

La notion d'élément chimique (*)

par Roger VIOVY,
E.N.S. Saint-Cloud, Paris.

En 1978, le nouveau programme de 5^e entrait pour la première fois en vigueur dans toutes les classes. L'expérimentation préalable avait été très réduite, et pour la partie consacrée à la chimie, l'introduction de la notion d'élément chimique constituait une donnée essentielle, d'une progression qui, de la sixième à la troisième mène par une approche très concrète, de la réaction chimique à la structure atomique de la matière.

A cette époque, conscients de la difficulté de cette introduction, nous étions intervenus au congrès de l'U.d.P. à Aix et avions écrit un article dans le Bulletin [1] pour préparer les professeurs à ces difficultés, mais aussi pour montrer l'intérêt d'une telle introduction.

Après cinq ans d'enseignement, il paraît intéressant de reprendre le problème. Malheureusement, et ce serait un travail fort important à faire, on ne dispose pas de données suffisantes pour faire une étude sérieuse à partir des réactions des professeurs et des élèves sur cette partie du programme. A l'occasion de cet article, si des collègues veulent donner leur opinion, il serait possible avec un nombre de réponses suffisant de faire une synthèse ou d'engager une réflexion à travers un travail organisé. Un tel type de synthèse serait, je crois, très profitable aux enseignants qui pourraient comparer leur expérience journalière avec celle de leurs collègues. Malgré tout, un certain nombre de contacts, et des résultats obtenus dans diverses recherches [2] et enquêtes [3] permettent de préciser les premières réflexions.

(*) *N.D.L.R.* : Des groupes de travail nationaux et régionaux de notre association ont entrepris un travail de réflexion sur les programmes du collège. Le B.U.P. doit permettre d'élargir le débat à tous les collègues intéressés. Dans le n° 660 de janvier 1984, pages 544 et suivantes, les sections de la région parisienne ont dressé un premier inventaire des difficultés rencontrées en chimie. Dans ce bulletin, M. Viovy, professeur à Saint-Cloud apporte sa contribution sous forme d'un article sur la notion d'élément chimique. Et nous comptons poursuivre la diffusion de textes de réflexion sur l'enseignement de la chimie dans les bulletins suivants. Pour alimenter ce débat, nous souhaitons vivement recevoir vos observations, vos suggestions, éventuellement sous forme d'articles à publier.

Bien entendu nous retrouverons dans ce texte, les questions classiques d'un enseignement : pourquoi cette approche ? et comment peut-elle être abordée à ce niveau, mais avant tout, il paraît indispensable de revenir sur la définition de la notion.

I. DEFINITIONS.

Comme presque toujours, la question de la définition de mots couramment usités, qui ne posent pas de problème au spécialiste, pose des difficultés quand il s'agit de donner une définition claire et sans ambiguïté pour un débutant.

Deux définitions sont possibles :

Définition 1.

L'élément est ce qui est commun au corps simple et à tous les corps composés qu'il peut former (ex. : l'élément oxygène est commun au dioxygène (gaz oxygène), à l'ozone et à tous les composés oxygénés).

Définition 2.

L'élément est l'ensemble des particules (atomes ou ions) qui ont même nombre Z de protons.

On voit que les deux définitions qui se rejoignent pour le spécialiste sont fondamentalement différentes pour le débutant :

- la première est « chimique » et ne fait aucune hypothèse sur la structure de la matière ;
- la deuxième est « physique » et se réfère à la structure atomique de la matière, nécessitant même une certaine connaissance de la structure du noyau.

Au niveau de la 5^e, il paraît difficile d'utiliser la deuxième définition, même si l'on peut discuter sur la possibilité d'introduire un modèle particulière à de jeunes enfants. Nous avons déjà parlé plus en détail de ce problème dans la réf. [1]. On doit donc se référer à la définition 1.

II. POURQUOI L'INTRODUCTION DE CETTE NOTION ?

C'est évidemment la question fondamentale. Tout le monde s'accorde pour dire qu'elle est difficile à introduire, peu facile à concrétiser par des images. Ne pourrait-on en faire l'économie ?

Quelques remarques vont montrer que cette notion qui n'est pas toujours explicitée sous-tend la plupart des questions qui abordent la réaction chimique.

