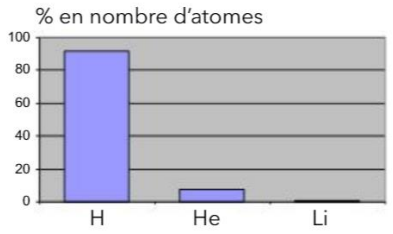
380 000 ans après le Big Bang, la nucléosynthèse primordiale n'a créé que trois éléments dont principalement de l'hydrogène (92%).

De 380 000 ans à 400 millions d'années après le Big Bang, l'Univers traverse un âge sombre. En perpétuelle dilatation, il continue à se refroidir. Il ne contient pas encore d'étoile et sa composition chimique ne varie donc pas.

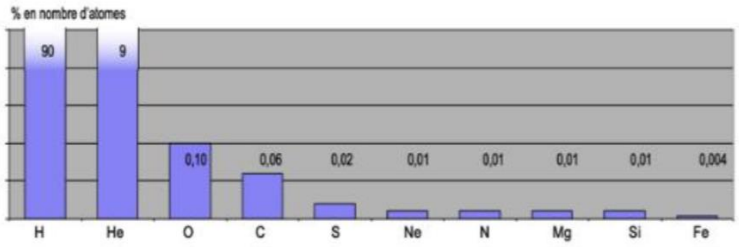
Vers 400 millions d'années après le Big Bang commence l'ère de la re-ionisation. Les premières étoiles dites de population III apparaissent. Ces étoiles très chaudes (100 000°C en surface), très massives et de durée de vie relativement courte (quelques centaines de millions d'années) commencent à modifier la composition chimique de l'Univers en créant de nouveaux éléments chimiques par le processus de la fusion thermonucléaire.

Ces étoiles de population III connaissent toutes une mort apocalyptique en explosant en hypernovae. Des cendres disséminées naissent ensuite les étoiles de population II, moins massives et composées d'une très faible proportion de métaux. Ces étoiles continuent à enrichir l'Univers en éléments chimiques lourds.

Finalement apparaissent dès 4 milliards d'années après le Big Bang et encore aujourd'hui, les étoiles de population I. Elles représentent la quasi-totalité des étoiles observées aujourd'hui. Ces étoiles, relativement plus petites et moins chaudes, poursuivent les nucléosynthèses stellaire et explosive modifiant encore légèrement la composition chimique de l'Univers.



Composition des étoiles de population III



Composition des étoiles de population I

1. Pourquoi la période s'étalant de 380 000 ans à 400 millions d'années après le big-bang a-t-elle été qualifiée d'âge sombre ?
2. Pourquoi, lors de l'âge sombre, la composition chimique de l'Univers reste-t-elle stable ?
3. Quel est approximativement l'âge du Soleil ? A quelle population d'étoiles appartient-il ?
4. Expliquer la hausse de l'abondance relative de l'hélium entre les étoiles de population III et I.
5. Sur 1000 atomes pris au hasard dans l'Univers actuel, combien ne sont ni de l'hydrogène ni de l'hélium ?

Exercice 3 : cycle CNO

Document 1

$$^{2}_{1}H + ^{3}_{1}H \longrightarrow ^{4}_{2}He + ^{1}_{0}n$$

$$^{12}_{6}C + ^{12}_{6}C \longrightarrow ^{4}_{2}He + ^{20}_{10}Ne$$

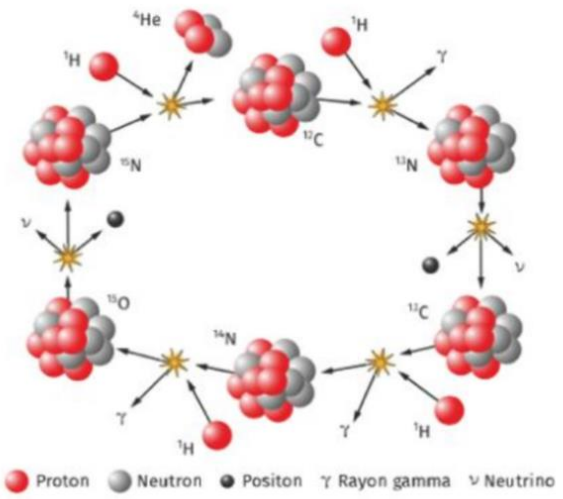
$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \longrightarrow ^{146}_{58}Ce + ^{85}_{34}Se + 5\,^{1}_{0}n$$

