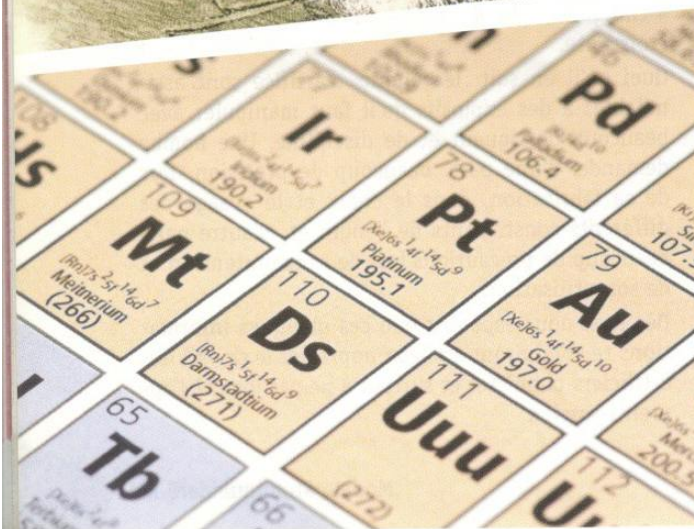
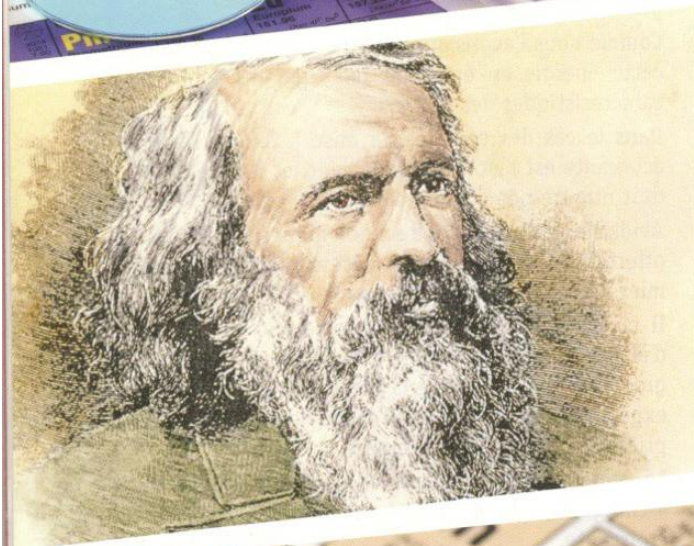
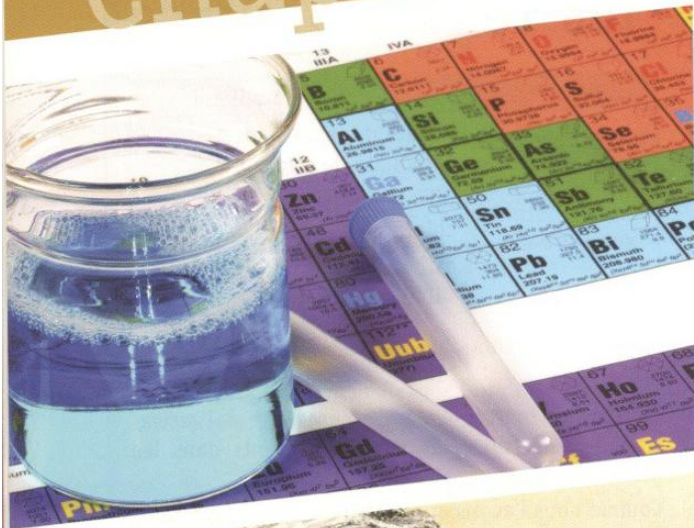


Chapitre 20



Le tableau périodique des éléments

Dimitri Mendeléeïv a son nom incontestablement lié au tableau des éléments chimiques. Grâce au classement qu'il ébaucha, et que d'autres complétèrent, les chimistes disposent aujourd'hui d'un outil de travail indispensable.

Mise en situation

Tu as appris qu'il existe dans la nature 92 sortes d'atomes différents caractérisés chacun par un numéro atomique spécifique Z (par exemple : $Z_{\text{Fe}} = 26$; $Z_{\text{C}} = 6$).

