

Classification géochimique des éléments

- La façon que les éléments se distribuent dans les minéraux et les roches.
- L'associations entre les éléments, les minéraux et les roches
- Exploration des minéraux – trouver les bonnes roches

Histoire

1838 Le terme géochimie est introduit par le chimiste Suisse Schonbein.

19^{ème} siècle La découverte des éléments.

1884 F.W. Clarke devient le chimiste en chef de la Commission Géologique des Etats-Unis (USGS).

1889 F.W. Clarke publie le livre “The relative abundances of the chemical elements”.

1904 Un laboratoire de géochimie est établi. Les procédés géologiques sont interprétés à l’aide de la chimie-physique.

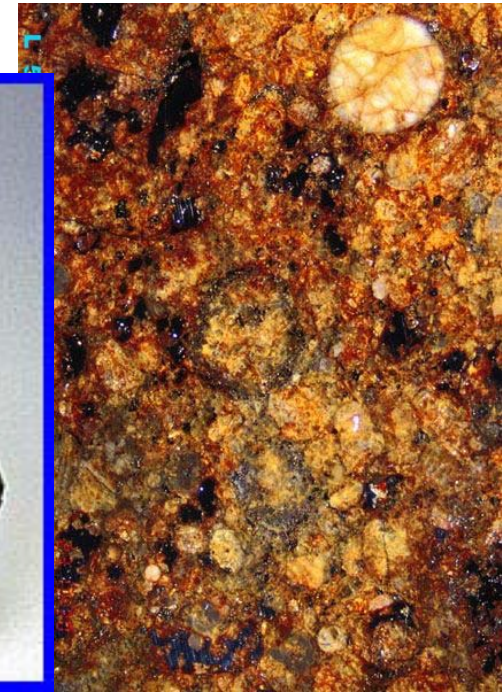
1929 Goldschmidt déménage de Oslo à Gottingen et commence à travailler sur la distribution des éléments, et ses théories de substitution ionique

1954 Publication de « Geochemistry » après sa mort

Classification Goldschmidt des éléments

- Goldschmidt a examiné le partitionnement des éléments dans les météorites et lors de la fusion de minerai d'oxydes et de sulfures dans une fonderie ("smelter")
- Trouvé que les éléments préfèrent une des quatre phases
 - Fer fondu → **Sidérophile**
 - Souffre fondu (matte) → **Chalcophile**
 - Silicates fondus (scorie) → **Lithophile**
 - Gaz → **Atmosphile**

- Similaire à la différenciation initiale par séparation de densité dans les planètes
 - refroidissement du matériel d'accrétion fondu des nébuleuses
 - chauffé par les impacts des proto-planètes et la désintégration radioactive (^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K)
 - Noyau de Fe
 - Couche de sulfures (n'existe pas car l'abondance de S est faible)
 - Croûte de silicates
 - Atmosphère



Sidérophile (qui aime le fer)

- Phase métallique – Riche en électrons libres
- groupes 8, 9 et 10 (groupe VIII B), plus Mo, Re et Au
- C et P (sous des conditions de réduction et en absence de O)
- Ge et Sn
- Les couches électroniques extérieures sont incomplètes – remplissage de l'orbitale d^{10}
- Électronégativité plus élevé que les éléments de gauche
- Les liens **métalliques** dominant

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

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

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

Chalcophile (qui aime le soufre)

- La matre de soufre se lie de façon covalente avec les métaux
- groupes 11 et 12 (2 dernières orbitales d – d⁹ et d¹⁰)
- groupes 13, 15 et 16 dans les périodes 4, 5 et 6 (p¹, p³ et p⁴)
- Sauf Au, et Ge et Sn du groupe 14
- Les éléments du groupe B dont les ions ont 18 électrons dans les couches extérieures – incluant une pleine couche d¹⁰
- Électronégativité plus élevée produit des liens hautement **covalents** avec le soufre

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

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

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

Lithophile (qui aime la silicate)

- Liaison **ionique** des ions avec les tétraèdres de SiO_2 et Al_2O_3
- Les éléments qui forment aisément des ions qui ont 8 électrons dans la couche électronique extérieure
- Métaux alcalins
- Alcalino-terreux
- Halogènes
- ETR (REEs; tous les 3+)
- Métaux de transition au groupe 6 ou 7 ionisé au configuration électronique du Ar, Kr et Xe

26 Fe 2 3	<u>Sidéro</u> phile	14 Si 4	<u>Litho</u> phile
16 S -2 0 4 6	<u>Chalco</u> phile	7 N -3 0 3 5	<u>Atmo</u> phile
61 Pm 3	<u>N'existe pas</u>		

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

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

Atmophile (qui aime la phase gazeuse)

- Les éléments qui se partitionnent dans les phases gazeuses
- inclue H et N (H_2 et N_2) et les gaz nobles

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

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

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

Exceptions et Surprises

- l'Oxygène est lithophile plutôt qu'atmosphile car il a tendance à s'ioniser à O^{2-}
- Le Fe est sidérophile, mais est le 4^{ème} plus important élément de la croûte terrestre dans les sulfures (chalcophile), dans les oxydes de Fe (lithophile) et dans les silicates Fe-Mg (lithophile)
- C et P se dissolvent dans le fer fondu sous des conditions de réduction (sans O) mais C peut être à la fois atmosphile et lithophile sous des conditions oxydantes.
- L'état d'oxydation est important – Cr^{6+} est lithophile, Cr^{3+} est chalcophile
- Le noyau de la terre doit être riche en or!

Abondance des elements dans la croute