II.1. La notion d'élément a jalonné toute l'histoire de la chimie depuis l'Antiquité. Pour une revue simple de ces questions, on peut consulter la référence [4]. A travers les éléments-principes, le plogistique et la construction des règles de PROUST et DALTON, puis le tableau périodique des éléments de MENDELEÏEV, la question de la permanence de la matière dans une réaction chimique a amené les chimistes à introduire la notion d'élément. L'enseignement de la chimie « générale » commençait jusque vers 1950, par la loi des proportions définies. *Cette permanence dans les préoccupations des chimistes est bien l'indice de son importance.*

II.2. Toutes les études faites en France et à l'étranger sur une introduction précoce d'un modèle atomique ont montré la difficulté, dans les conditions normales d'une classe (c'est-à-dire avec un horaire limité), de sa manifestation fonctionnelle. Si la notion de discontinuité peut être saisie assez facilement, l'utilisation d'un modèle évolué pour expliquer la permanence de la matière dans les transformations chimiques paraît problématique. Combien d'élèves de lycée attribuaient (attribuent ?) aux ions chlorures les mêmes propriétés qu'au dichlore (gaz chlore).

II.3. Je viens d'utiliser la nouvelle nomenclature demandée par l'I.U.P.A.C. et qui pose bien le problème. Un article récent [5] dans le B.U.P. a fait le point qui a quelquefois étonné étudiants et professeurs. Pourtant les propriétés chimiques de $\text{Cl}^\bullet$ (1), Cl_2 , Cl^- sont fondamentalement différentes. L'écriture symbolique évite ces difficultés, mais elle nécessite d'être correctement manipulée et sa syntaxe impose la compréhension de nombreux faits chimiques (ne pas confondre $\text{Cl}^\bullet$ et $1/2 \text{Cl}_2$). De plus, l'écriture symbolique classique contient la notion de mole (sinon on ne pourrait écrire $1/2 \text{Cl}_2$) et pose un problème supplémentaire.

II.4. A ce sujet, *l'utilisation du concept d'élément aidera fortement à la compréhension de la réaction chimique*, surtout tant que la notion de quantité de matière (la mole) ne sera pas acquise. C'est d'ailleurs pourquoi, même dans le programme de seconde on précise que, dans l'écriture des réactions chimiques on rappellera les lois de conservation de la masse, de la charge et des éléments. En effet, si la notion de conservation de la masse est assez spontanée chez les enfants, la conservation des éléments ne l'est pas, ce qui évidemment risque de fausser complètement les idées de réaction chimique. Des études récentes ont montré l'importance de ce problème. On peut signaler en particulier une étude faite sur les élèves de 6^e après l'étude des combustions [6].

(1) $\text{Cl}^\bullet$ est un atome de chlore. Il est obtenu par la coupure symétrique de la liaison $\text{Cl}-\text{Cl}$ (coupure homolytique). Il intervient dans les réactions photochimiques du chlore (par exemple dans la substitution de l'hydrogène des alcanes par le chlore).

II.5. Les deux dernières remarques auront trait à des éléments positifs pour l'introduction de la notion. Tout d'abord, elle est assez voisine pour sa partie abstraite de la notion d'élément mathématique qui se conserve à travers une suite d'opérations. Le terme, coïncidence heureuse (ou choix délibéré des mathématiciens ?), permet de s'appuyer sur un autre domaine pour renforcer la compréhension des enfants. Une enquête que nous avons faite [3] montre que cette notion d'élément mathématique est très prégnante chez les enfants et nous pouvons nous en servir.

II.6. Enfin l'élément chimique, s'il n'a pas de propriétés chimiques a des propriétés physiques, spectroscopiques en particulier. Pour cette raison, il a été fait utilisation de la notion « d'analyseur » dans un ouvrage [7] pour concrétiser sa nature. Cette notion est très voisine de l'analyse spectroscopique réelle des éléments (2). La masse est aussi une propriété importante, les électrons échangés dans une réaction ayant une masse négligeable, mais elle a peu d'intérêt pédagogique à ce niveau.

Comme on peut le voir après ces quelques remarques, la notion d'élément chimique est indispensable à la compréhension de la réaction chimique. Il est possible en utilisant la définition 2 de l'introduire après l'étude de la structure atomique de la matière mais en retardant considérablement une généralisation des faits chimiques. Cette généralisation pourra se faire progressivement. En 5^e, il est peu probable que la notion soit acquise d'emblée, mais elle pourra être utilisée ensuite systématiquement pour permettre de construire de plus en plus solidement le concept.