Pour les chimistes, l'ensemble des atomes du même numéro atomique Z constitue un *élément*.

Ainsi l'ensemble des atomes de $Z = 26$ constitue l'élément fer et l'ensemble des atomes de $Z = 6$ constitue l'élément carbone.

La matière est donc communément caractérisée par les éléments qu'elle renferme.

Lorsqu'en 1869, Mendeléeïev conçut son tableau des éléments, il ne connaissait ni les électrons, ni les protons, ni les neutrons.

En effet, les modèles atomiques de Thomson, Rutherford, Chadwick et Bohr ne furent élaborés qu'à partir de 1890.

Comme beaucoup de chimistes avant lui, Mendeléeïev présentait l'existence d'une périodicité dans les propriétés des éléments. Il s'attacha à trouver cette « *loi périodique* ».

Il disposait d'informations éparses sur la soixantaine d'éléments connus à son époque : masses atomiques relatives, valences, diverses propriétés physico-chimiques et sans doute des notes sur les tentatives de classification de ses prédécesseurs.

Après de nombreux essais de classification, il proposa son « *tableau des éléments* » (voir le « Pour en savoir plus » en fin de chapitre).

Pour comprendre son cheminement, nous allons adopter une démarche que Mendeléeïev aurait pu suivre pour classer les éléments connus à son époque.





Analyser des résultats expérimentaux.

Réaliser un graphique en vue de valider la disposition des éléments dans le tableau de Mendelév.

L'étude de quelques propriétés physiques (état solide, brillance, malléabilité, conductivité électrique) et de quelques propriétés chimiques (valence, réactivité avec O_2 , H_2O et HCl) nous a amenés à attribuer un **indice de propriétés I.P.** aux 20 premiers éléments.

Cet indice de propriétés correspond à la somme des notes attribuées à chaque élément pour chacune des propriétés étudiées.

Quand l'élément a la propriété considérée, on lui donne la note 1 ; s'il ne l'a pas, la note 0 et s'il y a un doute, la note 0,5.

Ainsi, le phosphore a un I.P. égal à 3 parce qu'il est solide, qu'il a une valence et qu'il réagit avec le dioxygène.

Voici le tableau indiquant les indices de propriétés I.P. de ces éléments, classés par ordre alphabétique :

Éléments	I.P.	Éléments	I.P.
azote 14	1	hydrogène 1	1
aluminium 27	5,5	lithium	8
argon 40	0	magnésium 24	7
béryllium 80	7	néon	0
bore 14	5	oxygène	1
calcium	7,5	phosphore	3
carbone 12	3	potassium 39	8
chlore 35	1	silicium 28	3,5
fluor 11	1	sodium 23	8
hélium 4	0	soufre 32	2

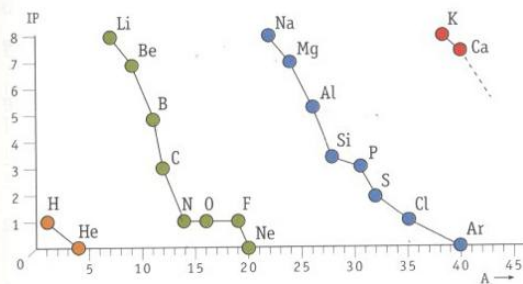
À l'aide des données de ce tableau :

- réalise le graphique représentant les propriétés physico-chimiques (I.P.) des 20 éléments en fonction de leur masse atomique relative A_r ;
- accompagne chaque point du symbole de l'élément ;
- décris l'allure du graphique ;
- analyse ensuite le graphique ;
- précise en combien de groupes distincts tu peux classer ces 20 éléments.

Appropriation

Les périodes

Lorsqu'on analyse le graphique de la relation entre les propriétés physico-chimiques retenues pour les 20 premiers éléments et leur masse atomique relative ($I.P.$ en fonction de A_r) on constate qu'il existe des similitudes dans la disposition des éléments.



Dans le graphique tu peux facilement observer, même avec cette liste incomplète d'éléments, une répétition dans la décroissance de l'I.P.

L'I.P. décroît de l'hydrogène à l'hélium, du lithium au néon, du sodium à l'argon.

La décroissance de l'I.P. du potassium au calcium laisse prévoir une allure graphique similaire à celle des trois groupes précédents.

