

# Construire le tableau périodique des éléments

## *Pour une utilisation pédagogique d'informations historiques<sup>1</sup>*

par Bernadette BENSAUDE-VINCENT  
Philosophe - Maître de Conférence à l'Université Paris X  
et Dominique REBAUD  
Professeur de Sciences Physiques - Lycée de Saint-Cloud - INRP

---

Dans les années 1860, un professeur de chimie dans une lointaine université, à Saint-Pétersbourg, Dimitri Ivanovitch MENDELEÏEV (1834-1907) cherche en vain un manuel acceptable pour former ses étudiants à la chimie générale. Il décide alors de rédiger son propre manuel, qu'il publie entre 1869 et 1871<sup>2</sup>. Son titre *Principes de chimie* n'a rien d'original. Il reflète simplement l'esprit de l'époque : la chimie n'est plus comme au XVIII<sup>e</sup> siècle la science **des** principes ou éléments - comme la terre, l'air, l'eau et le feu ou phlogistique. Elle est une science **à** principes, c'est-à-dire qu'elle repose sur un petit nombre d'énoncés de base et sur quelques lois générales. Mendeleïev n'est ni le premier ni le dernier à essayer de classer les éléments. D'autres professeurs ont eu le même souci à la même époque et sont parvenus à des systèmes de classification plus ou moins élaborés.

Celui de Mendeleïev se distingue cependant des autres par deux avantages. Premièrement, il repose sur une loi - la «loi périodique» ainsi formulée : «les propriétés des corps simples, comme les formes et les propriétés des combinaisons, sont une fonction périodique de la grandeur du poids atomique». Cette loi commande la classification en fonction d'un critère principal, quantitatif, la masse atomique de chaque élément. De plus, Mendeleïev considérant cette loi comme générale, c'est-à-dire sans exception, parvient à classer **tous** les éléments connus et même des éléments inconnus. Ce tableau, fruit d'une aventure

- 
1. Nous tenons à remercier pour leur coopération tous les professeurs qui ont aidé à la mise au point de cette proposition : Chantal BRANCO, Marie-Agnès LAHELLEC, Claudine LARCHER, Sylvie LEFOUR.
  2. D.I. Mendeleïev, *Principes de chimie*, trad. fr. M.E. Aschkinasi et M.-H. Carrion, sur la sixième édition russe, Paris, 1895, 2 vol.

intellectuelle et pédagogique est devenu quelque chose comme une «charte» de la chimie.

Ainsi il existe historiquement un lien entre la construction du tableau et les préoccupations d'un professeur qui, de plus, révèle une liaison forte entre l'enseignement des principes de la chimie et la classification des éléments. Il n'est donc pas déraisonnable d'utiliser les informations historiques sur la démarche inventive de Mendeleïev pour expliciter ou renforcer les principes de base qui sous-tendent le programme de Seconde.

Il ne s'agit pas d'un détour ou d'un «divertissement» historique dans le cours de chimie. Le professeur peut d'ailleurs, étant donné les contraintes du programme, faire l'économie d'une véritable «plongée» dans le monde scientifique où travaillait Mendeleïev. Il s'agit simplement d'exploiter le contraste entre la démarche tâtonnante qui conduit Mendeleïev à la classification périodique et la démarche déductive moderne qui permet de présenter la classification périodique des éléments comme une conséquence de la structure électronique des atomes. Une telle confrontation permet aux élèves, «de prendre conscience du caractère évolutif des connaissances scientifiques» comme le préconisent les nouveaux programmes (B.O. du 24 septembre 1992), en les plaçant en situation active de recherche.

### **DES ACTIVITÉS «À LA CARTE»**

On propose une séquence à géométrie variable, composée de trois activités qui peuvent s'enchaîner suivant des combinaisons diverses. Dans les trois cas, les élèves sont mis en situation créative dans la mesure où c'est à eux de chercher, de réinventer et de construire le tableau périodique. Mais l'intérêt de la démarche proposée est de désacraliser ce «monument» en proposant aux élèves de le construire deux fois, à un siècle d'intervalle. L'activité 1, résolument «moderne», consiste à ordonner les éléments d'après les critères actuels de classification. Les activités 2 et 3, résolument «passéistes» invitent les élèves à «faire un bout de chemin avec Mendeleïev». Pour ce faire, on propose deux sources d'informations : d'une part un bref extrait des *Principes de chimie* expose les bases de la classification périodique, selon Mendeleïev (annexe 1); d'autre part, un «jeu de cartes» présente les caractéristiques individuelles d'une vingtaine d'éléments suivant à peu près les connaissances de Mendeleïev (annexe 2). L'activité 2

consiste à redécouvrir la structure d'ensemble du tableau périodique. L'activité 3 consiste à remplir les cases une à une.

Ces trois composantes offrent une grande flexibilité de choix de séquences dont on présente quelques échantillons :

- soit 1 + 2 (du présent au passé),
- soit 2 + 1 (du passé au présent),
- soit 3 tout seul,
- soit 2 + 3 (entièrement historique),
- soit 1 + 2 + 3 (du présent au passé),
- soit 2 + 3 + 1 (du passé au présent).