$$^{4}_{2}He + ^{242}_{96}Cm \longrightarrow ^{137}_{53}I + ^{108}_{45}Rh + ^{1}_{0}n$$

$$^{16}_{8}O + ^{16}_{8}O \longrightarrow ^{4}_{2}He + ^{28}_{14}Si$$

Document 2 : cycle CNO

Le cycle carbone-azote-oxygène (ou cycle CNO avec les symboles chimiques) explique comment les étoiles convertissent de l'hydrogène en hélium.

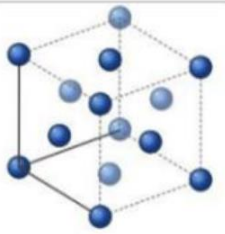


1. Classer les transformations du document 1 selon le type de processus : fusion nucléaire ou fission nucléaire
2. Entourer les 4 réactions de fusion nucléaires dans le cycle CNO du document 2.

Exercice 4 : QCM

1/ les paramètres qui permettent de définir complètement le cristal sont :
a.Le nombre d'entités chimiques dans le cristal
b.La forme de la maille et le type de remplissage
c.La forme de la maille et la nature et la position des entités chimiques
d.La formule chimique et le système cristallin

2/ Le fer, dont l'unité élémentaire est représentée ci-contre, cristallise dans un système :
a.Cubique primitif
b.Cubique centré
c.Cubique faces centrées
d.Cubique base centrée



3/ La silice SiO_2 est :
a.Un minéral
b.Un cristal
c.Un composé chimique
d.Une roche

4/ L'empilement des entités chimiques dans un verre se fait :
a.avec un ordre géométrique rigoureux
b.avec un ordre géométrique approximatif
c.sans ordre géométrique

5/ Dans la liste ci-dessous, l'objet pouvant être constitué de cristaux est :
a.Un liquide
b.Un verre
c.Une coquille de mollusque

6/ Une structure cristalline est définie par une maille :
a.isolée
b.répétée périodiquement
c.toujours cubique

Exercice 5 : Le clivage de la biotite

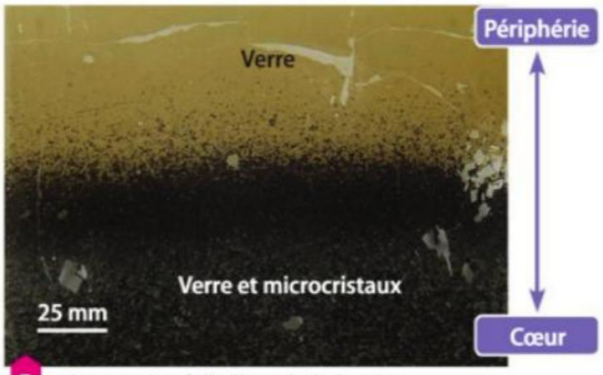
Avec le quartz et le feldspath, la biotite est l'un des constituants du granite. Elle fait partie de la famille des micas. C'est un minéral organisé en feuillets faciles à séparer les uns des autres, selon un plan appelé « plan de clivage ».

Ordonner les photos (a), (b) et (c) par échelle croissante de grandeur en leur associant l'une des légendes suivantes : minéraux composant le granite – structure cristalline de la biotite – cristal de biotite

Exercice 6 : Pillow lava

Les laves en coussins, ou « *pillow lava* » en anglais, sont émises par un volcan sous-marin, notamment au voisinage des dorsales océaniques, ou par un volcan émergé dont le coulées vont jusqu'ne mer ou dans un lac. Les édifices ainsi formés sont constitués d'un roche nommée basalte.

1 Formation et refroidissement d'une *pillow lava* par l'eau de mer.



2 Observation à l'œil nu de la bordure d'une *pillow lava*.

1. Comparer la composition de la périphérie et du cœur d'une *pillow lava*.
2. A partir de vos observations et de vos connaissances sur les conditions de formation du verre, déterminer l'origine de cette différence de structure.