Les **discontinuités** dans le graphique montrent clairement qu'il faut rassembler ces éléments en **4 groupes**.

Dans chacun de ces groupes, la variation de l'I.P. est plus ou moins analogue.

Cette analogie se reproduit périodiquement :

- le **premier groupe** se compose des **2 éléments H et He**, l'I.P. variant de 1 à 0 ;
- le **deuxième** se compose de **8 éléments, de Li à Ne**, l'I.P. variant de 8 à 0 ;
- le **troisième** se compose de **8 éléments, de Na à Ar**, l'I.P. variant de 8 à 0 ;
- le **quatrième** commence par **K et Ca**, l'I.P. initial étant aussi 8.

Chacun de ces groupes d'éléments correspond, dans le tableau de Mendelév, à une ligne horizontale du tableau.

Dans chaque ligne de ce tableau, les éléments se placent dans le même ordre que dans le graphique.

Les critères de classification retenus ($I.P.$ et A_r) t'ont donc permis de classer les 20 premiers éléments en 4 groupes appelés « **périodes** ». Elles correspondent aux 4 premières lignes horizontales du tableau de Mendelév qui se trouve à la fin de ce manuel.



Les chimistes appellent **période** chaque ligne horizontale du tableau de Mendelév, pour rappeler la périodicité dans le classement.

Et si tu suivais la même démarche pour les autres éléments, tu obtiendrais 3 autres groupes. C'est pourquoi il y a en tout 7 périodes dans le tableau de Mendelév, appelé à raison « tableau périodique ».

- La 1^{re} période ne contient que 2 éléments : H et He.
- Les 2^e et 3^e périodes contiennent chacune 8 éléments.
- Les 4^e et 5^e périodes contiennent chacune 18 éléments.
- Les 6^e et 7^e périodes regroupent respectivement 32 et 24 éléments.

On y trouve 2 groupes particuliers :

- dans la 6^e période, les lanthanides (éléments qui suivent le lanthane) ;
- dans la 7^e période, les actinides (éléments qui suivent l'actinium).

Ces éléments ne sont pas classés dans leur période respective afin de ne pas étaler démesurément le tableau.

De plus, tu observeras et retiendras que, dans le tableau périodique, **le numéro de la période correspond au nombre de couches électroniques des éléments de cette période.**

Ainsi,

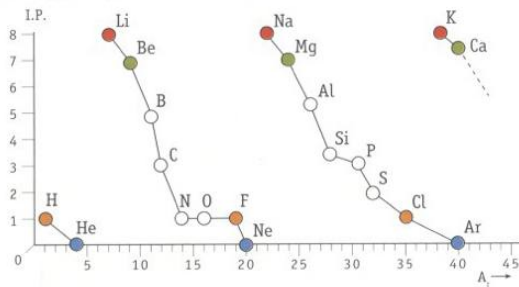
- la période 1 rassemble les éléments possédant 1 couche électronique : K ;
- la période 2 rassemble les éléments possédant 2 couches : K et L ;
- la période 3 rassemble les éléments possédant 3 couches : K, L et M.

Le schéma ci-contre montre une partie d'un tableau des éléments : on y voit le début de la deuxième et de la troisième période.

2	K	3	1,0	4	1,5
	L	Li	Be		
3	K	11	0,9	12	1,2
	L	Na	Mg		
	M				
			22,99	24,31	

Les familles

L'analyse du graphique des indices de propriétés (I.P.) des 20 premiers éléments en fonction de leur masse atomique relative A_r montre que certains éléments ont (quasi) les mêmes valeurs d'I.P.



En relevant et en comparant les I.P. du premier, deuxième, avant-dernier et dernier élément de chacune des périodes ébauchées sur le graphique, tu peux constater que :

- chaque période (sauf la première) débute par un élément dont l'I.P. est égal à 8 ;
- le 2^e élément de chaque période (sauf la première) a un I.P. de 7 ;
- l'avant-dernier élément des 3 premières périodes a un I.P. de 1 ;
- le dernier élément des 3 premières périodes a un I.P. égal à 0.