Certaines de ces séquences ont été testées en classe, à la fois dans des classes de seconde et dans des classes de philosophie (niveau DEUG). Ces mises à l'épreuve ont été extrêmement fructueuses pour affiner ou corriger sur certains points la démarche proposée et ont aidé à dégager clairement les objectifs pédagogiques.

### **LES OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE**

Pour les activités 1 et 2, il s'agit principalement de faire apparaître les relations entre les propriétés des corps simples ou des corps composés et la structure électronique des atomes. Ceci se fera en envisageant le classement des éléments d'un double point de vue :

- à partir de Z et du cortège électronique des atomes,
- à partir des masses atomiques, des propriétés physiques et chimiques des corps simples et des composés qu'ils forment.

Si les activités 1 et 2 permettent avant tout - mais pas exclusivement - un apprentissage de contenus, elles sont aussi particulièrement bien adaptées pour un apprentissage méthodologique. Les activités 2 et 3, invitent les élèves, par la résolution d'un problème, à se mettre en position d'acteurs. Ils auront à chercher eux-mêmes un chemin d'accès au savoir.

### **ACTIVITÉ 1 : LES CRITÈRES ACTUELS**

Cette première étape rappelle les critères actuels de classement, tels qu'ils sont exposés dans tous les manuels. Au lieu de les présenter dogmatiquement, ou de se contenter d'une anecdote historique en

passant, on suggère de les mettre en perspective historique en amorçant la lecture du texte de Mendeleïev. On pourra alors présenter le numéro atomique  $Z$  et la structure électronique comme les réponses actuelles à la question que pose Mendeleïev au début du texte «quelle est la cause de l'analogie et quel est le rapport des groupes d'éléments entre eux ?».

Quels sont les documents ou informations donnés aux élèves ?

- Une liste par ordre alphabétique des vingt premiers éléments avec leur numéro atomique.
- Les règles de remplissage des couches électroniques K, L, M, N.

Consignes données aux élèves :

- Envisager un classement des éléments par numéro atomique croissant et donner la structure électronique des atomes correspondants.
- Reprendre le classement précédent et le réorganiser en regroupant les atomes à partir du nombre d'électrons dans la couche externe.

## ACTIVITÉ 2 : «FAIRE UN BOUT DE CHEMIN AVEC MENDELEÏEV»

Pour inviter les élèves à faire un petit voyage dans le temps et se transporter vers 1860, il est préférable qu'ils n'aient pas sous les yeux le classement précédent et qu'une classification actuelle ne soit pas affichée dans la classe.

Que leur fournir comme documents et informations ? L'idéal serait de leur fournir comme bagage l'ensemble des connaissances dont disposait Mendeleïev. Mais la chimie du milieu du XIX<sup>e</sup> siècle est une chose bien trop complexe pour pouvoir être résumée en quelques minutes et assimilée par un élève de seconde<sup>3</sup>. Mais on peut se contenter d'une approche sommaire visant à sensibiliser les élèves à la manière dont se posent les problèmes, plus qu'aux solutions .

---

3. Pour approfondir ce point on peut consulter B. BENSUADE-VINCENT, «La genèse du tableau périodique de Mendeleïev», *La Recherche*, n° 159, 1984, 1206-1215 ; «La classification périodique des éléments» pp. 447-468, *Éléments d'histoire des sciences*, sous la direction de Michel SERRES, Paris Bordas, 1989.

### ***Pourquoi classer les éléments?***

D'abord parce qu'il y en a beaucoup et chaque jour davantage grâce aux progrès des techniques d'analyse qui ont permis aux chimistes du XIX<sup>e</sup> siècle d'isoler de nombreux corps simples. La pile de Volta, introduite en 1800, a fourni une première technique assez puissante - l'électrolyse - pour doubler le nombre d'éléments connus en l'espace de quelques années. Ensuite dans les années 1860, l'analyse spectrale a déclenché une nouvelle vague de découvertes.

Par ailleurs ces éléments sont bien identifiés grâce à leur masse atomique. L'idée qu'à chaque élément chimique correspondait une espèce particulière d'atomes a été introduite au début du XIX<sup>e</sup> siècle par un savant de Manchester, John DALTON. A chaque élément il a assigné un «poids atomique». Bien sûr il ne pouvait pas peser les atomes sur une balance ! Mais il déterminait ce «poids atomique» d'après la masse minimale de chaque élément qui entre en combinaison avec un autre, en prenant arbitrairement comme unité de référence  $H = 1$ .

On soulignera les préoccupations pédagogiques de Mendeleïv, professeur soucieux de mettre de l'ordre dans son cours. Que penser d'un professeur qui présenterait les éléments par ordre alphabétique, comme un dictionnaire ? Faudrait-il alors apprendre la chimie sans chercher à comprendre ?

### ***Comment classer les éléments ? Un jeu de patience !***

Pour aborder cette question on procédera à partir d'une lecture du texte de Mendeleïev qui met en évidence les raisons de choisir le «poids atomique» comme critère de classement. Mais le texte ne raconte pas comment, à partir cette décision, Mendeleïev est parvenu à l'idée d'une répétition périodique des propriétés. Il laisse même supposer que cette découverte découle immédiatement du choix du poids atomique comme critère de classement. On soulignera donc que ce texte laisse planer un mystère sur ce qui fut le temps fort de la découverte.

