

Aborder l'élément chimique, la structure de l'atome et l'isotopie en seconde

par Jacques ROYER
Lycée Aristide Briand
Avenue Pierre de Coubertin - 44606 Saint-Nazaire

RÉSUMÉ

Cet article regroupe quelques suggestions d'activités pédagogiques autour des notions d'élément chimique, de structure atomique et d'isotopie.

L'ÉLÉMENT CHIMIQUE

Lors de l'introduction d'une notion physique ou chimique abstraite, il est souvent indispensable d'avoir recours à une illustration par analogie avec un concept de la vie courante. Cette technique pédagogique, même si elle présente quelques risques comme le font remarquer P. FRÉCHEN-GUES et J.-M. DUSSEAU [1] à propos de l'analogie hydraulique pour aborder l'intensité électrique, s'avère pourtant particulièrement précieuse. Ainsi pour ne citer qu'un exemple, l'analogie entre le potentiel électrique V et l'altitude z permet de faire comprendre qu'il est nécessaire de choisir arbitrairement une origine (potentiel ou altitude zéro) et que ce choix ne modifie pas la valeur de la grandeur mesurable (différence de potentiel $U_{AB} = V_A - V_B$ ou hauteur $h_{AB} = z_A - z_B$).

Lorsqu'en plus l'analogie revêt un caractère ludique, son impact sur l'attention des élèves ne peut qu'en être meilleur.

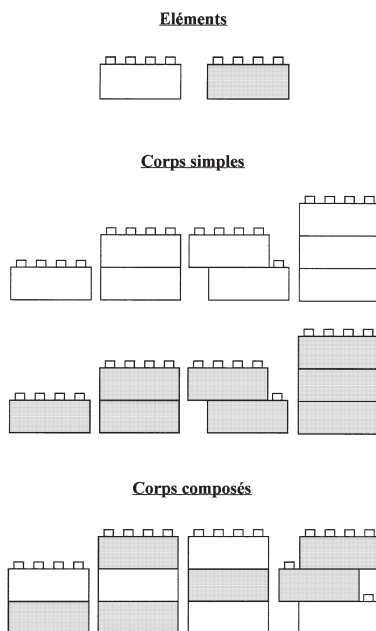


Figure 1 : Illustration des notions d'élément, de corps simple et de corps composé à l'aide d'un jeu de construction.

C'est le cas de l'emploi de ballons de baudruche pour illustrer l'encombrement des doublets électroniques dans le cadre de la méthode VSEPR (Valence Shell Electron Pair Repulsion) introduite en terminale scientifique depuis 1995/1996. De même, la présentation du concept d'élément chimique en seconde à l'aide d'un jeu de construction (figure 1) est un moyen beaucoup plus sûr de «séduire» les élèves qu'une délicate définition comme celles rencontrées dans certains manuels : «l'élément est la partie commune à tous les corps qui le contiennent "ou" l'élément est ce qui est commun à un corps simple et à tous ses composés».

Cette méthode, qui ne peut être qu'un préambule à des développements plus classiques (T.P. relatif à la conservation de l'élément chimique, par exemple), est cependant très efficace pour appréhender la distinction entre élément et corps simple : des corps simples aux propriétés physico-chimiques différentes peuvent être constitués du même élément (carbone graphite et carbone diamant, variétés allotropiques du fer...) de même qu'une multitude d'assemblages différents peuvent être imaginés avec seulement quelques briques toutes identiques d'un jeu de construction.

LA STRUCTURE DE L'ATOME

L'étude de la structure atomique en seconde peut débiter par l'analyse d'un texte de Georges CHARPAK¹ [2] conduisant chaque élève à renseigner le tableau 1 et à en proposer un titre (description de l'atome ; les constituants de l'atome ; ...).

«Lorsque j'entrai au laboratoire dirigé par Joliot au Collège de France, la connaissance que j'avais de la structure de la matière ne devait guère dépasser celle acquise par un lycéen de 1993 abonné à de bonnes revues de vulgarisation. Je les résume rapidement : la matière est composée d'atomes, eux-mêmes constitués de noyaux entourés d'un cortège d'électrons. Les noyaux portent une charge électrique positive qui est de même valeur et de signe opposé à la charge des électrons qui gravitent autour du noyau. La masse d'un atome est concentrée dans le noyau. [...]

