

Difficultés d'apprentissage du concept d'oxydoréduction

Deuxième partie

par Mohamed SOUDANI et Danièle CROS
Étude et recherche sur l'enseignement scientifique
L.R.D.S. - Case 39 - Université Montpellier II
Place Eugène Bataillon - 34095 Montpellier

RÉSUMÉ

Cet article fait partie d'une étude plus globale sur les conceptions et obstacles dans l'enseignement et l'apprentissage du concept d'oxydoréduction, du secondaire à l'université. Son objet est de faire un bilan des acquis en oxydoréduction des élèves arrivant à l'université et issus du nouveau programme de 1^{ère} S (1994/95). Ce bilan est recherché dans un but comparatif entre les acquis de ces élèves et de ceux issus du programme précédent afin de tenter d'identifier quelques origines de leurs difficultés. Tous deux non satisfaisants, ces acquis sont quasiment les mêmes. Une origine de ces difficultés semble alors résider dans le choix du contenu et de l'approche utilisés. Nous avons enfin initié une proposition pour l'enseignement de ce concept qui sera développé dans un article ultérieur, après avoir précisé son statut épistémologique et explicité sa trame conceptuelle.

1. INTRODUCTION

Ce travail fait partie d'une étude menée sur les conditions d'enseignement-apprentissage de l'oxydoréduction dont la première partie a déjà été publiée dans le numéro 788 du BUP [1]. Dans cette première partie nous avons souligné l'intérêt de la notion de nombre d'oxydation dans la reconnaissance des réactions d'oxydoréduction et des couples redox et l'insuffisance du modèle de l'oxydoréduction par transfert d'électrons. Nous avons remarqué que les étudiants issus de l'ancien programme de 1986 des classes de 1^{ères} S [2] n'avaient pas acquis la notion de nombre d'oxydation et qu'ils ne mobilisaient que le modèle de transfert d'électrons, ce qui les amenait à se tromper dans l'identification des réactions et des couple redox qui leur étaient présentés. Cela se justifiait par la non-insistance de ce programme sur l'utilisation de cette notion.

Nous nous intéressons, dans cette deuxième partie de l'étude, non seulement aux conditions d'apprentissage de ce concept mais aussi aux «effets» dus au changement du programme de chimie des classes de 1^{ères} S en ce qui concerne l'oxydoréduction. En effet, dans le nouveau programme en vigueur depuis l'année scolaire 1994/95 [3], les objectifs assignés à ce concept ont subi une légère modification. On insiste davantage sur la notion de nombre d'oxydation : en utilisant la notion de nombre d'oxydation, les élèves doivent être capables de reconnaître une réaction d'oxydoréduction et d'identifier les couples redox. [3]

2. MÉTHODOLOGIE

Nous avons entrepris une enquête auprès de 257 étudiants de 1^{ère} année universitaire (1996/97, section scientifique). La moitié de cet échantillon est issue de l'ancien programme [2] et a déjà suivi l'enseignement du premier semestre du DEUG A de l'année universitaire 1995/96, elle redouble donc sa première année universitaire. L'autre moitié, arrivant à l'université, est issue de l'enseignement du nouveau programme.

Les tests ont été soumis aux étudiants dans les mêmes conditions que dans l'enquête précédente [1]. La comparaison a porté sur trois groupes :

- le premier groupe (G1) est constitué de 233 étudiants issus de l'ancien programme des 1^{ères} S [2]; et a été testé dans l'étude précédente [1],
- le second groupe (G2) est constitué de 128 étudiants «*redoublants*» en première année universitaire (1996/97) et issus de l'ancien programme des 1^{ères} S [2],
- le troisième groupe (G3) est constitué de 129 étudiants de 1^{ère} année universitaire (1996/97) et issus du nouveau programme des 1^{ères} S [3].