Par chance Mendeleïev, comme beaucoup de scientifiques, aimait à se raconter. Un jour il disait à quelqu'un qui l'interrogeait sur le comment de sa découverte : «Il faut chercher la dépendance fonctionnelle entre les propriétés individuelles des éléments et leur poids atomique. Quoique l'on cherche, ne fût-ce que des champignons, ou bien une fonction, cela ne peut se faire qu'en regardant et en essayant. Aussi, me suis-je mis à réunir (en établissant une fiche pour chaque

élément où j'insérais son poids atomique et ses propriétés essentielles) les éléments analogues et les poids atomiques approchants, ce qui me conduisit rapidement à la conclusion que les propriétés des éléments sont en rapport périodique avec leur poids atomique».

Suivant la démarche de Mendeleïev, on distribuera aux élèves un jeu de cartes d'identité des éléments contenant approximativement les informations que possédait Mendeleïev, du moins celles qui peuvent être accessibles aux élèves (annexe 1). Les cartes ci-jointes ont été actualisées au niveau du vocabulaire, par exemple, on a indiqué la masse atomique molaire et pas le poids atomique. Ce jeu comprend dix-huit cartes : les dix-sept premiers éléments, de l'hydrogène au calcium à l'exception de la dernière colonne qui était inconnue de Mendeleïev, auxquels a été ajouté le brome (les propriétés des corps simples correspondants aux halogènes peuvent être connues des élèves).

#### Consignes données aux élèves

Suivant la disponibilité des élèves et des horaires on peut suivre deux options :

##### ***a - La voie rapide avec balisage***

- A partir du texte de Mendeleïev, dégager les deux critères qui lui ont permis de classer les éléments et d'établir une périodicité (poids atomique croissant et analogie des propriétés pour établir les périodes).
- Retrouver cette périodicité établie par Mendeleïev à l'aide du jeu de cartes distribué et à partir des deux critères dégagés précédemment.

##### ***b - La découverte individuelle avec simple guidage***

- Envisager un classement des éléments avec des critères de votre choix.

Dans le cas de cette consigne, on distribue seulement aux élèves le jeu de cartes ; le texte de Mendeleïev leur sera communiqué après ce travail de recherche.

Cette démarche, testée auprès de quatre classes de Seconde, a suscité des réponses intéressantes. Les élèves ont adopté les critères suivants :

- ordre croissant de masse atomique molaire en allant à la ligne «par manque de place sur la table» !
- état physique des corps simples puis à l'intérieur de chaque groupe, critère de masse atomique croissante,

– ordre alphabétique.

Contrairement à la progression habituellement pratiquée en classe, les élèves ont suivi d'abord une séance de travaux pratiques sur les halogènes avant toute étude de la classification périodique. Les connaissances expérimentales acquises lors de cette séance de travaux pratiques ont été présentées aux élèves comme un exemple des connaissances expérimentales acquises à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, celles là-mêmes qui avaient permis aux chimistes de constater les analogies de comportement chimique entre corps simples ou corps composés contenant certains éléments. En s'appuyant sur ces résultats expérimentaux, l'enseignant a pu ainsi discuter avec les élèves de la pertinence du critère de classement suivant l'état physique des corps simples. En soulignant les limites de ce critère, il a pu introduire le critère de similitude des propriétés chimiques. Les élèves ont ainsi été amenés à reconsidérer leur premier classement et à regrouper, d'une part, les halogènes et d'autre part, à l'aide des cartes, les alcalins et les alcalino-terreux (analogie des propriétés évidente). Le dédoublement de ce dernier groupe s'est fait par comparaison des formules des corps composés. Cette comparaison a été suggérée par le professeur, car les élèves ont des difficultés à appréhender plusieurs facteurs de comparaison. A l'intérieur des trois familles, les élèves ont appliqué le critère de masse atomique croissante. Ils obtiennent ainsi les piliers de la classification périodique. De proche en proche, ils établissent la périodicité des premiers éléments en classant les «têtes» de familles par masse atomique croissante. Ils sont alors en mesure de s'approprier le texte (un peu difficile pour certains) où ils constateront que les deux critères de classement qui ont permis à Mendeleïev d'établir la périodicité sont ceux qu'ils viennent d'utiliser.

Il est assez gratifiant pour les élèves de confronter leur propre démarche, certes guidée par l'enseignant, avec la démarche constructive de Mendeleïev, que l'on peut recomposer d'après quelques unes de ses remarques et par l'ordre même des chapitres de ses *Principes de Chimie*. Après avoir regroupé - comme bien d'autres avant lui l'avaient fait - les éléments par familles d'après les analogies bien connues de propriétés chimiques et physiques des corps simples et corps composés, Mendeleïev a eu l'idée de comparer d'abord les éléments les plus dissemblables - les halogènes et les métaux alcalins - et ensuite seulement il a tenté de caser les éléments intermédiaires de la première période d'après l'ordre de masse atomique croissante. Il a donc procédé des bords au centre, des extrêmes au moyen.