En regroupant, en colonnes, les premiers éléments de chaque période, puis les seconds, avant-derniers et derniers éléments, tu obtiens ainsi 4 nouveaux groupes :

H	Be	F	He
Li	Mg	Cl	Ne
Na	Ca		Ar
K			

Chacun de ces groupes rassemble des éléments présentant des similitudes de propriétés, excepté l'hydrogène qui a des propriétés très différentes de Li, Na et K.

Sa position dans ce groupe sera justifiée plus tard. Les 4 groupes correspondent, dans le tableau de Mendelév, au début de certaines colonnes du tableau.

En comparant la répartition électronique des éléments et leur I.P., tu peux constater que les éléments qui ont le même nombre d'électrons externes (ou de valence) ont quasi les mêmes indices de propriétés (sauf H).

Ainsi,

- Li, Na, K ont 1 électron externe et un indice de propriétés de 8 ;
- Be, Mg, Ca ont 2 électrons externes et un indice de propriétés de 7 ;
- F, Cl ont 7 électrons externes et un indice de propriétés de 1 ;
- Ne, Ar ont 8 électrons externes et un indice de propriétés de 0.

Il apparaît donc que les éléments qui ont le même nombre d'électrons externes (ou de valence) ont des propriétés semblables.

Les critères de classification retenus (I.P. analogues et A_r) t'ont donc permis de classer ces éléments en 4 groupes verticaux appelés « familles ». Elles correspondent à 4 colonnes du tableau de Mendelév.

1	K	1	2,1			2	-		
		H				He	K		
			1,01				4,00		
2	K	3	1,0	4	1,5	9	4,0	10	-
	L	Li	Be	F	Ne				K
			6,94	9,01		19,00		20,18	L
3	K	11	0,9	12	1,2	17	3,0	18	-
	L	Na	Mg	Cl	Ar				L
	M								M
			22,99	24,31		35,45		39,95	
4	K	19	0,8	20	1,0				
	L								
	M								
	N								
			39,10	40,08					

En suivant la même démarche pour les autres éléments, tu obtiendrais d'autres colonnes du tableau de Mendelév, à condition de multiplier les critères d'évaluation de leur I.P.

Tu séparerai ainsi des éléments d'une même période dont l'I.P. est jusqu'ici identique (par exemple azote, oxygène et fluor) qui ne se distinguaient que par leur A_r .



Les chimistes appellent **famille** chaque colonne du tableau de Mendelév, pour rappeler la similitude de propriétés des éléments y figurant.

Il y a, au total, 8 familles principales dans le tableau de Mendelév : ce sont les familles a, notées de Ia à VIIIa (ou zéro).

Les familles a

Les chimistes ont donné aux **familles a** des noms particuliers ; tu les mémoriseras parfaitement car ils seront très souvent utilisés par la suite.

En voici la liste :

- famille Ia : les alcalins (de l'arabe « alcali » soude) ;
- famille IIa : les alcalino-terreux (dont les propriétés se situent entre celles des alcalins et des terreux) ;
- famille IIIa : les terreux (l'aluminium est l'un des éléments les plus abondants dans la croûte terrestre) ;
- famille IVa : les carbonides (de la famille du carbone) ;
- famille Va : les azotides (de la famille de l'azote) ;
- famille VIa : les sulfurides (de la famille du soufre) ;
- famille VIIa : les halogènes (engendrant les sels ; « halos » signifie sel en grec) ;
- famille VIIIa ou 0 : les gaz inertes, éléments se distinguant par leur absence presque totale de réactivité (d'où le nom de gaz nobles que les chimistes leur donnent parfois par analogie avec les métaux nobles (Au, Pt) qui réagissent difficilement).

Les familles b

Les colonnes centrales du tableau de Mendelév regroupent d'autres familles : les **familles b**.

Le tableau comporte 8 familles b, situées entre les familles IIa et IIIa, numérotées de Ib à VIIIb. Les éléments de transition qui composent ces familles sont aussi groupés suivant leurs similitudes de propriétés.

Le numéro de ces familles b rappelle qu'ils ont quelques propriétés analogues aux éléments de même numéro dans les familles a.

Ainsi, les éléments de la famille Ib (Cu, Ag, Au) forment, entre autres, les molécules CuCl, AgCl et AuCl comme les éléments de la famille Ia forment les molécules LiCl, NaCl et KCl.

