

Dr Chabou Moulley Charaf  
Université Ferhat Abbas, Sétif 1  
Institut d'Architecture et des Sciences de la Terre  
Département des Sciences de la Terre  
Année universitaire 2015-2016

LMD -Sciences de la Terre et de l'Univers-  
Master Géologie des ressources minérales et  
substances utiles  
Cours de Géochimie fondamentale

## Cours 3. Classification géochimique des éléments

Les géochimistes ont leur propre classification des éléments chimiques du tableau périodiques. Les différentes classifications sont résumées ci-dessous.

### 3.1. Classification basée sur l'abondance des éléments dans les minéraux et roches

Selon l'abondance des éléments chimiques dans les minéraux et roches, on distingue :

- **Les éléments majeurs** : principaux éléments chimiques qui constituent les roches et minéraux. Ces éléments sont exprimés en oxydes. Il s'agit de :  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  et  $\text{P}_2\text{O}_5$ . La teneur de ces oxydes dans les minéraux et roches est supérieure à 1 %.
- **Les éléments mineurs** : éléments dont la teneur dans les roches est située entre 0,1 et 1 %. Il s'agit principalement de  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  et  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Ces éléments peuvent être majeurs dans certains types de roches, et mineurs dans d'autres. Exemple :  $\text{K}_2\text{O}$  est majeur dans les granites et mineurs et même traces dans les basaltes.
- **Les éléments en traces** : éléments dont la teneur est inférieure à 0,1 %. Ils sont exprimés en ppm (partie par million).

### 3.2. Classification des éléments en traces selon leur position dans le tableau périodique

Cette classification est importante en géochimie, car les éléments qui présentent des similarités dans leurs caractéristiques chimiques présentent des similarités dans leur comportement géochimique.

On distingue :

- **Les gaz rares** : Ne, Ar, Kr et Xe.
- **Les lanthanides ou Terres rares (REE, rare earth elements)** : les éléments du numéro atomique 57 au numéro 71. La, Ce, Pr, Nd, (Pm), Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu.
- **Eléments du groupe du platine (PGE)** : Ru, Rh, Pd, Os, Ir, et Pt (parfois Au).
- **Les métaux de transition** : de la première série, éléments 21 à 30 (du Sc à Zn).

### 3.3. Classification géochimique des éléments en traces selon leur comportement lors de la fusion partielle

Durant la fusion partielle, certains éléments en traces auront tendance à se concentrer dans la phase liquide et d'autres dans la phase solide.

Les éléments qui ont une préférence pour la phase liquide lors de la fusion partielle sont dits : **éléments incompatibles**.

Ceux qui ont une préférence pour la phase solide sont dits : **éléments compatibles**.

Le degré d'incompatibilité d'un élément dans une phase minérale est exprimé par le coefficient de partition ou de partage minéral-liquide  $K_d$

$$K_d = \frac{C_s}{C_l}$$

$C_s$  : concentration de l'élément dans la phase solide.

$C_l$  : concentration de l'élément dans la phase liquide.

Les éléments dont  $K_d > 1$  sont compatibles. Ils sont facilement incorporés dans le solide.

Exemple : le nickel est incorporé dans les minéraux ferro-magnésiens comme l'olivine. On dit qu'il est compatible avec la structure de l'olivine.

Les éléments dont  $K_d < 1$  sont incompatibles.

Les éléments dont  $K_d \ll 1$  sont fortement incompatibles. On dit qu'ils sont hygromagmaphiles.

Ils ne sont pas acceptés dans la structure des cristaux (à cause de leur taille et charge). Ils se concentrent dans la phase liquide magmatique.

### 3.4. Classification géochimique des éléments en traces selon leur charge ionique et leur rayon ionique

Durant les processus géochimiques, les éléments ayant un faible rayon ionique et une forte charge ont un comportement différent des éléments à fort rayon ionique et faible charge.

Les éléments à forte charge et à faible rayon ionique sont appelés : HFSE (high field strength elements) : Ti, Hf, Nb et Zr. Ces éléments sont immobiles durant l'altération des roches. Ils sont incompatibles.

Les éléments à fort rayon ionique et à faible charge sont appelés : LILE (large ion lithophile elements). Ces éléments sont très mobiles lors de l'altération des roches. Ils sont incompatibles (ils se concentrent préférentiellement dans le liquide lors de la fusion partielle).