UNE LONGUE HISTOIRE DE LA MATIERE
Fiche d'exercices - Correction

Exercice 1 :

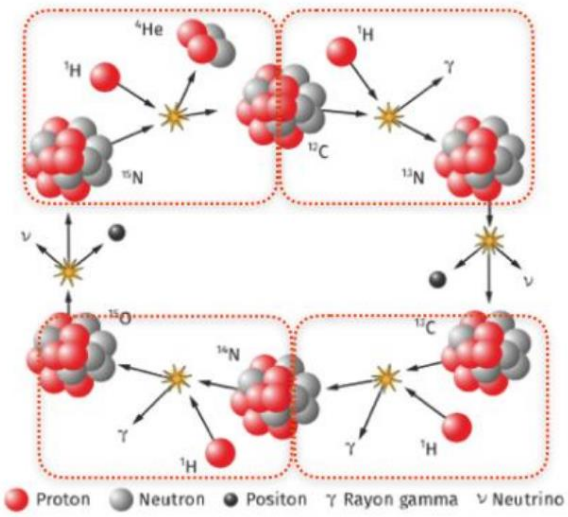
1. Pour quelle raison les atomes présents dans l'univers se rassemblent-ils pour former les étoiles ? car la température diminuant, les atomes peuvent se rassembler pour former des étoiles.
2. Quels sont les éléments chimiques qui composent ces étoiles de première génération ? Pourquoi ? Hydrogène et Hélium car ce sont les noyaux les plus légers qui se sont formés en premier.
3. Pour quelle raison la température au coeur d'une étoile est-elle très élevée ? Car les réactions de fusion nucléaire libèrent une très grande quantité d'énergie (voir thème 1 : $\Delta E = \Delta m \times c^2$)

Exercice 2 :

1. Pourquoi la période s'étalant de 380 000 ans à 400 millions d'années après le big-bang a-t-elle été qualifiée d'âge sombre ? car les étoiles ne sont pas formés encore, donc il n'y a pas de lumière.
2. Pourquoi, lors de l'âge sombre, la composition chimique de l'Univers reste-t-elle stable ? les étoiles n'étant pas formés, les réactions de fusion ne peuvent avoir lieu.
3. Quel est approximativement l'âge du Soleil ? A quelle population d'étoiles appartient-il ? 4 milliards d'années, étoile de population I
4. Expliquer la hausse de l'abondance relative de l'hélium entre les étoiles de population III et I. La fusion des noyaux d'hydrogène des étoiles de population III a formé des noyaux d'hélium, donc les étoiles de population I.
5. Sur 1000 atomes pris au hasard dans l'Univers actuel, combien ne sont ni de l'hydrogène ni de l'hélium ? Dans l'univers actuel on a des étoiles de population I, donc 99% est de l'hydrogène ou de l'helium. Les autres atomes représentent 1%, donc 10 atomes sur 1000 ne sont pas de l'hydrogène ou de l'hélium.

Exercice 3

1. Classer les transformations du document 1 selon le type de processus : fusion nucléaire ou fission nucléaire. Dans l'ordre : fusion, fusion, fission, fission, fusion
2. Entourer les 4 réactions de fusion nucléaires dans le cycle CNO du document 2.



Exercice 4 : QCM

1/ d
2/ c
3/ c
4/ c
5/ c
6/ b

Exercice 5

Ordonner les photos (a), (b) et (c) par échelle croissante de grandeur en leur associant l'une des légendes suivantes : minéraux composant le granite – structure cristalline de la biotite – cristal de biotite

(a) structure cristalline de la biotite (b) minéraux composant le granite (c) cristal de biotite

(b) Echelle croissante de taille : (a)<(b)<©

Exercice 6 : Pillow lava

1. Comparer la composition de la périphérie et du cœur d'une *pillow lava*. La périphérie est composée de verre alors que le coeur est composée de verre et de cristaux.
2. A partir de vos observations et de vos connaissances sur les conditions de formation du verre, déterminer l'origine de cette différence de structure. Le refroidissent de la lave à l'extérieur de la pillow lava étant très rapide, la structure formée est amorphe (donc un verre) alors qu'en son coeur le refroidissement est plus lent, les entités ont le temps de s'organiser et des structures cristallines peuvent se former, des cristaux apparaissent.