De même, Mn (famille VIIb) et Cl (famille VIIa) se retrouvent dans deux molécules analogues : KMnO_4 et KClO_4 .

Modèle de Lewis des éléments des familles a

Pour schématiser la composition électronique de la couche externe des éléments modélisée par Bohr, les chimistes utilisent souvent la représentation de G. Lewis¹.



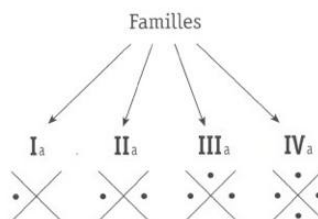
G. Lewis

Lewis symbolise la couche électronique externe d'un élément par une croix qui contient de 1 à 8 électrons selon la famille.

Il distribue successivement dans la croix les quatre premiers électrons représentés par un point « • ».

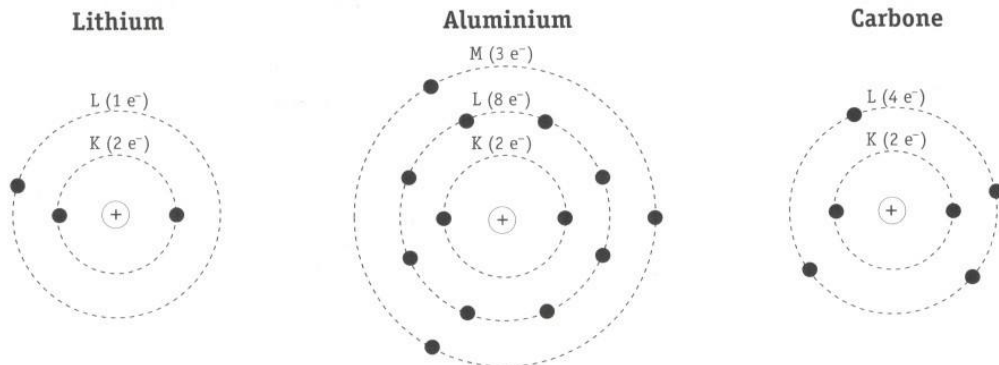


Ces **électrons** esseulés sont dits « **célibataires** ».

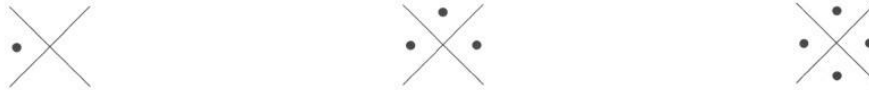


¹ Gilbert Newton Lewis (1875-1946), physico-chimiste américain.

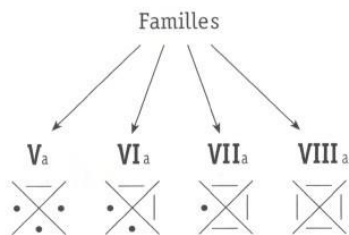
Ainsi, aux modèles de Bohr suivants :



correspondent les modèles de Lewis suivants :

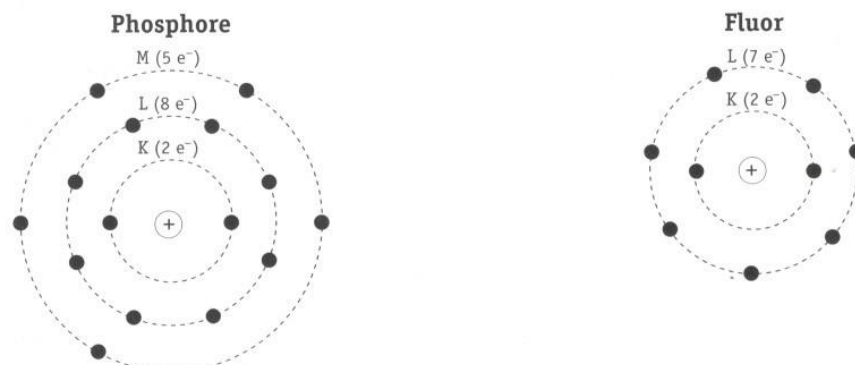


Ensuite, il distribue les électrons supplémentaires de façon à constituer, avec les e^- déjà placés, des paires d'électrons représentées par une barre « — » (ou parfois par deux points « •• »).