III. COMMENT CONSTRUIRE LE CONCEPT ?

Cette construction ne peut se faire *a priori* mais doit tenir compte du rôle spécifique de la chimie dans la formation, des problèmes particuliers de la classe, des horaires, et bien entendu du programme et des commentaires.

Pour la première question — trop souvent oubliée — je la développerai dans un prochain numéro du B.U.P. consacré à la chimie mais je voudrais seulement dire que c'est une discipline irremplaçable pour permettre aux jeunes enfants le passage du concret à l'abstrait ; par son contact avec la vie réelle, les relations interdisciplinaires faciles, des expériences simples en relation directe avec les concepts, les lois, les modèles.

C'est en gardant en mémoire cette méthodologie que nous pouvons examiner les autres contraintes.

(2) L'analyse spectroscopique est au programme d'optique de 4^e.

III.1. En 5^e, si nous voulons définir le point de départ, nous devons constater que pratiquement, les seuls faits chimiques connus sont ceux qui résultent du programme de 6^e. La part de la chimie dans les activités d'éveil est dérisoire et, si la vie courante apporte chaque jour un lot important de faits chimiques, ceux-ci sont souvent masqués derrière des composantes technologiques complexes qui empêchent une compréhension simple (par exemple : transformation du jus de raisin en vin).

Les programmes de physique de 6^e consacrés aux propriétés de la matière peuvent être une aide sérieuse à la généralisation des faits chimiques et l'utilisation de concepts plus abstraits.

Il est d'ailleurs intéressant de revoir à ce sujet les objectifs liés aux projets de contenus de la Commission Lagarrigue [8]. Ceux-ci, qui résultent d'un long travail collectif, restent toujours d'actualité même si les contenus effectivement proposés sont légèrement différents. Ils sont un point de départ très riche pour la définition d'une méthode pédagogique adaptée aux goûts du professeur et à la formation des élèves.

C'est en se basant sur ces objectifs que nous avons discuté dans le premier article [1] écrit à ce sujet sur les méthodes possibles. Je résumerai en quelques lignes ce que nous avons dit :

La notion de travail expérimental de l'élève restant impérative, deux méthodes peuvent être utilisées. La première favorisant le travail autonome de l'élève et partant de l'expérience en confrontant l'enfant avec des problèmes à résoudre, l'amène à construire un système explicatif. Cette méthode est parfaitement utilisable en 5^e dans la construction des lois sur le magnétisme [4] et il y a de bonnes raisons psychologiques, épistémologiques et pédagogiques de penser que c'est la meilleure entre 5 et 13 ans. Si on ne l'utilise pas pour la notion d'élément chimique, c'est qu'il pose un problème spécifique. La seconde démarche est celle d'exposition de la notion, de la vérification et de l'explication par des exemples concrets pour les manipulations des élèves. Nous pouvons reprendre ici, un passage du texte précité [1] : « Si le concept d'élément chimique pose un problème spécifique, c'est qu'il s'agit, non d'un concept empirique, mais d'un concept inclus dans un système théorique, et manié dans des raisonnements beaucoup plus formels, de type hypothético-déductif. L'étude logique du problème et les données de l'histoire de la chimie montrent — en conformité avec le programme et ses commentaires — que le concept d'élément s'oppose à d'autres concepts.

Ces concepts, empiriques, apparaissent sur deux plans différents, le plan (états et propriétés physiques) qui introduit la distinction entre corps pur et mélange, et le plan (réaction chimique) introduisant la distinction entre corps simple et corps composé dans la classe des corps purs ou espèces chimiques.

L'obstacle fondamental, c'est la confusion élément-corps simple ; il est redoublé par une vieille confusion, celle de corps composé-mélange. C'est contre ces deux obstacles que doit se construire la connaissance chimique scientifique.

III.2. Les contraintes d'horaire sont lourdes et il serait vain de vouloir donner comme objectif à la classe de 5^e la manipulation correcte du concept d'élément chimique. Un des avantages de la démarche d'exposition préconisée précédemment est de pouvoir rappeler, *même dans d'autres classes*, la notion comme élément explicatif. On pourra ainsi construire le concept progressivement.