Si on arrête là, pour conclure une séquence 1 + 2, ou 2 + 1 on pourra souligner la remarquable identité des deux classements malgré la différence de critères et en déduire la correspondance entre la structure électronique des atomes et les propriétés chimiques observables des corps simples qui leur correspondent. Sans prétendre «revivre les découvertes»<sup>4</sup>, les activités 2 + 1 permettent aux élèves d'acquérir les connaissances actuelles par une démarche de nature plus inductive que celle qui est habituellement pratiquée.

Si on a encore envie de «faire un bout de chemin» avec Mendeleïev, on abordera la troisième étape. Car, une fois acquise la forme globale du tableau, la charpente constituée des deux colonnes de métaux alcalins et halogènes avec la première période des éléments dits «typiques», il a fallu encore beaucoup de travail, de patience, d'essais et d'erreurs, pour parvenir à distribuer localement chaque élément dans le tableau.

### ACTIVITÉ 3 : LE REMPLISSAGE DU TABLEAU

Du point de vue de la démarche, cette activité est semblable à l'activité 2 décrite ci-dessus, mais elle plonge encore davantage les élèves dans un vécu d'hésitations et de tâtonnements. Cette deuxième étape vise précisément à montrer qu'une fois entr'aperçue la figure globale du tableau, il reste encore beaucoup de problèmes à résoudre, de multiples décisions à prendre pour assigner une place à chaque élément dans l'ensemble. On conduira les élèves à suivre une démarche analogue à celle de Mendeleïev ; démarche qui l'a amené à laisser deux cases vides dans la classification (point n° 6 du texte).

#### Consignes à donner aux élèves

• **Phase 1** (préparatoire, pour ceux qui n'auraient pas fait auparavant l'activité 2) :

On donne aux élèves la classification des premiers éléments (annexe 3) et la première partie du texte jusqu'à «c'est ce qu'énonce la loi périodique». Les propriétés des corps simples lithium, sodium et potassium d'une part, et celles du dichlore et du difluor d'autre part pourront illustrer la périodicité. On peut passer directement à la phase 2 si on a suivi l'activité 2.

4. Voir à ce sujet l'article de B. WOLFF, B.U.P. n° 732 - 1991 - p. 445 - «Sciences physiques telles qu'on les enseigne... et telles qu'elles se font : un divorce nécessaire ?».

• *Phase 2*

On annoncera aux élèves qu'ils feront un bout de chemin avec Mendeleïev. L'objectif est de montrer la difficulté de conjuguer l'ordre de poids atomiques croissants avec les analogies chimiques. On leur distribuera la classification jusqu'au zinc (annexe 3). Problème : Il s'agit de classer l'arsenic (75), le sélénium (79,4) et le brome (80).

D'après le critère des poids atomiques croissants, on a la configuration suivante :

	AL	Si	P	S	Cl
Zn	As	Se	Br		

Le professeur distribue alors les cartes d'identité de l'aluminium, de l'arsenic, du chlore, du brome (annexe 1). On demande aux élèves si le classement précédent permet de regrouper verticalement des éléments ayant des propriétés semblables. D'une part, les propriétés de l'aluminium et de l'arsenic ne sont pas radicalement différentes (on peut relever certaines similitudes), d'autre part les propriétés du dichlore et du dibrome sont semblables. Les élèves peuvent donc être amenés à proposer plusieurs configurations :

<b>1</b>	Al	Si	P	S	Cl
Zn	As	*	*	Se	Br

<b>2</b>	Al	Si	P	S	Cl
Zn	*	*	As	Se	Br

<b>3</b>	Al	Si	P	S	Cl
Zn	As	Se	*	*	Br

<b>4</b>	Al	Si	P	S	Cl
Zn	*	As	*	Se	Br

<b>5</b>	Al	Si	P	S	Cl
Zn	*	As	Se	*	Br

Une discussion peut s'instaurer sur le choix du bon classement. Si les élèves prennent conscience que le classement d'un élément dépend de ses voisins, ils demanderont les cartes d'identité du sélénium, du soufre, du phosphore et du silicium. Le professeur peut fournir ces cartes, mais il peut aussi recourir au critère de poids atomique: dans les classements 1 et 2, il y a une différence ou un «saut» de 10 entre les poids atomique du zinc et de l'arsenic. Or nulle part ailleurs n'existe un tel saut entre deux éléments voisins, sur une même ligne. Si comme

Mendeleïev, on croit à la régularité de la loi périodique (mais il faut bien souligner que c'est une confiance, presque une foi rationnelle) cette irrégularité doit être un argument pour préférer d'autres classements possibles. On examine alors les classements 2, 4, 5. On rejettera le 5 à cause des valeurs très proches des poids atomiques du sélénium et du brome. Pour trancher entre 2 et 4, Mendeleïev possédait plus d'informations que les élèves. On ne cherchera donc pas à masquer l'hésitation entre 2 et 4. On présente ensuite la classification dans sa version originale de 1869 (annexe 4). On remarquera qu'elle a une présentation inverse des tableaux devenus classiques : les groupes d'éléments semblables sont réunis sur une même ligne et les «périodes» sont ordonnées sur l'axe vertical; ce qui montre que la fonction périodique peut se représenter spatialement de plusieurs façons, et historiquement les formes les plus diverses, en 2D ou 3D ont été proposées<sup>5</sup>.

