

**Essai sur la maîtrise de l'équation-bilan
à l'entrée à l'université**
*Un exemple de l'apport des Sciences de l'Éducation
à la Chimie*

par Monique MEY
Département Scientifique Universitaire
Université Joseph Fourier - B.P. 53 - 38041 Grenoble Cedex 9
Armelle BALAS
Laboratoire des Sciences de l'Éducation
Équipe G.R.A.For. - Université Pierre Mendès France (Grenoble II)
Dominique PLOUIN
Laboratoire de Pédagogie Universitaire et de Didactique de la Chimie
Université Joseph Fourier (Grenoble I)

RÉSUMÉ

Ce travail d'équipe entrepris en collaboration avec des chercheurs en Sciences de l'Éducation constitue une action de remédiation¹ spécifique sur le thème «équation-bilan», destinée aux nouveaux étudiants entrant en DEUG scientifique qui utilise les apports des Sciences de l'Éducation pour essayer de s'adapter aux caractéristiques des étudiants qui affluent. Le travail d'analyse des connaissances qui sous-tend cette équation est soumis aux étudiants sous forme d'une recherche suivie d'une correction de leurs lacunes et de leurs connaissances erronées, renonçant en cela à se contenter d'appliquer un nouvel ensemble de savoirs sur les savoirs imparfaits déjà existants.

La plus grande rigueur est apportée dans l'utilisation du langage chimique, compte tenu de toutes les sources de confusion que celui-ci peut comporter. Et, pour favoriser la communication entre enseignants et étudiants, indispensable dans ce mode d'enseignement, le travail s'est réalisé avec l'aide d'un «naïf» en chimie, expert cependant en Sciences de l'Éducation. Celui-ci a eu pour tâche d'aider les étudiants à l'explicita-

1. Le terme remédiation est utilisé en Sciences de l'Éducation et désigne une nouvelle médiation.

tion des difficultés de compréhension et de résolution de problème, en vue de leur permettre de se donner ultérieurement des démarches de travail plus efficaces.

Depuis quelques années il a été mis en place, à l'Université Joseph Fourier, un dispositif d'accueil des nouveaux étudiants de DEUG B (Sciences de la Nature et de la Vie) dont l'un des objectifs consiste à vérifier que sont acquises un certain nombre de connaissances jugées indispensables pour suivre avec profit l'enseignement de première année.

Dans le domaine de la chimie, l'équation-bilan constitue l'un de ces pré-requis : l'apprenant² doit être capable de lui donner tout son sens, il doit savoir en tirer la totalité des informations qu'elle contient et pouvoir y faire appel dans tout problème y compris les problèmes d'équilibre.

Or il se trouve qu'on a constaté depuis très longtemps l'existence d'importantes difficultés dans ce domaine et, chaque année, la reproduction quasi-automatique du même type d'erreurs. De plus, par le fait que les connaissances qui sous-tendent l'équation-bilan sont dites élémentaires, les étudiants qui constatent leurs insuffisances dans ce domaine perdent confiance en eux et manifestent clairement leurs inquiétudes.

Pour toutes ces raisons, il a semblé important de mettre en place une action de remédiation, avant que ne débute l'année universitaire proprement dite.

Dans un premier temps, il a été tenté une remise à niveau de type classique où l'enseignant se contentait de reprendre, de réexpliquer l'équation-bilan, sans introduire de modification fondamentale dans les méthodes pédagogiques : le professeur prépare son cours, puis les élèves l'écoutent ; ils ont toute latitude pour poser leurs questions et terminent par des exercices d'application.

Il a bien fallu constater le peu d'efficacité d'une telle démarche. Il semblait donc établi qu'il ne s'agissait pas ici d'un simple problème de

2. Le terme apprenant est utilisé en Sciences de l'Éducation pour désigner celui qui apprend quel que soit son âge et son statut.

réactivation de la mémoire et qu'il fallait bel et bien chercher les solutions dans une nouvelle approche pédagogique.

C'est dans ce but qu'il a été engagé une collaboration avec des chercheurs de Sciences de l'Éducation destinée à mettre en application, dans ce cas précis, ce que la psychologie cognitive nous apprend en ce qui concerne le traitement des données (saisie, organisation, élaboration, mémorisation).