### 3.5. Classification géochimique basée sur l'électronégativité des éléments.

C'est la classification de Goldschmidt. Elle est basée sur le partitionnement des éléments dans les météorites. On distingue :

- **Les éléments chalcophiles** : qui ont une affinité avec le soufre. Il s'agit de As, Cu, Zn, Cd, Pb ...
- **Les éléments sidérophiles** : qui ont une affinité avec le fer métallique. Il s'agit de Ni, Cr, Co, Pt ..
- **Les éléments lithophiles** : qui ont une affinité avec les silicates. Il s'agit des éléments alcalins, alcalino-terreux (Na, K, Ca ...).
- **Les éléments atmophiles** : c'est les éléments gazeux non combinés (H, N, gaz rares, C).

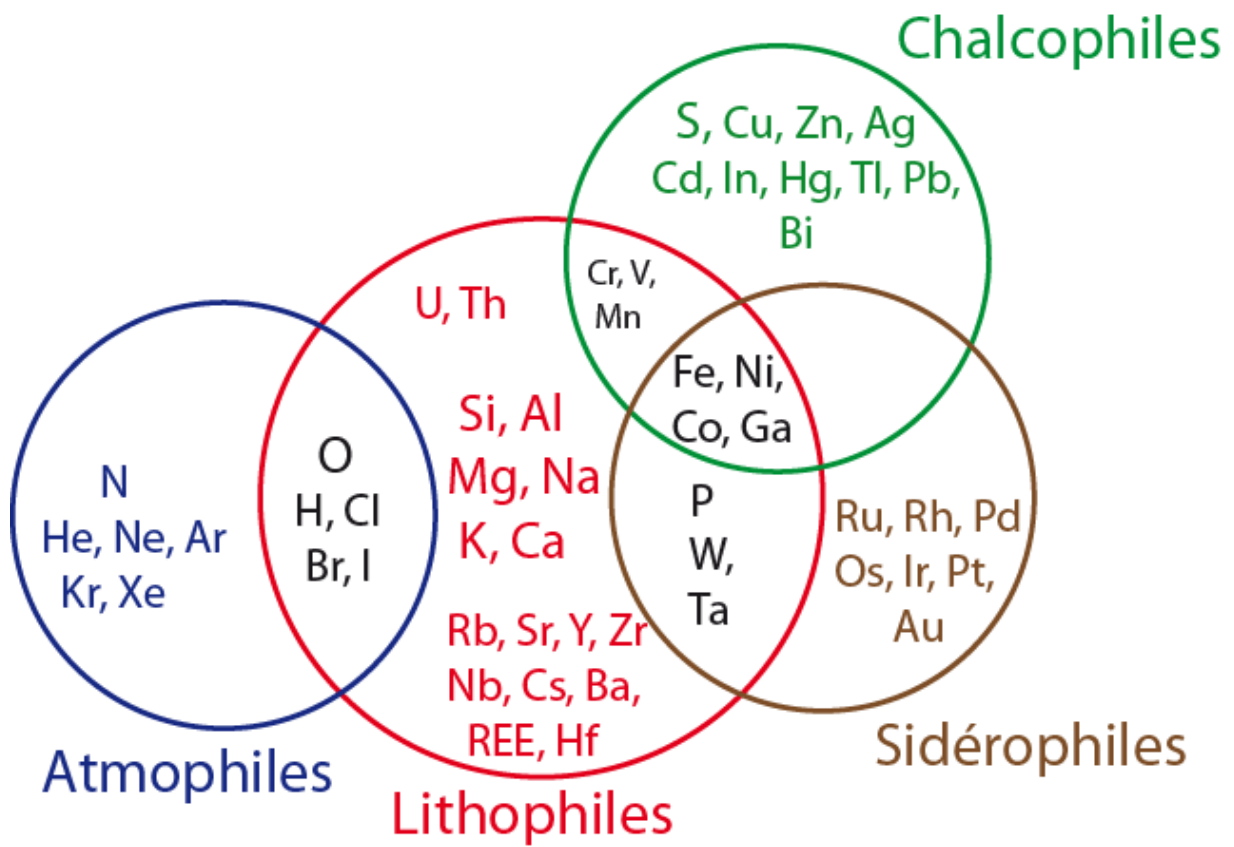
Les éléments sidérophiles sont concentrés dans le noyau terrestre alors que les éléments atmophiles se trouvent principalement dans l'atmosphère terrestre

Notons que certains éléments peuvent appartenir à deux, voir trois classes, selon leur charge (figure 1). Exemple : le fer peut être lithophile, chalcophile et sidérophile.