On soulignera surtout les points d'interrogation que Mendeleïev a placés entre 65 et 75 ainsi que la deuxième partie du texte. Dans ce cas, les élèves seront en mesure de «recevoir» cette énigme et de comprendre la fonction prévisionnelle de la classification de Mendeleïev.

## BILAN DE CES ACTIVITÉS

### 1 - Les difficultés rencontrées

La première question à résoudre est celle du temps consacré à cette séquence. Une heure et demie ou deux heures sont à prévoir. Il est recommandé d'effectuer cette séquence pendant une séance de T.P. afin que le professeur puisse guider les élèves dans leur recherche.

Les expériences effectuées en classe de seconde ont montré qu'il est difficile de présenter aux élèves la notion de poids atomique ainsi que l'établissement des formules brutes alors qu'ils n'ont pas encore abordé l'aspect quantitatif des réactions chimiques. On peut seulement les sensibiliser à ces données de l'époque en prenant l'exemple de la synthèse de l'eau. Les chimistes avaient constaté que les masses de dioxygène et de dihydrogène qui réagissent sont toujours dans des proportions de 8 g pour 1 g. En écrivant  $H_2 + 1/2 O_2 = H_2O$  et en attribuant 1 à l'hydrogène et 16 à l'oxygène, on retrouve le rapport de proportionnalité de 8. Mais il est exclu de pouvoir expliciter en cette

---

5. J.-W. van Spronsen, *The Periodic System of the Chemical Elements, A history of the First A hundred years*, Elsevier, Amsterdam, 1969.

période de l'année la controverse du début du XIX<sup>e</sup> siècle sur la formule de l'eau - H/H<sub>2</sub> ; O/O<sub>2</sub> ; HO/ H<sub>2</sub>O - qui impose de conjuguer la loi des proportions définies et la loi d'Avogadro.

## 2 - Les réflexions qu'on peut tirer avec les élèves

D'une telle séquence on peut tirer bien des bénéfices pédagogiques. On en présente ici un échantillon qui peut être enrichi par les enseignants qui pratiqueront et sans doute perfectionneront ces quelques propositions.

### *a - Sur la fonction des modèles.*

Alors que les élèves appréhendent souvent la structure atomique de la matière comme une géographie descriptive de la matière ayant caractère de réalité, on dégagera bien le statut épistémologique d'un modèle théorique. Cette notion peut être rendue accessible aux élèves de Seconde grâce au contraste entre les deux tableaux, celui de Mendeleïev reposant seulement sur des données macroscopiques physiques et chimiques, celui d'aujourd'hui sur une représentation de la structure microscopique de l'atome. On soulignera qu'une fonction essentielle du modèle de la structure de l'atome est de fournir un outil ou un instrument pour interpréter le domaine phénoménologique et le prévoir.

### *b - Éclairer les rapports entre physique et chimie*

Toujours à partir du contraste entre les deux tableaux à un siècle d'intervalle, on peut souligner l'apport de la physique à la chimie du début du XIX<sup>e</sup> siècle.

### *c - Différence entre élément chimique et corps simple*

La définition courante actuellement de l'élément par rapport à Z ne permet pas de faire saisir aux élèves une distinction conceptuelle, qui est fondamentale, entre élément et corps simple. Or la démarche de Mendeleïev, qui ne connaissait rien sur la structure de l'atome, peut aider à introduire et faire passer cette distinction. Mendeleïev commence l'article où il annonce la découverte de la classification périodique par cette remarque :

«De même que jusqu'à LAURENT et GERHARDT, on a employé les mots molécule, atome, équivalent les uns pour les autres indistinctement, de même, aujourd'hui, on confond souvent les expressions corps simple et

élément. Chacune d'elles cependant a un sens bien distinct, et qu'il importe de préciser pour éviter la confusion dans les termes de la philosophie chimique. Un corps simple est quelque chose de matériel, métal ou métalloïde, doué de propriétés physiques et capable de propriétés chimiques. A l'expression de corps simple correspond l'idée de molécules. (...) Il faut réserver, au contraire, le nom d'éléments pour caractériser les particules matérielles qui forment les corps et composés, et qui déterminent la manière dont ils se comportent au point de vue physique et chimique. Le mot élément appelle l'idée d'atome».

En distinguant ainsi l'élément du corps simple, et en mettant en parallèle le rapport entre ces deux notions avec le rapport entre atome et molécule, Mendeleïev établissait un solide réseau de concepts de base qui est **indispensable** aux élèves de Seconde.

#### *d - Les limites des prévisions de Mendeleïev*

On pourra aussi signaler que Mendeleïev ne connaissait pas les éléments de la dernière colonne (dits gaz rares). Et si l'on a du temps, on pourra mentionner qu'il a eu des difficultés à les intégrer quand les gaz rares furent découverts à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle. En effet comme Mendeleïev a construit son tableau en mettant en rapport le poids atomique des éléments et leurs propriétés chimiques et physiques, des éléments qui se caractérisent par leur «inertie» chimique posaient une difficulté difficilement surmontable.