III.3. Les contraintes de programme sont aussi importantes. Peut-être aurait-on pu souhaiter plus de souplesse dans le choix des expériences. Le concept d'élément chimique serait plus facilement illustré avec des cycles d'éléments dont la caractérisation physique (couleur de flamme) est plus facile (cuivre en particulier). Il est vrai que les choix sont relativement réduits quand on a peu de matériel et pour respecter — dans des conditions généralement précaires — les règles de sécurité. Il serait bon cependant de réfléchir à des exemples probablement mieux adaptés. Des expériences avaient été faites en ce sens dans les expérimentations de la commission.

IV. QUELQUES PROPOSITIONS.

IV.1. En partant donc d'une démarche d'exposition, quel serait le rôle de l'expérimentation de l'élève :

- acquérir une expérience suffisamment large et diversifiée de réactions pour dégager des comparaisons dans des situations différentes, ce qui est variable et ce qui est commun ;
- motiver la demande d'exposé théorique ;
- illustrer, concrétiser les explications (sans chercher véritablement « à vérifier » la théorie).

IV.2. En dehors des expériences, dans le cas de cette notion, un travail sur documents, ou sur l'histoire de la chimie serait certainement souhaitable.

IV.3. On peut faire ici une remarque. La notion d'élément intervient dans les règles de la nomenclature chimique scienti-

fique. En effet, celle-ci suppose la conservation des éléments. On pourrait donc imaginer un travail sur la structure des noms chimiques, les règles de passage d'un corps à un autre et leur comparaison avec les observations des réactions correspondantes. Une telle idée n'a pas été vraiment essayée avec des élèves. Nous voudrions cependant en profiter pour affirmer l'importance de cet aspect de la connaissance scientifique : l'ajustement au langage de la représentation et de l'explication des choses.

Une grave question reste : peut-on vraiment se passer d'une image ? Les confusions persistantes entre mélanges et corps composés, observées par les enseignants, et qu'on voit encore au second cycle, semblent montrer qu'il faut associer à la définition verbale de la notion d'élément, des images de type figural. Il ne s'agit pas de développer un modèle structural en précisant son champ de validité et ses limites, mais de soutenir la pensée des enfants par des images spatiales et des représentations graphiques. Il n'y a alors pas lieu d'imposer une image déterminée mais d'aider les enfants à trouver un symbolisme graphique, permettant d'aider un raisonnement abstrait.

La seule exigence est de retrouver sur le plan graphique, ce qui caractérise l'élément, invariant dans une réaction chimique : permanence des symboles graphiques associés aux éléments (points de couleur, formes géométriques, signes quelconques) et réarrangements dans l'espace pour représenter la réaction.

IV.4. Au point de vue expérimental, il est indispensable de :

- réaliser des cycles de réactions permettant de retrouver un même corps après l'avoir « perdu »,
- d'utiliser à chaque étape des « tests chimiques »,
- de bien montrer l'impossibilité d'obtenir n'importe quoi à partir de n'importe quoi,
- enfin, pour obtenir quelque chose, de ne pas opérer n'importe comment.

V. QUELQUES EXEMPLES DE REACTIONS (voir aussi réf. 4).

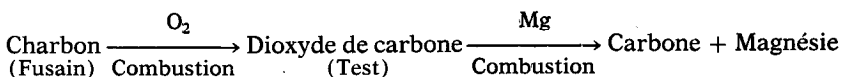
V.1. A partir du programme *stricto sensu* :

- * Éléments explicitement indiqués : carbone, fer,
hydrogène, soufre
- * Éléments rencontrés : oxygène, chlore

1.1. Des corps chimiques dont les noms contiennent tous le mot fer n'ont pas les mêmes propriétés : un aimant attire le fer métal — pas le sulfate de fer ou le chlorure de fer.

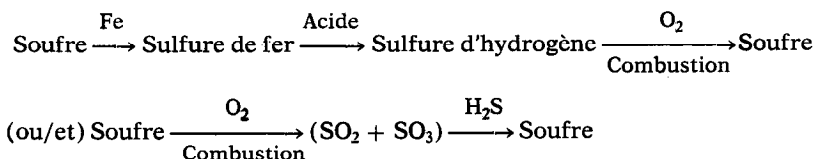
1.2. Cycle de réactions permettant de retrouver un produit de départ :

1.2.1. Cycle du carbone.



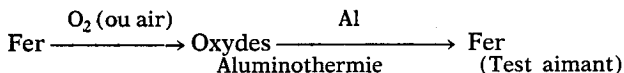
N.B. — Pour mieux montrer le carbone formé dans la dernière réaction, dissoudre la magnésie dans l'eau.

