

Rigueur scientifique et clarté pédagogique

Ces remarques m'ont été suggérées par la lecture de deux articles parus récemment dans le B.U.P. (1).

Deux problèmes voisins mais cependant distincts me semblent liés aux questions qui y sont évoquées.

Le premier concerne les erreurs que l'on peut commettre de bonne foi dans notre enseignement. Je prends le mot erreur dans son sens usuel : erreur de calcul ou de raisonnement, affirmation contraire aux faits expérimentaux ou plus généralement contraire aux concepts admis actuellement par la communauté scientifique. Personne ne peut affirmer être à l'abri de ces erreurs, même si l'on s'astreint à une préparation soignée de son enseignement et à une documentation régulière, notamment par la lecture de mises au point récentes et faisant autorité. Il est à peine besoin de dire que ces erreurs sont regrettables et qu'elles doivent être signalées à l'attention générale. Le second problème, plus délicat, est d'ordre pédagogique et peut se formuler comme suit : l'information que nous sommes chargés de transmettre peut-elle être, en toutes circonstances, et notamment à tous les niveaux, à la fois scientifiquement correcte et parfaitement compréhensible ?

C'est, bien entendu, souhaitable, mais il ne me semble pas que cela soit toujours possible. Citons, à titre d'exemples, le remplacement dans les cours élémentaires de chimie de l'« activité » par la « concentration » (notamment dans la définition du pH), l'impossibilité au même niveau de proposer un schéma électronique correct pour la molécule de dioxygène, etc.

Notre enseignement doit en fait, pour des raisons de bon sens pédagogique, être un enseignement par approximations successives. L'enseignant est donc plus ou moins contraint d'introduire dans les premières années des modèles simplifiés et incomplets, des images concrètes et faisant un large appel à l'intuition, souvent peu rigoureuses mais utiles, voire indispensables pour la compréhension et pour susciter l'intérêt de l'auditoire.

(1) Sur la notion de rayon des atomes. A. GUINIER, n° 620, janvier 1980, p. 439.

Et pourtant ils ne tournent pas... J.-L. IZBICKI et A. PUJOS, n° 625, juin 1980, p. 1294.

Bien entendu, il est souhaitable de signaler, quand c'est possible, le caractère incomplet ou approché d'un exposé, les approfondissements et les corrections étant renvoyés à plus tard.

La notion de rayon chimique constitue un bon exemple de perfectionnement progressif d'un modèle. Je partage le jugement porté par M. A. GUINIER sur le caractère tendancieux des valeurs numériques associées dans les cours élémentaires aux « rayons » des atomes supposés implicitement isolés (gazeux) surtout si ces valeurs sont données avec une précision excessive et sans indication sur les conventions qui ont permis de les obtenir.

Mais je crois difficile de ne pas fixer à ce niveau un ordre de grandeur de taille aux atomes, comme on peut leur attribuer — avec rigueur et précision cette fois-ci — une masse. On peut dire, par exemple, que si les atomes sont assimilés conventionnellement à des sphères, il est possible de déduire des distances interatomiques mesurées, un ordre de grandeur pour les rayons des atomes concernés.

Rappelons que l'idée de calculer, à partir des distances internucléaires, distances qui constituent (sauf cas particuliers) la seule réalité expérimentale, un jeu de rayons constants (additifs) pour les atomes, permettant de prévoir en première approximation la longueur d'une liaison chimique de nature quelconque, correspond au modèle de Bragg-Slater. Ces valeurs sont souvent appelées « rayons atomiques » dans les manuels anglo-saxons (2).

On peut considérer comme une seconde approximation l'introduction des 4 types classiques de rayons chimiques (3) : ionique, covalent, métallique et de Van der Waals, dont les définitions sont très clairement rappelées dans l'article déjà cité de M. A. GUINIER. Bien que ces notions reposent sur des hypothèses un peu simplistes :

- répartition des liaisons chimiques en 3 types tranchés alors que la réalité est souvent plus nuancée,
- division d'une distance internucléaire en rayons ioniques par des méthodes empiriques ou semi-empiriques,
- adoption d'un modèle de sphères dures empilées pour les cristaux ioniques et métalliques,

...l'outil de travail ainsi créé se révèle utile, sinon indispensable, au chimiste.