Le noyau de l'hydrogène, ou proton, porte une charge électrique positive. Celui-ci a un compagnon, le neutron, qui est neutre électriquement et a sensiblement la même masse. Tous deux s'associent de façon très compacte pour constituer les noyaux qui sont au cœur des atomes peuplant notre univers. Ils s'entourent d'un cortège d'électrons dont la charge compense exactement celle des protons. En effet, la matière est neutre sinon elle exploserait en raison de la répulsion qu'exercent l'une sur l'autre des charges de

1. Malgré la forte médiatisation du physicien Georges CHARPAK depuis que le prix Nobel lui a été décerné, il est regrettable d'observer que son nom n'évoque rien pour la très grande majorité des élèves de seconde.

même signe, positif ou négatif. Il faut avoir en tête l'échelle des dimensions. Le diamètre d'un atome est voisin d'un centième de milliardième de centimètre. Celui d'un noyau d'atome est cent mille fois plus petit. On voit donc que presque toute la masse d'un atome est concentrée en un noyau central et que, loin sur la périphérie, se trouve un cortège qui est fait de particules de charge électrique négative, les électrons. C'est ce cortège seul qui gouverne le contact des atomes entre eux et donc tous les phénomènes perceptibles de notre vie quotidienne, tandis que les noyaux, tapis au cœur des atomes, en constituent la masse».

Georges Charpak

Extrait du livre «La vie à fil tendu»

a)

Particule			
où ?			
charge			
masse			
combien ?			

b)

	particules du noyau		
Particule	électron	proton	neutron
où ?	autour du noyau	noyau	noyau
charge	négative (opp. charge proton)	positive (opp. charge électron)	0
masse	négligeable	presque comme le neutron	presque comme le proton
combien ?	autant que de protons	autant que d'électrons	

c)

	Les nucléons		
Particule	électron	proton	neutron
où ?	autour du noyau	noyau	noyau
charge	charge élémentaire -e	charge élémentaire + e	0
masse	m(électron) << m(nucléon)	m(proton) = 1836.m(électron) = m(neutron)	
combien ?	Z	Z	N = A - Z

(A : nombre de nucléons)

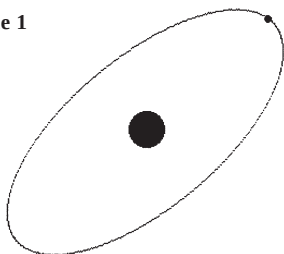
Tableau 1 : a) Tableau à compléter après lecture du texte de G. CHARPAK [2] ;
 b) Tableau complété uniquement avec les informations extraites du texte ;
 c) Tableau avec quelques données complémentaires.

A l'issue de cette courte étude documentaire, les élèves possèdent les informations essentielles sur la constitution de l'atome et de son noyau. Il ne reste plus qu'à préciser les ordres de grandeur de la masse et du rayon du noyau et de l'atome, à illustrer la structure lacunaire de l'atome par des images à notre échelle et à fournir quelques repères historiques.

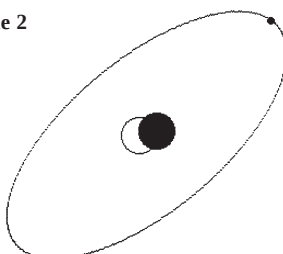
L'ISOTOPIE

Les élèves complètent aisément la légende de la figure 2 et décrivent la constitution des trois atomes schématisés. Ils remarquent qu'il s'agit de trois atomes différents du même élément hydrogène caractérisé par son numéro atomique $Z = 1$. Tout naturellement l'isotopie est alors définie.

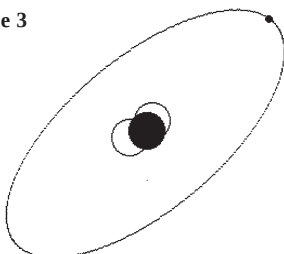
Atome 1



Atome 2



Atome 3



Légende

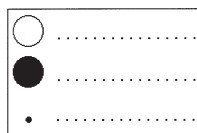


Figure 2 : Introduction de la notion d'isotopie à partir de la description des trois isotopes de l'hydrogène (légende à compléter par les élèves).

C'est aussi l'occasion d'insister sur la distinction entre élément chimique et atome. Le mot isotope créé en 1913 par Sir Frederick Soddy (1877-1956) ne signifie d'ailleurs rien d'autre que «dans la même case de la classification périodique» (du grec *iso* : égal et du grec *topos* : place).

L'approfondissement des acquis sur la structure atomique et l'isotopie peut être mené en utilisant le tableau des abondances relatives des isotopes naturels stables (tableau 2) distribué aux élèves en totalité ou en partie. Ce document est une base de données intéressante sur le plan scientifique mais aussi sur le plan pédagogique parce que son utilisation nécessite une réflexion préalable de la part de l'élève.

a)