#### *e - Du savoir qui se construit au savoir qui s'expose*

Enfin, pour pleinement comprendre la démarche de construction du savoir scientifique, on peut partir d'une confrontation entre la démarche tâtonnante (activité 2 ou 3) analogue à celle de Mendeleïev et la démarche apparemment facile et directe que suggère la lecture du texte pour souligner le contraste entre la démarche de recherche et la mise en forme des textes scientifiques. Ce contraste est similaire à celui qui existe en classe entre la recherche d'une solution à un problème et la rédaction de la solution. On peut ainsi inviter les élèves à réfléchir sur la fonction essentielle de l'écrit dans la démarche scientifique.

*Annexe 1*  
*Mendeleïev : principes de chimie*

Édition 1871, traduction française 1897 Paris  
(Bernard Tignol éditeur)

---

Plusieurs groupes d'éléments semblables sont connus depuis longtemps. L'oxygène, l'azote, le carbone etc. possèdent des analogues qui seront étudiés plus bas. Leur étude nous conduit nécessairement à la question suivante : quelle est la cause de l'analogie et quel est le rapport des groupes d'éléments entre eux ?

Sans avoir de réponses à ces questions, il n'est guère possible de grouper les éléments analogues sans tomber dans des erreurs grossières, attendu que les notions du degré de l'analogie ne sautent pas toujours aux yeux et ne sont pas d'une précision rigoureuse. Ainsi, par exemple, le lithium ressemble sous certains rapports au potassium ; par d'autres points, il se rapproche du magnésium ; le glucinium ressemble à l'aluminium et au magnésium. Le thallium, comme nous le verrons plus tard, et comme on l'a observé dès sa découverte, ressemble au plomb et au mercure mais possède en même temps une partie des propriétés du lithium et du potassium. Il est certain que, là où nous ne pouvons pas mesurer, il faut bon gré mal gré se borner à faire un rapprochement ou une comparaison basée sur les propriétés les plus évidentes qui sont parfois loin de présenter une précision absolue.

Les éléments ont cependant une propriété exactement mesurable, c'est leur poids atomique. Le poids de l'atome exprime la masse relative de l'atome ou, en d'autres termes, abstraction faite de la notion d'atome, cette grandeur montre le rapport qui existe entre les masses constituantes des unités chimiques indépendantes, c'est-à-dire des éléments. Or, il résulte de toutes les notions précises que l'on possède sur les phénomènes de la nature que toutes les propriétés d'une substance dépendent justement de sa masse, parce que toutes, elles sont fonction des mêmes conditions ou des mêmes forces qui déterminent le poids du corps ; or ce dernier est directement proportionnel à la masse de la substance. Il est donc tout naturel de chercher une relation entre les

propriétés analogues des éléments d'une part et leur poids atomique d'autre part.

Telle est l'idée fondamentale qui oblige à **disposer tous les éléments d'après la grandeur de leur poids atomique**. Cela fait, on remarque immédiatement la répétition des propriétés dans les périodes des éléments. Nous en connaissons déjà des exemples :

F1 = 19 ;	Cl = 35,5 ;	Br = 80 ;	I = 127 ;
Na = 23 ;	K = 39 ;	Rb = 85 ;	Cs = 133 ;
Mg = 24 ;	Ca = 40 ;	Sr = 87 ;	Ba = 137 ;

Les trois exemples ci-dessus permettent de saisir l'essentiel de la question. Les halogènes ont des poids atomiques plus petits que les métaux alcalins et ceux de ces derniers sont également inférieurs à ceux des métaux.

terreux. C'est pourquoi, **en disposant les éléments d'après la grandeur croissante de leur poids atomique, on obtient une répétition périodique des propriétés**. C'est ce qu'on nomme la **loi périodique** : *les propriétés des corps simples, comme les formes et les propriétés des combinaisons, sont en fonction périodique de la grandeur du poids atomique*.

La loi périodique et le système périodique tels qu'ils sont exposés ici ont été publiés dans la première édition de cet ouvrage commencé en 1868 et terminé en 1871. Au commencement de 1869 j'ai adressé à beaucoup de chimiste mon «*Essai d'un système de classification des éléments basé sur leur poids atomique et leur ressemblance chimique*», et, dans la séance du mois de mars 1869 de la société chimique Russe, j'ai parlé «*Du rapport entre les propriétés et le poids atomique des éléments*». Voici les conclusions de cet article :

«**1** - Les éléments disposés d'après la grandeur de leur poids atomique présentent une *périodicité* des propriétés.

**2** - Les éléments qui se ressemblent par leurs fonctions chimiques présentent des poids atomiques voisins (Pt, Ir, Os) ou bien croissant uniformément (K, Rb, Cs).

**3** - La disposition des éléments ou de leurs groupes d'après la grandeur du poids atomique correspond à leur *valence*.

**4** - Les corps simples les plus répandus sur la Terre ont un poids atomique *faible* et tous les éléments à poids atomiques faibles sont

caractérisés par des propriétés bien tranchées. Ce sont des éléments typiques.