(2) Mais certains auteurs réservent cette étiquette aux rayons covalents et métalliques, voire de Van der Waals (gaz nobles).

(3) En laissant de côté les « rayons thermochimiques ».

Une troisième approximation consiste à prendre en compte certains des facteurs négligés, par exemple : le degré d'oxydation, la coordinance, la distribution électronique (spin élevé ou bas spin) des ions, comme c'est le cas pour les rayons ioniques de Shannon et Prewitt. Mais l'écart entre ces valeurs, souvent considérées comme les « meilleures », et les quelques valeurs connues des rayons ioniques dits de densité électronique, sans doute reflet plus fidèle de la réalité, montre bien le caractère conventionnel des tables de rayons (4). Ce qui n'en diminue pas pour autant leur utilité pratique.

Autre exemple, l'influence de la différence d'électronégativité de 2 atomes sur la longueur de la liaison covalente qui les unit, par des formules du type :

$$r_{XY} = r_X^{cov.} + r_Y^{cov.} - 0,09 (E_X - E_Y)$$

(Shomaker-Stevenson).

Mais si l'on peut ainsi atténuer, pour un composé tel que SiF₄, l'écart entre la valeur expérimentale de la liaison SiF et la valeur calculée par addition des rayons univovalents, la « justification » de ce raccourcissement peut faire appel tout aussi bien au caractère ionique partiel de la liaison qu'à un caractère de liaison double partielle *part* entre le fluor et le silicium.

En ce qui concerne le modèle de Bohr pour l'atome d'hydrogène, MM. IZBICKI et PUJOS ont parfaitement raison sur le plan scientifique d'en rappeler le caractère désuet et les insuffisances multiples, insuffisances qui étaient d'ailleurs apparues très vite à Bohr lui-même comme le signalent nos collègues. Il est donc effectivement peu souhaitable que l'on présente sans commentaires critiques ce modèle qui n'est plus en accord avec les concepts actuels.

Cela dit, faut-il pour autant ne plus en parler, et la désuétude scientifique entraîne-t-elle *ipso facto* l'inutilité pédagogique ? Je n'en suis pas persuadé, et cela pour deux raisons :

En premier lieu, l'évocation de ce travail génial permet quelques commentaires d'histoire et de philosophie des sciences qui me semblent intéressants et instructifs. Je ne suis pas, en règle générale, partisan de l'introduction massive de considérations historiques dans les cours de sciences physiques. Le temps

(4) L'affirmation de M. A. GUINIER suivant laquelle il est injustifiable qu'une information soit à la fois précise et inexacte est parfaitement judicieuse. Il convient toutefois de rappeler que c'est le cas pour les valeurs numériques de grandeurs non mesurables mais fixées en vertu d'une convention arbitraire (énergies d'hydratation des ions, potentiels d'électrode, etc.).

manque pour cela, et surtout nous ne sommes pas, sauf exception, des historiens aptes à présenter correctement ces aspects du passé. Mais je crois utile quelques indications historiques sur certains points des programmes (5) et notamment sur celui évoqué précédemment.

La seconde raison est que le modèle de Bohr me semble une excellente introduction aux idées modernes, passablement abstraites pour les débutants, ne serait-ce que comme modèle « repoussoir ». En particulier, la discussion de l'image planétaire de l'atome permet, à mon avis, d'introduire plus facilement que par un « parachutage » brutal les notions de probabilité de présence (6) et de nuage électronique.

Mais nous tombons là dans le domaine des goûts et des préférences en matière d'enseignement où le champ est fort heureusement libre, le dogmatisme en pédagogie étant aussi regrettable que partout ailleurs.

Maurice BERNARD,
(*Université de Caen*).

(5) Autres exemples : classification des éléments, querelle Jorgensen-Werner, les complexes, etc.

(6) Et notamment la probabilité de présence dans la « coquille » de rayon égal au rayon de Bohr.