↓Z	A→	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	←A	Z↓
1	H	100	<0,05																			H	1
2	He				100																	He	2
3	Li						7,5	92,5														Li	3
4	Be									100												Be	4
5	B										19,9	80,1										B	5
6	C												98,9	1,1								C	6
7	N														99,6	0,4						N	7
8	O																99,8	<0,05	0,2			O	8
9	F																			100		F	9
10	Ne																				90,5	Ne	10
↓Z	A→	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	←A	Z↓
10	(Ne)	0,3	9,2																			(Ne)	10
11	Na			100																		Na	11
12	Mg				79,0	10,0	11,0															Mg	12
13	Al							100														Al	13
14	Si								92,2	4,7	3,1											Si	14
15	P											100										P	15
16	S												95,0	0,8	4,2							S	16
17	Cl															75,8						Cl	17
18	Ar																0,3					Ar	18
19	K																		0,1			K	19
20	Ca																			93,3	<0,05	Ca	20
																				96,9			
↓Z	A→	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	←A	Z↓
19	(K)	6,7																				(K)	19
20	(Ca)		0,7	0,1	2,1																	(Ca)	20
21	Sc					100																Sc	21
22	Ti						8,0	7,3	73,8	5,5	5,4											Ti	22
23	V										0,3	99,7										V	23
24	Cr										4,3		83,8	9,5	2,4							Cr	24
25	Mn															100						Mn	25
26	Fe																91,7	2,1	0,3			Fe	26
27	Co																			100		Co	27
28	Ni																		68,1	26,2		Ni	28
↓Z	A→	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	←A	Z↓
28	(Ni)	1,2	3,6		0,9																	(Ni)	28
29	Cu			69,2		30,8																Cu	29
30	Zn				48,6		27,9	4,1	18,8		0,6											Zn	30
31	Ga									60,1		39,9										Ga	31
32	Ge										21,2		27,7	7,7	35,9							Ge	32
33	As															100						As	33
34	Se																9,4	7,6	23,8		49,6	Se	34
35	Br																			50,7		Br	35
36	(Kr)																		0,4		2,2	(Kr)	36
↓Z	A→	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	←A	Z↓
34	(Se)		8,7																			(Se)	34
35	(Br)		49,3																			(Br)	35
36	Kr			11,6	11,5	57,0		17,3														Kr	36
37	Rb					72,2		27,8														Rb	37
38	Sr				0,5		9,9	7,0	82,6													Sr	38
39	Y									100												Y	39
40	Zr										51,5	11,2	17,1									Zr	40
41	Nb													100								Nb	41
42	Mo												14,8		9,1	15,9	16,7	9,5	24,4		9,6	Mo	42
44	(Ru)																5,5		1,9	12,7	12,6	(Ru)	44

b)

↓Z	A→	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	←A	Z↓	
44	Ru	17,0	31,6		18,7																	Ru	44	
45	Rh			100																		Rh	45	
46	Pd		1,0		11,2	22,3	27,3															Pd	46	
47	Ag							51,8	26,5		11,7											Ag	47	
48	Cd						1,3		0,9	48,2		12,5	12,8	24,1	12,2	28,7	7,5					Cd	48	
49	In													4,3		95,7	0,3	14,5	7,7	24,2	8,6	32,6	In	49
50	Sn													1,0		0,7						Sn	50	
51	(Sb)																					(Sb)	51	
52	(Te)																				0,1	(Te)	52	
↓Z	A→	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	←A	Z↓	
50	(Sn)		4,6		5,8																	(Sn)	50	
51	Sb	5,7		42,6																		Sb	51	
52	Te		2,6	0,9	4,8	7,1	19,0		31,7		33,8											Te	52	
53	I							100														I	53	
54	Xe				0,1		0,1		1,9	26,4	4,1	21,2	26,9		10,4		8,9					Xe	54	
55	Cs													100								Cs	55	
56	Ba										0,1		0,1		2,4	6,6	7,9	11,2	71,7			Ba	56	
57	La																		0,1	99,9		La	57	
58	Ce																0,2		0,2		88,5	Ce	58	
↓Z	A→	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	←A	Z↓	
58	(Ce)		11,1																			(Ce)	58	
59	Pr	100																				Pr	59	
60	Nd		27,1	12,2	23,8	8,3	17,2		5,8		5,6											Nd	60	
62	Sm				3,1			15,0	11,3	13,8	7,4		26,7		22,7							Sm	62	
63	Eu											47,8		52,2								Eu	63	
64	Gd												0,2		2,2	14,8	20,5	15,6	24,8		21,9	Gd	64	
65	Tb																			100		Tb	65	
66	(Dy)																0,1		0,1		2,3	(Dy)	66	
↓Z	A→	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	←A	Z↓	
66	Dy	18,9	25,5	24,9	28,2																	Dy	66	
67	Ho					100																Ho	67	
68	Er		0,1		1,6		33,6	23,0	26,8		14,9											Er	68	
69	Tm									100												Tm	69	
70	Yb										0,1	3,1	14,3	21,9	16,1	31,8						Yb	70	
71	Lu															97,4	2,6					Lu	71	
72	Hf														0,2		5,2	18,6	27,2	13,6	35,1	Hf	72	
73	(Ta)																				<0,05	(Ta)	73	
74	(W)																				0,1	(W)	74	
↓Z	A→	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	←A	Z↓	
73	Ta	100																				Ta	73	
74	W		26,3	14,3	30,7		28,6															W	74	
75	Re					37,4		62,6														Re	75	
76	Os				<0,05		1,6	1,6	13,3	16,1	26,4		41,0									Os	76	
77	Ir											37,3		62,7								Ir	77	
78	Pt												<0,05	0,8		32,9	33,8	25,3				Pt	78	
79	Au																	100				Au	79	
80	(Hg)																0,1		10,0	16,9	23,1	(Hg)	80	
↓Z	A→	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	←A	Z↓	
80	Hg	13,2	29,8		6,9																	Hg	80	
81	Tl			29,5		70,5																Tl	81	
82	Pb				1,4		24,1	22,1	52,4													Pb	82	
83	Bi									100												Bi	83	
↓Z	A→	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	←A	Z↓	
90	Th												100									Th	90	
92	U														<0,05	0,7			99,3			U	92	