**5** - La *grandeur* du poids atomique détermine le caractère de l'élément.

**6** - Il faut attendre la découverte de plusieurs corps simple encore *inconnus*, ressemblant, par exemple, à Al et Si et ayant un poids atomique 65-75.

**7** - La valeur du poids atomique d'un élément peut quelquefois être corrigée si l'on connaît ses analogues. Ainsi le poids atomique de Te n'est pas 128 mais il doit être compris entre 123 et 126.

**8** - Certaines analogies des éléments peuvent être découvertes d'après la "grandeur du poids de leurs atomes"».

Toute la loi périodique est renfermée dans ces lignes.



<p><b>NOM : ALUMINIUM</b>                      symbole : Al</p> <p>Masse atomique molaire: 27g. mol<sup>-1</sup></p> <p>Propriétés du corps simple aluminium : Métal blanc- bon conducteur de la chaleur et de l'électricité. T<sub>f</sub>=660° C                      T<sub>e</sub> = 2467 °C</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* s'oxyde à l'air.</li> <li>* réagit facilement avec l'acide chlorhydrique et lentement avec l'acide sulfurique dilué avec formation de dihydrogène.</li> <li>* réagit avec le dichlore.</li> </ul> <p>Formules de corps composés : AlCl<sub>3</sub> - Al H<sub>3</sub>- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></p>	<p><b>NOM : BROME</b>                      symbole : Br</p> <p>Masse atomique molaire: 80 g. mol<sup>-1</sup></p> <p>Propriétés du corps simple dibrome : Liquide volatil de couleur rouge sombre. T<sub>f</sub> = -7,2° C                      T<sub>e</sub> = 58,8° C</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* réagit avec le dihydrogène.</li> <li>* réagit avec les métaux: Na, Ca, Al...</li> <li>* réagit avec le phosphore blanc.</li> </ul> <p>Formules de corps composés : NaBr - HBr</p>	<p><b>NOM : CHLORE</b>                      symbole : Cl</p> <p>Masse atomique molaire: 35,5 g. mol<sup>-1</sup></p> <p>Propriétés du corps simple dichlore: Gaz verdâtre , peu soluble dans l'eau. T<sub>f</sub>= -101° C                      T<sub>e</sub> = -34,6° C</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* réagit violemment avec le dihydrogène</li> <li>* réagit avec les métaux: Na, Ca, Al, sauf l'or et le platine.</li> <li>* réagit avec le phosphore blanc.</li> <li>* l'arsenic brûle spontanément avec incandescence dans le dichlore.</li> </ul> <p>Formules de corps composés: NaCl - HCl</p>
<p><b>NOM : SOUFRE</b>                      symbole : S</p> <p>Masse atomique molaire : 32 g. mol<sup>-1</sup></p> <p>Propriétés du corps simple soufre: Solide jaune , isolant électrique. T<sub>f</sub>= 113° C                      T<sub>e</sub> = 445° C</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* réagit avec le dihydrogène.</li> <li>* s'enflamme dans le dioxygène.</li> <li>* réagit avec le fluor, le dibrome et le dichlore.</li> <li>* réagit avec la plupart des métaux et avec le phosphore, l'arsenic, et le carbone.</li> </ul> <p>Formules de corps composés : SO<sub>2</sub> - SO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>S</p>	<p><b>NOM : SODIUM</b>                      symbole : Na</p> <p>Masse atomique molaire: 23 g. mol<sup>-1</sup></p> <p>Propriétés du corps simple sodium : métal blanc argenté, mou. T<sub>f</sub> = 97,8 °C                      T<sub>e</sub> = 893 °C</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* s'oxyde à l'air</li> <li>* réagit violemment avec l'eau, avec formation de dihydrogène.</li> <li>* réagit avec le dichlore.</li> </ul> <p>Formules de corps composés : Na<sub>2</sub>O - NaCl</p>	<p><b>NOM : CALCIUM</b>                      symbole Ca</p> <p>Masse atomique molaire: 40 g. mol<sup>-1</sup></p> <p>Propriétés du corps simple calcium: Métal blanc brillant T<sub>f</sub>= 839 °C- T<sub>e</sub>= 1484 °C</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* a chaud, il brûle dans le dioxygène</li> <li>* réagit avec l'eau avec formation de dihydrogène</li> <li>* réagit avec le dichlore.</li> </ul> <p>Formules de corps composés : CaO - CaCl<sub>2</sub></p>