C'est sur ces bases que se sont réalisées la conception puis la réalisation d'une remédiation spécifique.

Les insuffisances de l'enseignement classique ont bien été mises en relief récemment par A. Giordan et G. de Vecchi [1 p. 8] qui constatent «le décalage immense entre l'enseignant qui développe une connaissance et l'enfant qui suit une autre logique, qui a un autre cadre de référence».

L'analyse de ces auteurs est valable à l'Université, dont le rôle ne se borne plus aujourd'hui à diffuser le savoir à une élite ; aussi, pour améliorer les chances de réussite en premier cycle universitaire il devient nécessaire d'adapter l'enseignement supérieur à cette situation nouvelle.

L'un des objectifs recherché fut donc, par une prise de distance à l'égard du savoir et de la manière d'apprendre, d'en augmenter le plaisir, et de faire en sorte que disparaissent passivité et ennui.

De plus, il fallait trouver le moyen d'aider les étudiants à prendre conscience de l'état de leurs connaissances et de leurs savoir-faire, en gardant présente l'idée que la difficulté réside bien dans le fait que «les élèves, parce qu'ils ont mémorisé un somme de termes croient savoir» [1 p. 8].

1. PRÉPARATION DE L'ACTION

1.1. Les contenus disciplinaires

Un premier temps de réflexion entre enseignants a permis de constater que pour donner tout son sens à l'équation-bilan, il fallait

posséder et faire correctement la synthèse d'un assez grand nombre de savoirs :

- savoir relier entre elles les notions de mole, molécule, atome,
- savoir donner du sens au langage chimique employé dans l'équation-bilan,
- savoir donner un sens physique à l'équation-bilan,
- savoir utiliser le principe de conservation de la masse et de la charge,
- savoir utiliser les relations de proportionnalité.

Quant à la conduite du raisonnement, celle-ci a bien été démarquée par rapport aux connaissances, l'accent devant être mis sur le mécanisme d'aller et retour de la pensée entre ces connaissances et le déroulement du raisonnement pendant la résolution d'un problème.

Compte-tenu de toutes ces constatations et pour permettre à chaque étudiant de détecter ses propres lacunes, il a été élaboré, dans un deuxième temps, un ensemble de tests (voir annexe) dont chaque question est principalement centrée sur chacun des différents points énumérés précédemment ; pour éviter que l'étudiant ait la possibilité de recourir aux automatismes qui lui masquent ses insuffisances, il a été accordé le plus grand soin à la formulation de ces questions. Il s'agissait de contourner l'utilisation de certains symboles qui, par habitude, arrivent à transporter du sens en eux-mêmes, et de trouver une manière nouvelle de décrire les phénomènes ; par tous ces moyens il devient alors plus difficile à l'étudiant de faire appel sans discernement aux algorithmes de résolution de problèmes dont il dispose.

1.2. Les méthodes pédagogiques

La réflexion menée en collaboration avec les chercheurs des Sciences de l'Éducation a porté sur la méthode à employer auprès des étudiants pour atteindre les objectifs visés :

- provoquer chez eux une prise de conscience de l'état de leurs connaissances d'une part et de leurs méthodes d'apprentissage d'autre part.
- permettre une réelle communication avec l'enseignant tout en éveillant curiosité et plaisir d'apprendre.

Comme on l'a dit, l'un des problèmes à résoudre face aux difficultés des étudiants est de faire coïncider la démarche de l'expert avec celle du novice. C'est pourquoi, outre sa participation à l'élabora-

tion de l'action, la présence d'un spécialiste de l'aide à l'apprentissage est importante lors de la remédiation.

Les apports des sciences de l'éducation donnent un regard différent sur ce qui est apprendre. Ils soulignent l'importance des caractéristiques de l'apprenant et des relations qu'il entretient avec la chimie et l'acte d'apprendre. Ils apportent un nouvel éclairage sur les situations d'apprentissage : celle qui est traditionnellement proposée et celles qui tiennent compte des caractéristiques individuelles des étudiants. Enfin les sciences de l'éducatons aident à mieux comprendre ce qui se passe quand un étudiant résoud un problème et quand il échoue, car elles apportent une grille d'analyse de l'acte d'apprendre tant d'un point de vue structurel que fonctionnel [J. Berbaum, 2].