Tableau 2 : Abondance relative (%) des isotopes naturels stables (tableau regroupant les données de la référence [3]).

- a) $A \leq 100$.
- b) $101 \leq A \leq 238$.

Il n'existe pas à l'état naturel d'isotope stable des éléments : technétium Tc ($Z = 43$), prométhium Pm ($Z = 61$), polonium Po ($Z = 84$), astate At ($Z = 85$), radon Rn ($Z = 86$), Francium Fr ($Z = 87$), radium Ra ($Z = 88$), actinium Ac ($Z = 89$), protactinium Pa ($Z = 91$), neptunium Np ($Z = 93$), plutonium Pu ($Z = 94$), américium Am ($Z = 95$), curium Cm ($Z = 96$), berkélium Bk ($Z = 97$), californium Cf ($Z = 98$), einsteinium Es ($Z = 99$), fermium Fm ($Z = 100$), ménélevium Md ($Z = 101$), nobélium No ($Z = 102$) et lawrencium Lw ($Z = 103$).

De nombreux exercices peuvent être imaginés pour exploiter ce tableau de données. En voici quelques exemples :

– Construire l'histogramme ou le diagramme circulaire d'abondance relative des isotopes d'un élément.

– Quels sont les isotopes naturels stables possédant 40 nucléons ? Pour chacun, indiquer le nombre de protons ?

Réponse : argon 40 (18 protons), potassium 40 (19 protons) et calcium 40 (20 protons).

– Trouver les trois isotopes naturels stables dont le noyau contient 10 neutrons.

Réponse : oxygène 18, fluor 19 et néon 20.

– Trouver les cinq isotopes naturels stables dont le noyau contient 20 neutrons.

Réponse : soufre 36, chlore 37, argon 38, potassium 39 et calcium 40.

– Compléter le tableau suivant et déterminer l'isotope qui n'existe pas à l'état naturel :

Atome ou ion	Formule	Nombre de masse	Nombre de protons	Nombre de neutrons	Nombre d'électrons	Charge électrique
			3	4	3	
Chlore		35				
Ion fluorure				10		$-e$
Cuivre				35		
		44	20		18	

Réponse

Atome ou ion	Formule	Nombre de masse	Nombre de protons	Nombre de neutrons	Nombre d'électrons	Charge électrique
Lithium	Li	7	3	4	3	0
Chlore	Cl	35	17	18	17	0
Ion fluorure	F^-	19	9	10	20	$-e$
Cuivre	Cu	64	29	35	29	0
Ion calcium	Ca^{2+}	44	20	24	18	$+2e$

Le cuivre 64 n'est pas un isotope naturel.

– Calculer la masse moyenne d'un atome de chlore.

Réponse : $m(^{35}\text{Cl}) = 35.m_{\text{nucléon}}$; $m(^{37}\text{Cl}) = 37.m_{\text{nucléon}}$
 $m_{\text{moy}}(\text{Cl}) = 0,758.m(^{35}\text{Cl}) + 0,242.m(^{37}\text{Cl}) = 35,5.m_{\text{nucléon}} = 5,92.10^{-26} \text{ kg}.$

BIBLIOGRAPHIE

- [1] P. FRÉCHENGUES et J.-M. DUSSEAU : «*L'enseignement de l'intensité et de la représentation de l'atome vu par les enseignants de sciences physiques à travers les nouveaux programmes*», BUP n° 789, décembre 1996, pp.1961-1979.
- [2] G. CHARPAK : «*La vie à fil tendu*», Éditions O. Jacob, 1993, pp.139-141.
- [3] Handbook of Chemistry and Physics, 74th Edition, CRC Press, pp. 1-10 à 1-12.