3. RÉSULTATS

3.1. Définitions : Oxydation et réduction

Étant donné que le modèle interprétatif le plus utilisé pour l'enseignement du thème de l'oxydoréduction, au lycée et à l'université, est le modèle électronique, nous nous attendions à ce que les items correspondant au transfert d'électrons choisis par les étudiants soient corrects. Mais il n'en est rien. Nous remarquons sans ambiguïté que, ni les redoublants, ni les «nouveaux» ne font de différence entre oxydation et réduction, les pourcentages de bonnes réponses étant pratiquement identiques (entre 42 % et 46 %). Les pourcentages, pratiquement identiques pour les items gain et perte d'électrons, montrent que les étudiants ont du mal à préciser le sens du transfert d'électrons dans chaque processus (oxydation ou réduction).

Les résultats obtenus nous permettent de dire que les étudiants testés au cours de cette étude (même des redoublants) ont toujours du mal à se repérer dans la «jungle terminologique» du concept oxydoréduction (oxydation, réduction, perte d'électrons et gain d'électrons...). Nous avons souligné [1] que les étudiants, n'utilisant que le modèle de transfert d'électrons, sont confrontés à des obstacles de type langagier : l'interférence du sens commun avec le sens chimique de ces termes. Le mot réduction, par exemple, dans l'esprit de l'élève, est très peu lié à son sens chimique, il est souvent lié à la vie socio-économique¹. BACHELARD [4] dit à ce propos «assez naturellement, l'obstacle verbal nous conduira à examiner un des obstacles les plus difficiles à surmonter parce qu'il est soutenu par une philosophie facile».

Par ailleurs, les étudiants issus du nouveau programme et les étudiants redoublants font parfois appel au transfert d'oxygène pour la définition de l'oxydation (respectivement 22 % et 20 %) et la définition de la réduction (respectivement 20 % et 14 %), ce que faisaient un peu moins les étudiants testés en 1994/95 (14 % pour oxydation et 7 % pour réduction). Retenir cette définition comme définition «première» nous paraît pourtant aisé puisqu'elle devrait permettre de faire facilement le lien entre un concept (plutôt abstrait) et les phénomènes de la vie courante auxquels il est lié. Ces phénomènes représentent les forces pilotes de la biosphère.

3. 2. Nombre d'oxydation d'un élément : Définition, calcul, utilisation

Dans l'ancien programme, les instructions officielles explicitent la définition du nombre d'oxydation mais limitent son utilisation. Dans les instructions du nouveau programme, la définition n'est pas explicite, par contre on insiste sur l'intérêt de son utilisation .

3.2.a. Définition du nombre d'oxydation

Nous avons demandé aux étudiants de : «donner une définition du nombre d'oxydation d'un élément». La réponse attendue est : le nombre d'oxydation d'un élément dans une entité chimique est «*la charge qui serait présente sur [son] atome si tous les électrons dans chaque liaison aboutissant à cet atome étaient attribués à l'atome le plus électronégatif*» [5]. Cette réponse a été donnée seulement par 4 % du groupe G1, par 11 % du groupe G2 par 7 % du groupe G3. Près de la moitié du groupe G2 et les 2/3 des deux autres groupes n'ont pas donné de réponses.

¹ Nous avons testé cette hypothèse par une association de mots. Les résultats de cette enquête feront l'objet d'une publication ultérieure.

Certains étudiants ont donné des réponses diverses que nous n'avons pas classées telles que par exemple :

«je n'ai rien compris au cours concernant ce chapitre»

«je ne l'ai pas compris et je ne le comprendrai peut-être jamais»

ou des réponses qui montrent, encore une fois, la confusion entre oxydation et réduction, le rôle de l'oxydant et celui du réducteur :

«le nombre d'oxydation c'est le nombre d'électrons cédés par l'oxydant et donc captés par le réducteur»²,

«c'est l'inverse du degré de réduction, je m'explique : si $x \in \{\text{degré d'oxydation d'un élément}\}$ alors $1/x \in \{\text{degré de réduction d'un élément}\}$ » ...