En dehors de cet apport théorique utile pour l'élaboration de l'action, la présence d'un «expert» en sciences de l'éducation s'avère très importante dans les ateliers. Naïf en chimie, celui-ci peut se consacrer à aider l'étudiant à expliquer ses propres démarches de pensée pour saisir les informations, élaborer une réponses, exprimer un résultat.

• *Prise de conscience*

Un élève de terminale, capable d'utiliser l'équation-bilan pour la résolution d'un problème classique ne l'a pas forcément conceptualisée au point de savoir y faire appel à bon escient dans des problèmes d'un type nouveau.

D'une manière théorique, en s'appuyant sur les conceptions de Piaget, il s'agit d'amener l'étudiant à passer de l'action au concept par reconstruction sur le plan mental de l'objet d'apprentissage et d'accéder au stade de l'anticipation.

Il est donc nécessaire que l'apprenant, à partir de ses connaissances personnelles, mais face à une situation nouvelle qui lui pose problème prenne de la distance [2] pour s'interroger sur les éléments qui composent ses connaissances et créer de nouvelles relations entre ces éléments : comme l'a souligné J. Berbaum, l'apprenant ne se cantonnera plus au niveau des faits et des automatismes de résolution de problème, mais il leur donnera du sens, ce qui lui permettra de résoudre des problèmes nouveaux.

Ayant pris conscience de l'inadéquation entre ce qu'il sait et ce qu'il devrait savoir et dans un va-et-vient constant entre l'action entreprise et le but souhaité, l'apprenant, avec l'aide d'un médiateur, va construire de manière consciente l'objet d'apprentissage en question. Il pourra ainsi «comprendre» et pas seulement «réussir» de façon aléatoire [Piaget, 3, p. 242].

• ***Établissement d'une réelle communication : la présence d'un naïf-expert***

Il est toujours difficile pour un enseignant, expert dans sa discipline, de concevoir ce que sont les difficultés de l'apprenant-novice. En même temps, ce dernier a du mal à exprimer sans crainte ses propres conceptions³, ce qu'il croit savoir, surtout dans le cas où il est conscient de la faiblesse de ses savoirs face au problème posé. Ainsi, la présence d'un spécialiste de l'apprentissage qui se trouve naïf dans la discipline étudiée est capable de modifier les comportements des étudiants et de l'enseignant lui-même.

Tout d'abord, chaque fois qu'une difficulté se présente, le «Candide», grâce à un questionnement systématique incite l'apprenant à préciser ce qu'il sait et ce qu'il comprend et à décrire sa démarche de résolution du problème.

Ensuite, quand l'enseignant spécialiste a corrigé les erreurs, le «Candide» veille à ce que l'apprenant reformule ce qu'il a compris avec ses propres mots. Le naïf peut ainsi manifester sa propre incompréhension face au discours quelquefois trop savant de l'expert ; il pourra également proposer des analogies (sous le contrôle de l'expert) pour imaginer et rendre plus accessibles les notions à acquérir.

• ***Ce qu'entraîne ce changement de pratique***

Par ces questions constamment tournées vers les apprenants et non plus vers l'enseignant, par cette recherche systématique de l'origine de l'erreur, suivie de la correction apportée, on constate un changement de statut de cette erreur qui perd son caractère coupable.

3. Ensemble d'idées coordonnées et d'images cohérentes, explicatives utilisées par les apprenants pour raisonner [1, p. 79].

Il se crée alors un climat de confiance qui permet à l'étudiant de nommer ses difficultés au lieu de les cacher. Celui-ci recherche ses conceptions inefficaces pour les remplacer par d'autres qui s'avèrent plus opérationnelles. Le professeur cesse d'être seulement le détenteur du savoir et devient une personne-ressource qui aide à construire un savoir plus élaboré, mieux structuré donc plus efficace.

Dans ces groupes, on constate qu'il se crée une dynamique qui peut elle-même devenir source de compréhension : les étudiants comprennent facilement le niveau de difficulté d'un de leurs camarades et par là même sont capables de donner une explication simple, dans leur propre langage qui peut s'avérer très efficace et fournir à l'enseignant de nouvelles perspectives dans l'élaboration de ses réponses.