Les **électrons** d'une paire sont dits « **appariés** » : ils constituent ce que les chimistes appellent un **doublet électronique**.

Ainsi aux modèles de Bohr suivants :



correspondent les modèles de Lewis suivants :



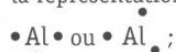
En général, tu retrouveras ces croix dessinées au-dessus des familles a du tableau périodique, ce qui signifie que tous les atomes d'une même famille a ont le même nombre d'électrons sur leur couche externe.

Si Lewis veut représenter un élément particulier d'une des familles a, il indique autour du symbole de cet élément, le ou les électrons externes et ignore le noyau et les électrons internes.

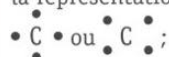
Ainsi,

- pour l'atome H,
la représentation de Lewis est $H\cdot$;

- pour l'atome Al,
la représentation de Lewis est



- pour l'atome C,
la représentation de Lewis est



- pour l'atome O,
la représentation de Lewis est



- pour l'atome Cl,
la représentation de Lewis est



C O U C H E S	I _a	II _a	III _a	IV _a	V _a	VI _a	VII _a	VIII _a
		$\cdot\text{X}$	$\cdot\text{X}\cdot$	$\cdot\text{X}\cdot$	$\cdot\text{X}\cdot$	$\cdot\text{X}\cdot$	$\cdot\text{X}\cdot$	$\cdot\text{X}\cdot$
K	1 2,1 H 1,01							2 - He 4,00
K	3 1,0 Li 6,94	4 1,5 Be 9,01	5 2,0 B 10,81	6 2,5 C 12,01	7 3,0 N 14,01	8 3,5 O 16,00	9 4,0 F 19,00	10 - Ne 20,18
L	11 0,9 Na 22,99	12 1,2 Mg 24,31	13 1,5 Al 26,98	14 1,8 Si 28,09	15 2,1 P 30,97	16 2,5 S 32,06	17 3,0 Cl 35,45	18 - Ar 39,95

Tu trouves maintenant une explication de la position de l'hydrogène dans le tableau périodique. Bien qu'il ne soit pas un alcalin, il est placé dans la colonne Ia et non dans la colonne VIIa, parce qu'il ne possède qu'un seul électron sur la couche externe.

Enfin, si nous mettons en parallèle le nombre d'électrons célibataires sur la dernière couche des éléments des familles Ia à VIIa et leur capacité de liaison, c'est-à-dire leur valence, nous constatons que la **capacité de liaison d'un atome d'une famille est égale au nombre d'électrons célibataires de cet atome.**

Nous trouvons ainsi une justification aux valences des éléments que tu as mémorisées en 3^e année.

I _a	II _a	III _a	IV _a	V _a	VI _a	VII _a	VIII _a
$\cdot\text{X}$	$\cdot\text{X}\cdot$	$\cdot\text{X}\cdot$	$\cdot\text{X}\cdot$	$\cdot\text{X}\cdot$	$\cdot\text{X}\cdot$	$\cdot\text{X}\cdot$	$\cdot\text{X}\cdot$
1 e ⁻ célibataire	2 e ⁻ célibataires	3 e ⁻ célibataires	4 e ⁻ célibataires	3 e ⁻ célibataires	2 e ⁻ célibataires	1 e ⁻ célibataire	0 e ⁻ célibataire
1 capacité de liaison	2 capacités de liaison	3 capacités de liaison	4 capacités de liaison	3 capacités de liaison	2 capacités de liaison	1 capacité de liaison	0 capacité de liaison

Exercices, problèmes et tâches

1 Quelle est l'idée essentielle qui nous a permis d'aboutir à une classification en périodes ?

2 Sur quel(s) critère(s) les chimistes se sont-ils basés pour classer les éléments en familles ?

3 En t'aidant du tableau périodique, cite 3 éléments alcalins, 2 éléments carbonides et 3 éléments halogènes.

4 Quel est l'élément faisant partie

a) de la période 3 et de la famille IVa ?

b) de la période 4 et de la famille IIa ?