<p><b>NOM : ARSENIC</b>      symbole: As</p> <p>Masse atomique molaire: 75 g.mol<sup>-1</sup></p> <p>Propriétés du corps simple arsenic: Se présente sous forme d'un solide jaune ou sous forme d'un solide gris d'aspect métallique, cette dernière variété plus stable est bonne conductrice de la chaleur et de l'électricité. Tf= 817 °C (sous pression).    Ts= 613° C</p> <p>* ne s'oxyde pas à l'air sec mais s'oxyde en présence d'humidité. * brûle dans l'air sec à 200°C avec une flamme bleue. * réagit avec l'acide sulfurique concentré à chaud avec formation de SO2 * réagit avec l'acide nitrique, mais peu avec l'acide chlorhydrique. * s'enflamme spontanément dans le dichlore.</p> <p>Formules de corps composés : As2O3 - AsH3 - AsCl3</p>	<p><b>NOM : CARBONE</b>      symbole: C</p> <p>Masse atomique molaire: 12 g. mol<sup>-1</sup></p> <p>Propriétés du corps simple carbone: plusieurs variétés: solide noir(graphite)- solide transparent blanc: (diamant) Ts= 3652 °C                      Te =4827 °C médiocre conducteur de la chaleur et de l'électricité</p> <p>* s'oxyde dans l'air pour donner du monoxyde de carbone ou du dioxyde de carbone * réagit avec les oxydes métalliques comme l'oxyde de cuivre CuO. * Préalablement chauffé, réagit avec l'acide sulfurique avec formation de SO2.</p> <p>Formules de corps composés : On connaît actuellement plus d'un million de corps composés contenant l'atome de carbone. CO - CO2 - CH4 - CCl4</p>	<p><b>NOM : AZOTE</b>      symbole: N</p> <p>Masse atomique molaire : 14 g.mol<sup>-1</sup></p> <p>Propriétés du corps simple diazote: gaz incolore et inodore peu soluble dans l'eau -moins dense que l'air Tf= -210°C                      Te= -196°C</p> <p>* assez inerte chimiquement à T° et P ambiantes A haute température ou en présence d'étincelles électriques, il peut se combiner au corps simples suivants:</p> <p>* le dioxygène * les métaux * le dihydrogène</p> <p>Formules de corps composés : NO - NO2 - NH3</p>
<p><b>NOM : SILICIUM</b>      symbole Si</p> <p>Masse atomique molaire: 28 g.mol<sup>-1</sup></p> <p>Propriétés du corps simple silicium: solide bleu acier semi-conducteur.                      Te= 2680°C</p> <p>* chauffé à l'air, il brûle avec incandescence. * ne réagit pas avec les acides. * réagit avec de la soude à chaud pour donner du dihydrogène, * se combine à chaud avec le carbone.</p> <p>Formules de corps composés : SiO2 - SiH4 - SiCl4</p>	<p><b>NOM : OXYGENE</b>      symbole: O</p> <p>Masse atomique molaire: 16 g.mol<sup>-1</sup></p> <p>Propriétés du corps simple dioxygène : Gaz incolore et inodore, peu soluble dans l'eau, plus dense que l'air. Tf= -218,4°C                      Te= -183°C</p> <p>* se combine avec la plupart des corps simples en donnant des oxydes.</p> <p>Formules de corps composés : Na2O - CaO - H2O</p>	<p><b>NOM : FLUOR</b>      symbole: F</p> <p>Masse atomique molaire: 19 g.mol<sup>-1</sup></p> <p>Propriétés du corps simple difluor : gaz jaune, moins dense que l'air Tf= -219°C                      Te = -188, °C</p> <p>* décompose l'eau avec formation de dihydrogène * réagit avec le dihydrogène * réagit avec tous les métaux sauf l'or et le platine * réagit avec le phosphore</p> <p>Formules de corps composés : NaF - HF</p>

<p><b>NOM: PHOSPHORE</b>      symbole P</p> <p>Masse atomique molaire : 31g.mol<sup>-1</sup></p> <p>Propriétés du corps simple phosphore: Le phosphore peut se présenter sous forme d'un solide blanc qui luit à l'obscurité. A la lumière il devient jaune et se recouvre d'une couche de phosphore rouge</p> <p>Tf= 44,1 °C      Te = 280°C (pour le phosphore blanc)</p> <p>* La variété blanche réagit avec le dioxygène dès 60°C (par simple frottement avec un corps chauffé)</p> <p>* avec le dichlore (réaction vive)</p> <p>* avec des solutions basiques.</p> <p>* réagit avec tous les métaux y compris l'argent et le platine.</p> <p><u>Formules de corps composés :</u> PH<sub>3</sub> - P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - PCl<sub>3</sub></p>		
---	--	--



## *Annexe 4*

---

### La première classification périodique de Mendeleïev (1869)

I	II	III	IV	V	VI
			Ti = 50	Zr = 90	p = 180
			V = 51	Nb = 94	Ta = 182
			Cr = 52	Mo = 96	W = 186
			Mn = 55	Rh = 104,4	Pt = 197,4
			Fe = 56	Ru = 104,4	Ir = 198
			Ni = Co = 59	Pd = 106,6	Os = 199
H = 1			Cu = 63,4	Ag = 108	Hg = 200
	Be = 9,4	Mg = 24	Zn = 65,2	Cd = 112	
	B = 11	Al = 27,4	p = 68	Ur = 116	Au = 197 P
	C = 12	Si = 28	p = 70	Sb = 118	
	N = 14	P = 31	As = 75	Sn = 122	Bi = 210
	O = 16	S = 32	Se = 79,4	Te = 128 p	
	F = 19	Cl = 35,5	Br = 80	J = 127	
Li = 7	Na = 23	K = 39	Rb = 85,4	Cs = 133	TI = 204
		Ca = 40	Sr = 87,6	Ba = 137	Pb = 207
		p = 45	Ce = 92		
		p Er = 56	La = 94		
		p Yt = 60	Di = 95		
		p In = 75,6	Th = 118 p		