2. LA RÉALISATION PRATIQUE DE LA REMÉDIATION

Celle-ci se déroule dans l'ordre décrit ci-dessous :

1 - Il est proposé un problème préliminaire où sont rassemblées l'ensemble des difficultés qui peuvent être rencontrées dans ce domaine.

2 - Parmi les étudiants qui n'ont pas réussi ce problème une quinzaine de volontaires se proposent pour suivre une action dont le but consiste à les rendre capables à terme de résoudre sans aide le problème initialement soumis.

3 - Ces étudiants subissent la batterie de tests mise au point pour eux (voir annexe). L'enseignant les corrige ensuite, établissant pour lui-même une sorte de diagnostic des connaissances de chacun.

4 - Les copies ne portant pas trace des corrections de l'enseignant sont ensuite remises aux intéressés pour leur servir de base de travail au cours de l'étape suivante.

Cette copie est très importante car elle représente pour l'étudiant le repère de l'état de ses connaissances face au savoir à acquérir. Sur ce document va se réaliser la prise de conscience des lacunes ou encore des savoirs erronés qui devront être rectifiés.

5 - Les étudiants sont répartis par petits groupes de huit disposant pour chacun d'un chercheur en Sciences de l'Éducation et d'un enseignant de chimie.

6 - La liste des connaissances indispensables est donnée et on se fixe l'objectif que chacun découvre individuellement ses lacunes particulières ; présenté comme une recherche, on peut constater que le travail

proposé suscite immédiatement curiosité et intérêt de la part des participants.

7 - Sur la base des tests en possession de chacun, toutes les connaissances vont ensuite être passées en revues ; tous les participants peuvent exposer leur démarche : quelles connaissances, quels raisonnements ont-ils utilisés ? pourquoi les autres arrivent-ils à des conclusions différentes ? où l'erreur est-elle née ? faut-il incriminer la mémoire ou bien la méthode utilisée ? la description de la réalité physique est-elle correcte ? et surtout la synthèse des connaissances est-elle réalisée dans l'esprit de chacun ?

Comme on le verra par la suite, dans l'évaluation de l'action entreprise auprès des étudiants, ce dernier point concernant la synthèse du savoir est primordial ; c'est pourquoi, tout au long de cette phase d'analyse, on a pris grand soin, après avoir rectifié chacune des connaissances erronées, de relier au fur et à mesure ces connaissances entre elles.

8 - C'est à ce stade que le problème préliminaire non réussi dans la première étape est de nouveau présenté aux étudiants et on peut constater alors qu'à une exception près, tous sont devenus capables de le résoudre.

9 - Finalement un questionnaire d'évaluation à questions ouvertes a été soumis aux participants.

3. LA REMÉDIATION SUR LE STRICT PLAN DES CONNAISSANCES DE CHIMIE - PRINCIPALES ERREURS ET RECHERCHE DES CAUSES

3.1. Concepts de mole, molécule, atome

On constate que la majorité des étudiants sait trouver correctement le nombre de moles et de molécules correspondant à une quantité de matière exprimée en grammes. Pour cela ils disent appliquer la formule qu'ils énoncent sous la forme : $n = m/M$.

Cependant, lorsque cette formule est mal appliquée, on s'aperçoit que celle-ci a bien été mémorisée sous sa forme symbolique mais sans conserver tout le sens physique attribué à chacun de ces symboles. Ceci est d'ailleurs confirmé par l'observation des difficultés engendrées dans un exercice quand celui-ci est fourni sans avoir attribué de symboles aux différentes quantités de matière impliquées.

A ceci il faut ajouter le fait que l'assimilation d'un concept est plus compliquée lorsque celui-ci doit s'exprimer sous la forme d'un rapport [4].

Des problèmes plus importants vont surgir lorsqu'il sera demandé de trouver, non plus la quantité de matière exprimée en moles, mais le nombre d'atomes de chaque élément contenus dans la quantité de composé exprimée en grammes. A l'aggravation de ce taux d'échec on peut trouver plusieurs causes : tout d'abord, il n'est plus question d'appliquer simplement une formule comme dans le premier cas mais de mener un raisonnement court, en deux étapes ; et surtout, le problème proposé ne correspond à aucun algorithme de résolution dans la panoplie de l'élève et il est intéressant de constater que, dans ce cas, l'étudiant en difficulté va se chercher un modèle de problème voisin qu'il traite à la place du problème proposé.