5 Complète le tableau suivant :

Nom de l'élément	Symbole	N° de la période	N° de la famille	Nom de la famille
	P			
Brome				
Magnésium				
	Cl			
	N			
Étain				

6 Quels renseignements peux-tu fournir à propos des éléments de numéro atomique Z valant 1, 6, 8, 11 et 65, après consultation de leur case dans le tableau de Mendelév ?

7 Complète le tableau ci-dessous :

Élément	Symbole	Z	Nombre total de particules			Structure en couches électroniques				Nbre d'e ⁻ externes	Structure de Lewis	N° et nom famille « a »	N° période
			e ⁻	p ⁺	n ⁰	K	L	M	N				
calcium	Ca	20	20	20	20	2	8	8	2	2	••	alcalino-terreux IIa	4
Phosphore	P	15	15	15	15	2	8	5	0	5	•••••	oxygène IIIa	3
silicium	Si	14	14	14	14	2	8	4	0	4	••••	carbonés IIIa	3
gallium	Ga	31	31	31	31	2	8	18	3	3	•••	terreux IIIa	4
	As	33	33	33	33	2	8	18	5	5	•••••	oxygène IIIa	4
Oxygène	O	8	8	8	8	2	6	0	0	6	•••••	sulfure VIa	2

8 Complète le tableau suivant :

Famille	Nom de la famille	Nombre d'e ⁻ de valence	Nombre d'e ⁻ célibataires	Nombre de doublets	Modèle de Lewis
Ia					
IIa					
IIIa					
IVa					
Va					
VIa					
VIIa					
VIIIa					



9 Trois éléments présentent les caractéristiques suivantes :

X : 20 e⁻, 20 p⁺ et A_r = 40 *Ca*

Y : 14 e⁻, 14 p⁺ et A_r = 28 *Si*

Z : 53 e⁻, 53 p⁺ et A_r = 127 *I*

a) Donne le nom des éléments X, Y et Z.

b) Dans quelle catégorie de corps purs simples places-tu chacun des trois corps X, Y et Z ?

c) À quelles propriétés physiques doit-on s'attendre pour les corps X, Y et Z ?

d) Cite deux éléments qui auraient des propriétés semblables à X, Y et à Z.

e) À quelle période appartient chacun des éléments X, Y et Z ?

f) Donne le nom des familles où se situent X, Y et Z.

g) Recherche de l'information relative à ces trois éléments et présente brièvement (10 lignes) leur utilisation dans la vie courante.

10 Imagine être « Monsieur Argent (Ag) ».

Rédige une lettre d'environ une demi-page à Madame Oxygène (O) dans laquelle tu te présentes en lui donnant un maximum de renseignements sur toi.



11 Voici 21 éléments (ils sont inventés !) et leur masse atomique.

Ad	Su	Pf	Rt	Qp	Aw	Bv
8	27	24	13	33	19	32
Xv	Cn	Fk	Up	Oy	Za	We
37	4	40	23	43	2	21
Ma	Rs	Bd	Nc	Im	Lv	Ay
10	26	20	5	30	35	15

On sait que :

- parmi ceux-ci, Za, Rt, Up, Im et Fk sont les seuls éléments d'une même famille ;
- parmi ceux-ci, Nc, Aw et Qp sont les seuls éléments d'une autre famille ;
- la loi de périodicité est respectée.

- a) Construis un tableau comme celui de Mendelév.
- b) Quelle hypothèse peux-tu proposer pour expliquer l'anomalie de la composition de la famille qui ne comprend que 3 éléments Nc, Aw, Qp ?



12 Tu as étudié les propriétés de différents éléments du tableau périodique et tu t'es aperçu de la périodicité de ces propriétés. L'énergie d'ionisation mesure l'énergie qu'il faut fournir à un électron pour qu'il soit capable de quitter la couche électronique externe. L'énergie de première ionisation concerne le premier électron arraché à un atome.

- a) Relève les énergies de première ionisation des 20 premiers éléments du tableau périodique (voir Annexe 2).
- b) Établis le graphique de l'énergie de première ionisation en fonction du numéro atomique.
- c) Détermine si on retrouve une structure périodique dans ce graphique, en accord avec la classification périodique.

La même démarche peut aussi être réalisée en analysant l'évolution des températures de fusion ou d'ébullition des 20 premiers éléments du tableau périodique.