Nous notons que ni le changement du programme de 1^{ères} S, relatif à la notion de nombre d'oxydation, ni l'enseignement universitaire n'ont permis une amélioration notable de la qualité des réponses. La définition du nombre d'oxydation reste non acquise par la majorité des étudiants et elle est même parfois confondue avec la valence de l'élément. La difficulté paraît alors être intrinsèque à la notion de nombre d'oxydation elle-même... Nous avons souligné que certains chercheurs [6] pensent que le nombre d'oxydoréduction est une attribution artificielle et arbitraire de certains nombres aux éléments et que les étudiants l'envisagent comme une combinaison fortuite permettant de jouer à un jeu...

3.2.b. Calcul du nombre d'oxydation

Nous avons demandé aux étudiants de calculer le nombre d'oxydation de l'élément soufre dans les entités S_8 , SO_2 et $S_2O_8^{2-}$ en justifiant la méthode de calcul. Tous les étudiants qui ont répondu correctement ont justifié leurs réponses.

Le résultat est nettement amélioré surtout chez les redoublants (G2). Notre enseignement, favorisant plutôt le bachotage, pousse les étudiants à se pencher davantage sur les algorithmes et les problèmes de calcul en négligeant, dans la plupart des cas, le vrai sens des concepts qu'ils utilisent, pourvu qu'ils réussissent les exercices traditionnels [7, 8]. Une année d'université a permis d'améliorer les capacités des étudiants à faire le calcul relatif à cette notion. Ceci nous paraît tout à fait normal. D'autre part, vu le changement des objectifs du programme des 1^{ères} S, les réponses des étudiants qui en sont issus (G3) sont plus satisfaisantes que celles des étudiants venant de l'ancien programme. Cependant, quand le calcul se complique un peu (cas de $S_2O_8^{2-}$) les résultats ne bougent pas beaucoup entre ces deux populations.

² Nous avons nous-mêmes mis l'accent sur cette confusion en l'écrivant en caractère gras.

3.2.c. Variation du nombre d'oxydation

Nous avons demandé aux étudiants, sous forme de QCM, de préciser le sens de la variation du nombre d'oxydation d'un élément lors de sa réduction. Les résultats obtenus montrent que les 2/3 des étudiants des trois groupes ne savent pas s'il augmente ou diminue.

Même si on se réfère au sens commun du terme réduction, on est en droit de s'attendre à des réponses correctes, car la définition de la réduction en terme de variation du nombre d'oxydation (la **réduction** d'un élément correspond à la **diminution** de son nombre d'oxydation) ne devrait pas provoquer des confusions comme le fait la définition en terme de transfert d'électrons (la **réduction** d'un élément correspond à un **gain** d'électrons). Cependant, les réponses obtenues montrent que ce n'est pas le cas. Ni l'enseignement secondaire, ni l'enseignement universitaire n'ont apparemment aidé ces étudiants à surmonter les obstacles. Mais encore faut-il qu'on soit tous conscients de l'existence d'obstacles et de pouvoir les identifier. En effet, l'enseignement dans son contenu, comme dans son organisation, devrait s'adapter autant que possible aux modes de raisonnement et aux besoins des apprenants (élèves ou étudiants) et favoriser des approches susceptibles de les aider à franchir les obstacles [9, 10].

3.2.d. Utilisation du nombre d'oxydation

La question posée à ce propos fait implicitement appel à une utilisation du nombre d'oxydation. On demande d'identifier, parmi les équations-bilans proposées, celle(s) qui représente(nt) une réaction redox en justifiant la réponse. Les réponses, **oui c'est une réaction redox**, sont regroupées dans le tableau 1.