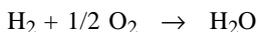
Par exemple, si on demande le nombre d'atomes de carbone contenus dans 9 g d'éthane C_2H_6 on obtient très souvent la réponse : «2 atomes», réponse à un autre problème qu'on sait bien résoudre, à savoir : donner le nombre d'atomes de chaque élément contenus dans une molécule d'un composé. Il semble donc que l'étudiant n'envisage pas de pouvoir être placé en face d'un problème pour lequel il lui faudrait trouver par lui-même un mode de résolution.

Pour compléter l'analyse des causes d'erreur, il faut également invoquer le fait que, malgré les nombreuses recommandations données, le temps pris pour lire et s'appropriier l'énoncé est très souvent écourté ce qui ne fait que faciliter le passage inconscient à un algorithme de résolution de problème voisin de celui qui est proposé.

3.2. Le langage chimique

De nombreuses imprécisions dans les termes chimiques employés par les étudiants ont pu être mises à jour par la question suivante :

«Faites une phrase qui fournirait les mêmes informations que l'équation-bilan ci-dessous, mais en remplaçant les symboles utilisés par les termes appropriés».



De cette manière on s'aperçoit que l'écriture symbolique : «1/2 O_2 » qui figure dans l'équation-bilan ci-dessus désigne, pour certains

étudiants, un atome d'oxygène, tandis que pour d'autres, il désigne une «demi-molécule» de dioxygène.

La première partie de la remédiation a donc été consacrée à redéfinir de façon précise les termes employés pour caractériser l'équation-bilan, à préciser les liens entre les notions de mole, molécule, atome et à bien différencier les états microscopiques des états macroscopiques.

Il est à noter que des confusions de sens peuvent naître du fait que le langage chimique utilise des termes dont la signification dans le langage courant porte en elle-même ces sources de confusion. Ainsi, les souvenirs littéraires sont sans doute à l'origine de l'erreur assez répandue qui consiste à classer l'eau parmi les éléments chimiques.

3.3. Le sens physique de la réaction chimique

D'une manière générale, les étudiants qui arrivent à l'Université n'associent pas une situation concrète aux problèmes de chimie qu'ils ont à traiter. Par exemple, dans leurs réponses on peut trouver l'équivalence suivante : « $1/2 O_2 = O$ », ce qui les conduit à traiter le problème comme s'ils se trouvaient dans le domaine des mathématiques.

Pour tester le degré de maîtrise de ce sens physique accordé au langage chimique on a posé la question suivante.

«On dispose de deux solides ioniques : K_2SO_4 et Na_2SO_4 . On veut préparer une solution contenant uniquement des ions SO_4^{2-} et Na^+ , proposer un mode opératoire pour obtenir cette solution».

Seulement la moitié des étudiants suivant le module de remise à niveau a répondu correctement à cette question. Pour les autres, on constate qu'ils cherchent à utiliser les deux composés pour élaborer leur réponse, quitte à faire appel pour cela à quelques stratagèmes. On constate une fois de plus, que leur stratégie de résolution comporte l'obligation impérative d'utiliser toutes les données fournies même si, pour atteindre ce but, il leur est nécessaire d'abandonner certaines règles élémentaires de la logique.

Un exemple de ce type de comportement se trouve concrétisé dans la réponse suivante fournie au problème proposé ci-dessus : «il faut dissoudre Na_2SO_4 pour obtenir Na^+ et K_2SO_4 pour obtenir SO_4^{2-} ».

Prenant en compte cette constatation, la remédiation a donc comporté une description systématique, du point de vue physico-chimique, de toute situation de problème, et sur ces nouvelles bases, à développer un esprit critique vis-à-vis de l'enseignant et des textes d'exercices proposés.

L'étape suivante du questionnaire se proposait d'aborder le sens physique de l'équilibre chimique, mais compte tenu du peu de solidité des bases concernant la réaction univoque (la plus grande confusion a été constatée à ce propos) il a semblé raisonnable de limiter les objectifs à la remédiation concernant la réaction non réversible.