### 3.6. Classification géochimique basée sur la température de condensation des éléments.

La condensation est le passage de l'état gazeux à l'état solide. Cette classification est basée sur la condensation des éléments lors de la formation du Système solaire. On distingue :

- **Les éléments réfractaires** : dont la température de condensation est élevée (1850 - 1400 K). Il s'agit de Ca, Al, U, Th, les terres rares...
- **Les éléments volatiles** dont la température de condensation est inférieure à 640 K. Il s'agit des éléments alcalins, du Pb... Les éléments chalcophiles et atmophiles sont très volatiles.



**Figure 1.** Classification géochimique des éléments selon Goldschmidt.

**Page 5 :** Tableau périodique montrant les éléments atmosphiles, lithophiles, sidérophiles et chalcophiles.

26 <b>Fe</b> 2 3	Sidérophile	14 <b>Si</b> 4	Lithophile
16 <b>S</b> -2 0 4 6	Chalcophile	7 <b>N</b> -3 0 3 5	Atmosphère
61 <b>Pm</b> 3	N'existe pas		

1																		18
1 <b>H</b> 1	2												13	14	15	16	17	2 <b>He</b> 0
3 <b>Li</b> 1	4 <b>Be</b> 2												5 <b>B</b> 6	6 <b>C</b> -4 -2 0	7 <b>N</b> -3 0 3 5	8 <b>O</b> -2 0	9 <b>F</b> -1	10 <b>Ne</b> 0
11 <b>Na</b> 1	12 <b>Mg</b> 2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13 <b>Al</b> 3	14 <b>Si</b> 4	15 <b>P</b> -3 5	16 <b>S</b> -2 0 4 6	17 <b>Cl</b> -1	18 <b>Ar</b> 0	
19 <b>K</b> 1	20 <b>Ca</b> 2	21 <b>Sc</b> 3	22 <b>Ti</b> 4	23 <b>V</b> 5	24 <b>Cr</b> 3	25 <b>Mn</b> 4 3 2	26 <b>Fe</b> 2 3	27 <b>Co</b> 2 3	28 <b>Ni</b> 2	29 <b>Cu</b> 1 2	30 <b>Zn</b> 2	31 <b>Ga</b> 3	32 <b>Ge</b> 4	33 <b>As</b> 3 5	34 <b>Se</b> -2 0 4 6	35 <b>Br</b> -1	36 <b>Kr</b> 0	
37 <b>Rb</b> 1	38 <b>Sr</b> 2	39 <b>Y</b> 3	40 <b>Zr</b> 4	41 <b>Nb</b> 3 5	42 <b>Mo</b> 4 6	43 <b>Tc</b> 7	44 <b>Ru</b> 3 4	45 <b>Rh</b> 2 3 4	46 <b>Pd</b> 2 4	47 <b>Ag</b> 1	48 <b>Cd</b> 2	49 <b>In</b> 3	50 <b>Sn</b> 4 2	51 <b>Sb</b> 3 5	52 <b>Te</b> -2 0 4 6	53 <b>I</b> -1	54 <b>Xe</b> 0	
55 <b>Cs</b> 1	56 <b>Ba</b> 2	57 <b>La</b> 3	72 <b>Hf</b> 4	73 <b>Ta</b> 5	74 <b>W</b> 4 6	75 <b>Re</b> 7	76 <b>Os</b> 3 4	77 <b>Ir</b> 2 4 6	78 <b>Pt</b> 2 4	79 <b>Au</b> 1 3	80 <b>Hg</b> 2	81 <b>Tl</b> 1 3	82 <b>Pb</b> 2	83 <b>Bi</b> 3 5	84 <b>Po</b> 2 4	85 <b>At</b> -1	86 <b>Rn</b> 0	
87 <b>Fr</b> 1	88 <b>Ra</b> 2	89 <b>Ac</b> 3																

58 <b>Ce</b> 3	59 <b>Pr</b> 3	59 <b>Nd</b> 3	61 <b>Pm</b> 3	62 <b>Sm</b> 3	63 <b>Eu</b> 3	64 <b>Gd</b> 3	65 <b>Tb</b> 3	66 <b>Dy</b> 3	67 <b>Ho</b> 3	68 <b>Er</b> 3	69 <b>Tm</b> 3	70 <b>Yb</b> 3	71 <b>Lu</b> 3
90 <b>Th</b> 4	91 <b>Pa</b> 5	92 <b>U</b> 4 6	93 <b>Np</b> 4 5	94 <b>Pu</b> 4	95 <b>Am</b> 3	96 <b>Cm</b> 3	97 <b>Bk</b>	98 <b>Cf</b> 3	99 <b>Es</b>	100 <b>Fm</b>	101 <b>Md</b>	102 <b>No</b>	103 <b>Lr</b>