Équations/groupes d'étudiants	G1	G2	G3
$Na^+ + OH^- + H_3O^+ + Cl^- \rightarrow Na^+ + Cl^- + 2 H_2O$ (1)	24 %	12,5 %	15 %
$NH_3 + H_2O \rightarrow NH_4^+ + OH^-$ (2)	47 %	62,5 %	69 %
$O_2 + 2 H_2 \rightarrow 2 H_2O$ (3)	9 %	7 %	9 %
$4 Na + O_2 \rightarrow 2 Na_2O$ (4)	3 %	4 %	5 %

Tableau 1 : % de réponses «oui c'est une réaction redox»

Excepté la première équation (1) pour laquelle le score s'est légèrement amélioré, les autres équations ont obtenu pratiquement les mêmes résultats que dans l'enquête

[1]. L'équation (2) présente une accentuation des mauvaises réponses. Les étudiants testés cette année universitaire (1996/97)³ identifient à tort

- comme couples redox les couples « H_3O^+/H_2O , et OH^-/H_2O », « NH_4^+/NH_3 et H_2O/OH^- »
- comme demi-équations « $NH_3 \rightarrow NH_4^+ + e^-$ et $H_2O + e^- \rightarrow OH^-$ »
ou disent que « NH_3 oxydé, H_2O réduit»

La conception des étudiants quant à l'identification des réactions redox n'a été influencée ni par le changement des programmes où l'on insiste davantage sur l'utilité du nombre d'oxydation, ni par l'enseignement universitaire où l'on reconstruit, dit-on, le concept. Des équations où apparaissent des entités chargées ((1) et (2)) sont reconnues comme étant des réactions redox alors qu'elles ne le sont pas ; par contre des équations ne contenant pas d'entités électriquement chargées et représentant des réactions redox ((3) et (4)) ne sont pas reconnues en tant que telles.

CONCLUSION

Comme premier bilan des deux enquêtes passées à deux ans d'intervalle auprès d'étudiants d'un même niveau d'enseignement (1^{ère} année universitaire), nous pouvons conclure à une stabilité des conceptions des étudiants à propos de l'oxydoréduction, malgré le changement du programme (pour les uns) et un an d'enseignement universitaire (pour les autres).

L'interférence du langage commun avec le sens scientifique de quelques termes, le manque de rigueur langagier ainsi que le manque de repères mnémoniques sont des facteurs prégnants dans l'apprentissage de l'oxydoréduction, cela s'ajoute à l'ampleur et à la complexité de son champ conceptuel.

L'enseignement actuel de l'oxydoréduction est organisé de façon à plonger l'élève directement dans des situations d'abstraction. Il serait beaucoup plus judicieux d'amener les élèves à modéliser que de leur apprendre des modèles «tout fait» ; on leur permettrait ainsi d'apprendre à raisonner ; la conceptualisation étant un phénomène long et progressif qui va de pair.

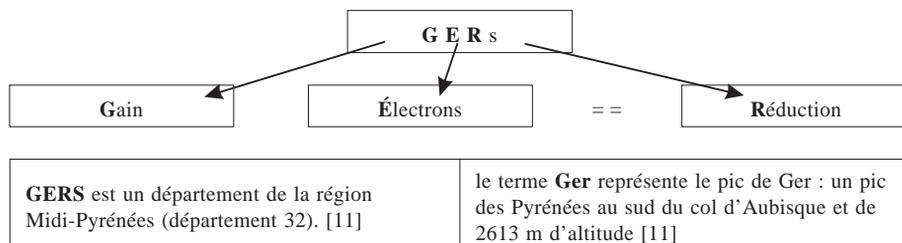
Nous pensons que l'histoire du concept oxydoréduction peut fournir des éléments pour concevoir une autre approche de l'enseignement qui permette aux élèves de déve-

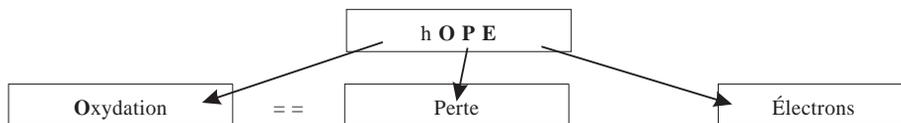
³ Les étudiants issus de l'ancien programme et testés au cours de l'année universitaire 1994/95 [1] avaient donné les mêmes justifications.