Cette démarche s'est révélée efficace car, après avoir terminé le travail sur la réaction univoque, les élèves concernés étaient devenus capables d'utiliser les informations fournies par l'équation-bilan dans le cas d'un équilibre, sans qu'il soit nécessaire d'apporter des compléments aux connaissances acquises sur ce sujet dans l'enseignement secondaire.

Cette observation montre une fois de plus que la construction des connaissances et l'appropriation des nouveaux concepts ne peut se faire de façon rationnelle qu'en vérifiant périodiquement la solidité des bases du savoir ; compte tenu de ce qui précède il semblerait même que les difficultés régulièrement rencontrées à propos des équilibres puissent trouver leur source dans une assimilation imparfaite de la simple réaction univoque.

3.4. Conservation de la masse et de la charge

a - Conservation de la masse

Seule une moitié des étudiants a su répondre correctement aux questions conçues pour tester cette notion. Comme on pouvait s'y attendre, les erreurs se multiplient lorsqu'on propose un problème où la réaction est réalisée dans des conditions non stœchiométriques. De nouveau, on observe que pour résoudre leurs difficultés, certains étudiants transforment l'énoncé qui leur est soumis, soit en se replaçant d'eux-mêmes dans les conditions stœchiométriques, soit en ajoutant à

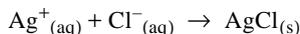
leur convenance une espèce supplémentaire, des protons par exemple, pour se retrouver alors, dans un cas qu'ils savent résoudre.

La remédiation à ce stade est assez facile : elle consiste à attirer l'attention, une fois de plus, sur le véritable sens de l'équation-bilan pour que chacun prenne conscience de ses erreurs et devienne capable de les corriger de lui-même.

b - Conservation de la charge

Le problème auquel il faut répondre est le suivant :

«On dispose d'une solution aqueuse de chlorure de sodium NaCl. On y ajoute du nitrate d'argent AgNO₃, dans des conditions telles que la moitié des ions Cl⁻ soient précipités selon la réaction ci-dessous :



Montrer qu'il y a toujours «neutralité électrique», (la réaction est considérée en première approximation comme univoque).

C'est à l'occasion de cet exercice qu'il a été possible de constater de la façon la plus flagrante à quel point les automatismes pouvaient régir le fonctionnement des étudiants en difficulté.

Ne leur a-t-on pas dit de faire l'inventaire de tous les ions avant d'écrire l'équation de conservation de la charge ? Ils font donc cet inventaire mais comme ils n'associent pas un véritable sens physique au problème traité, ils ne prennent pas conscience que, dans ce cas-là, les ions Ag⁺ disparaissent de la solution. C'est ainsi qu'ils sont amenés, par ce manque d'analyse, à faire figurer ces ions Ag⁺ dans l'équation traduisant la neutralité électrique puisque ces ions figurent dans leur inventaire.

La rigidité du cadre de raisonnement apparaît également dans le fait que l'étudiant conçoit mal qu'on puisse lui demander de montrer l'existence de la neutralité électrique alors qu'on lui avait affirmé jusqu'ici qu'il s'agissait d'un principe.

Enfin, si la neutralité électrique est généralement bien traduite en équation lorsque la solution ne contient que des ions portant une charge unique, il n'en est pas de même lorsque ces ions portent une charge multiple ; on constate alors une grande fantaisie parmi les réponses fournies : les étudiants se souviennent que la valeur de la charge portée

par les ions doit intervenir dans l'équation d'électroneutralité mais ils ne savent pas conduire le raisonnement qui les mènerait à la solution et ceci pour la bonne raison qu'ils ne connaissent pas, là non plus, le sens physique associé au terme de neutralité électrique. Comme précédemment, la démarche consiste, dans un premier temps, à faire prendre conscience de la perte du sens donné aux termes : «neutralité électrique» puis dans un deuxième temps à leur redonner leur véritable sens pour faire ressentir que c'est la seule façon d'acquérir la maîtrise de la relation traduisant les phénomènes physiques.