1.2.2. Cycle du soufre.



N.B. — On prend de l'élément oxygène à un composé oxygéné (préparation du soufre à Lacq).

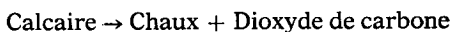
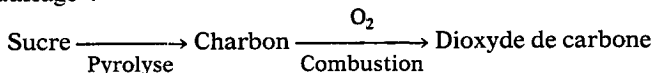
1.2.3. Cycle du fer.



1.3. Comment montrer qu'une espèce chimique contient l'élément carbone ?

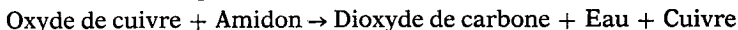
Produire du CO_2 que l'on sait tester.

* Chauffage :



* Combustion directe.

* Action d'un corps contenant de l'élément oxygène :



N.B. — Méthode réelle d'analyse quantitative du carbone dans les composés organiques.

* Action d'un acide sur un carbonate :



(d'où vient l'élément carbone ?)

Ces réactions schématiques sont données à titre indicatif. Pratiquement, toutes peuvent être faites par des élèves sur des petites quantités de substances avec le matériel miniaturisé que nous avons décrit dans le B.U.P. [9].

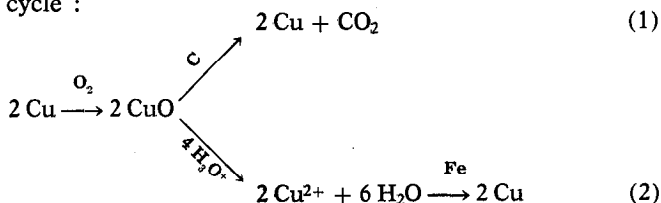
V.2. Réactions complémentaires.

Elles sont essentiellement destinées à utiliser des éléments caractérisables par des couleurs de flamme pour les suivre à travers des réactions variées ou des cycles.

2.1. Cycle du cuivre.

2.1. Cycle du cuivre.

L'élément cuivre donne une couleur bleu-vert à la flamme et peut être testé dans toutes les substances chimiques rencontrées dans le cycle :



N.B. — Dans le cycle 1, on montre que l'élément carbone se retrouve dans CO_2 .

2.2. Élément sodium : dans diverses espèces chimiques courantes (y compris des produits chimiques de la maison).

N.B. — Pour les tests à la flamme, on peut utiliser un clou en fer ou mieux un fil de nickel-chrome d'une vieille résistance chauffante.

VI. CONCLUSION.

A travers ce bref exposé, nous avons voulu montrer que le concept d'élément chimique est fondamental dans la compréhension des faits chimiques. On ne peut en faire l'économie car il sera toujours présent dans une explication de la réaction chimique. Même si cela nécessite une **démarche pédagogique d'exposition** on doit l'employer **très vite** pour aider à la généralisation. Le vocabulaire utilisé facilite d'ailleurs la compréhension. Des manipulations nombreuses et variées donnent un support concret au concept. Un formalisme non classique peut aussi être utilisé pour donner des images non transposables guidant la compréhension (penser aux symbolismes des éléments mathématiques).

BIBLIOGRAPHIE

- [1] J.-L. MARTINAND, R. VIOVY. — B.U.P. N° 613, p. 878 (1979).
 - [2] J.-L. MARTINAND. — *Thèse d'Etat* (Orsay).
 - [3] R. VIOVY et Coll. — *Enquête par questionnaire sur quelques vocables d'orientation scientifique*. Rapport D.G.R.S.T. (1979).
 - [4] Collection Libre Parcours (Hachette). — *Livre du maître, classe de 5^e*.
 - [5] M. BERNARD. — B.U.P. N° 648, p. 918 (1982).
 - [6] M. MEHEUT. — *Thèse de 3^e cycle*. Paris VII (1982).
 - [7] Collection Libre Parcours (Hachette). *Livre de l'élève, 5^e* (et voir aussi : *Livre du maître*).
 - [8] Cahiers du C.N.D.P. ou B.U.P. : *Les documents de la Commission Lagarrigue* N° 597 (1977).
 - [9] J. CARRETO, A. CHOMAT, M. MESMIN, R. VIOVY. — B.U.P. N° 613, p. 896 (1979).
-