opper des représentations au niveau expérimental et phénoménologique et de les mettre en correspondance avec des représentations au niveau symbolique, c'est-à-dire au niveau du modèle. Repartir des réactions avec l'oxygène peut être une porte d'entrée dans le cours. Bien que la notion de combinaison à l'oxygène soit mise en œuvre au collège pour aborder les réactions d'oxydation, le programme de 1^{ère} S, qui devrait être un prolongement et un développement par modélisation progressive, ne nous semble pas assurer le lien entre les deux niveaux. L'utilisation des phénomènes de la vie quotidienne rend significatives les situations d'apprentissage, elle a le mérite de motiver les élèves et de donner du sens aux concepts abordés. On peut alors construire le premier modèle par transfert de l'oxygène... Identifier la chimie dans ses rapports avec notre environnement social et culturel nous paraît un élément indispensable aussi bien pour la culture scientifique que pour l'enseignement-apprentissage. Le modèle par transfert d'oxygène permet d'identifier directement la nature de quelques réactions chimiques, d'autant plus que ces réactions existent dans notre environnement le plus proche (les réactions de combustion, la respiration, la photosynthèse, la rouille, les pots d'échappement à catalyseurs appelés pots catalytiques). Les élèves peuvent, par la suite, être guidés vers une interprétation microscopique de ces phénomènes en se basant sur les connaissances qu'ils ont préalablement acquises (structure de la matière, l'électron, l'ionisation, les liaisons chimiques...). L'enseignant les aidera alors à modéliser les phénomènes d'oxydoréduction en terme de transfert d'électrons. Le modèle du nombre d'oxydation sera présenté comme une généralisation de l'oxydoréduction et englobera les autres modèles...

Par ailleurs, nous avons pensé à des moyens mnémotechniques qui pourraient aider les élèves à retenir les définition de l'oxydoréduction en terme de transfert d'électrons. Pour des raisons de commodité, nous ne citons ici que deux exemples :

la géographie peut procurer un exemple tel que :





hope (to hope) signifie souhaiter, en anglais.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] M. SOUDANI ; D. CROS et D. CACHAU-HERREILLAT : «*Difficultés d'apprentissage du concept d'oxydoréduction. Première partie*» - BUP n° 788, 1996, pages 1649-1664.
- [2] Bulletin officiel (supplément n° 21, 2 juin 1988) : «*Programmes des classes de premières des classes de terminales des lycées d'enseignement général et technologique. Disciplines scientifiques*» - Paris, Ministère de l'Éducation Nationale.
- [3] Bulletin officiel. Hors série du 24/09/1992. Tome II. pages 43-48. Paris. Ministère de l'Éducation Nationale.
- [4] Gaston BACHELARD : «*La formation de l'esprit scientifique*» - 14^e édition, Paris - Vrin 1986.
- [5] Jean SARRAZIN et Michel VERDAGUER : «*l'oxydoréduction. Concepts et expériences*». Ellipses 1991.
- [6] K. SHUNG ; J. KOELLNER ; G. LOVERIDGE et J.A. JANKE : «*Le lion rugit : Réponses à qu'est-ce que l'oxydation ?*». Tendances nouvelles de l'enseignement de la chimie, Vol. V, Presses de l'UNESCO, 1981, pages 212-214.
- [7] Susan C. NURRENBERN and Miles PICKERING : «*Concept learning versus problem solving : is there a difference ?*» - J. Chem. Educ. Volume 64 n° 6, June 1987, pages 508-510.
- [8] Mary B. NAKHLEH and Richard C. MICHELL : «*Concept learning versus problem solving : there is a difference*» - J. Chem. Educ. Volume 70 n° 3, March 1993, pages 190-192.
- [9] Jean-Louis MARTINAND : «*Quelques apports des recherches en didactique à l'enseignement des sciences physiques*» - BUP n° 705, 1988 , pages 891-913.
- [10] Michel DEVELAY : «*De l'apprentissage à l'enseignement. Pour une épistémologie scolaire*» - Collection Pédagogies. ESF éditeurs, 3^e édition 1993.
- [11] Dictionnaire : «*Petit Larousse en couleur*», 1987.