C'est dans ces moments-là, quand les étudiants se rendent compte à quel point leurs connaissances manquaient de solidité qu'ils manifestent leur satisfaction d'avoir «compris» et d'avoir acquis des «bases solides». Ils retrouvent la confiance en eux en prenant conscience du fait que la limitation de leurs performances n'était pas due à un manque de capacité mais à un fonctionnement faisant trop appel aux automatismes.

3.5. La proportionnalité

Quand toutes les causes d'erreurs répertoriées ci-dessus furent passées en revue, certains étudiants ne semblaient pas avoir encore trouvé la cause de leur manque de performance. C'est alors qu'ils ont examiné les tests chargés d'évaluer l'appropriation des notions de proportionnalité ; il leur est apparu que leurs difficultés provenaient uniquement de la mauvaise maîtrise de cette dernière. Un rapide travail dans ce domaine et un court entraînement ont suffi pour régler le problème.

Cette observation du manque de maîtrise de la notion de proportionnalité qui, par ailleurs, est trop souvent considérée comme élémentaire, nous a conduits à tester cette notion sur l'ensemble de étudiants entrant en DEUG B. Une étude statistique précise va être prochainement conduite, mais il est déjà possible d'affirmer que la proportionnalité n'est pas une notion bien acquise pour la majorité des nouveaux entrants à l'Université.

4. ÉVALUATION DES ÉTUDIANTS

Au cours de la remédiation réalisée en cinq heures, il a pu être constaté une évolution très nette dans le comportement des étudiants : l'éveil de la curiosité, l'animation du groupe, le plaisir manifesté au

moment de la mise en place des connaissances correctes, en résumé, des attitudes contrastant nettement avec la morosité affichée au début.

Un questionnaire d'évaluation a été rempli ensuite par les intéressés et le zèle à répondre ainsi que la richesse et la diversité des observations fournies nous ont suggéré que l'analyse de ces réponses serait bien la meilleure façon d'évaluer l'action entreprise ; ceci d'autant plus que les questions ouvertes ne risquaient pas d'orienter les réponses obtenues.

Quatre questions composaient ce questionnaire :

- **De quoi avez-vous pris conscience qui vous permet de mieux appréhender ou mieux utiliser l'équation-bilan ?**
- **Cette prise de conscience concerne-t-elle les connaissances ou (et) votre manière d'utiliser l'équation-bilan ?**
- **Qu'est-ce qui a permis cette prise de conscience ?**
- **Pensez-vous que cela change quelque chose pour vous dans votre manière d'utiliser l'équation-bilan ? Si oui qu'est-ce que cela change ?**

A la question : de quoi avez vous pris conscience ? une grande majorité d'étudiants répond qu'ils se sont aperçus qu'un de leurs principaux problèmes était lié à la notion de proportionnalité. Soit ils n'avaient pas enregistré que l'équation-bilan permettait d'établir des relations de proportionnalité entre les quantités de matière exprimées en moles des composés impliqués, soit ils ne possédaient pas l'outil mathématique leur permettant de mener à bien la résolution des problèmes.

Puis, les réponses deviennent plus variées, on trouve successivement :

- le nombre d'Avogadro,
- donner un sens correct aux symboles utilisés,
- donner un sens précis au vocabulaire utilisé,
- savoir tout le parti qu'on peut tirer d'une équation-bilan,
- faire la distinction entre les coefficients stœchiométriques et les nombres de moles de réactifs mis en présence dans les conditions expérimentales,
- enfin, une étudiante reconnaît qu'elle ne faisait pas le lien entre l'énoncé d'un problème et la résolution de ce dernier ; on peut penser

que pour elle, le progrès s'est réalisé au cours du travail consacré à s'approprier l'énoncé.

A la question : qu'est-ce qui a permis cette prise de conscience ?

les réponses se classent en deux catégories. Celles qui concernent principalement les techniques utilisées par l'enseignant et, par ailleurs, celles qui sont plutôt d'ordre relationnel.

Dans la première catégorie on trouve :

- le fait de donner du sens, penser qu'on a compris à fond tandis qu'auparavant, on faisait appel à des automatismes,
- les animateurs guidaient les apprenants pour qu'ils trouvent eux-mêmes les réponses. «Cela a eu pour effet de provoquer un déclic»,
- expliquer avec des mots à nous,
- personnaliser la remédiation,
- la présence d'une co-animatrice non chimiste,
- le nombre restreint d'étudiants,
- le rythme lent pour prendre le temps d'expliquer à fond,
- la façon d'expliquer du professeur, expliquer différemment,
- l'utilisation d'analogies avec le domaine courant (citée par une moitié d'étudiants mais parmi les autres, il faut signaler que l'un d'eux souligne qu'il n'apprécie pas du tout ces analogies),
- apprendre à s'approprier l'énoncé grâce aux dessins en particulier,
- l'utilisation des dessins,
- attirer l'attention sur des aspects qui étaient restés inaperçus.

La prise de conscience est également favorisée par des facteurs d'ordre relationnel comme le montre la deuxième catégorie de réponses réunies ci-dessous :

- pouvoir exposer ses problèmes devant un enseignant disposé à écouter et à expliquer (cette remarque revient souvent),
- l'échange avec les autres : les questions que se posent certains étudiants font naître des réponses chez les autres,
- constater que les problèmes ne sont pas les mêmes pour tous,
- bonne ambiance de groupe.

A la question : qu'est-ce que ça va changer pour l'équation-bilan ? les réponses ont été les suivantes :

- assurance de maîtriser les bases et de leur donner leur vrai sens,
- donner un sens profond à l'équation-bilan, «avant c'était superficiel»,
- rejeter les automatismes,
- grâce à la proportionnalité, se sentir capable de résoudre des problèmes qui, auparavant semblaient hermétiques,
- commencer par une étape d'appropriation de l'énoncé avant de commencer la résolution du problème,
- considérer cette équation d'une manière plus «familiale».

Enfin à la question : cette prise de conscience concerne-t-elle les connaissances ou votre manière d'utiliser l'équation-bilan ? à la quasi-unanimité, ils constatent que ce sont à la fois les connaissances et la manière d'utiliser ces dernières qui sont devenues plus conscientes.

CONCLUSION

A la fin de la remédiation, donc à court terme, on constate bien que les étudiants sont presque tous capables de résoudre un problème relatif à l'équation-bilan et que de plus, il leur devient aisé d'utiliser les connaissances fournies par cette équation pour traiter les bilans de matière rencontrés au cours des problèmes d'équilibre.

En ce qui concerne l'évaluation à long terme, celle-ci s'avère beaucoup plus difficile ; en effet, sur une longue période, les paramètres de la vie universitaire se révèlent trop différents pour chacun pour qu'il soit envisageable de relier les résultats obtenus à long terme à la seule influence de la remédiation entreprise ici. Cependant, il faut signaler que les étudiants concernés montrent par la suite, vis-à-vis de la chimie, un comportement plus actif et un intérêt plus marqué, expliquant leur attitude par le fait de sentir désormais, que l'acquisition des nouvelles connaissances se faisaient sur des bases solides.

Cette constatation donne encore plus d'importance à l'évaluation de l'action «jugée par ses clients» action qui, rappelons-le, tentait de réduire le «décalage entre la pratique universitaire, peu modifiée dans ses programmes et ses méthodes et une population croissante d'étudiants sans héritage culturel» (Le Monde de l'Éducation, juillet 1992).

Cette population d'étudiants dont les caractéristiques sont nouvelles comme le montrent bien les journalistes du Monde, demande plus d'aide de la part des enseignants ; ils sont sollicités par de nombreux sondages, tant par la presse que par les milieux universitaires, eux-mêmes poussés par la nécessité de réduire les taux d'échec ; dans ces conditions, on constate une attente des étudiants et une demande de plus en plus pressante pour qu'on leur laisse **le temps** d'assimiler les savoirs et qu'on leur laisse le loisir de s'assurer que les bases sont bien acquises avant d'accumuler pêle-mêle les nouvelles connaissances. Aussi, dans cette évaluation, il est intéressant de constater que les étudiants ont été sensibles à cette intention des enseignants de répondre à leur attente : ils ont ressenti «un travail fait en profondeur», ils ont participé à l'échange qui a pu se réaliser entre étudiants et avec «l'enseignant disposé à écouter» ; ils ont exprimé leur impression de «maîtriser les bases» et «de se sentir capables de résoudre ces problèmes» après «avoir pris conscience des notions qui leur manquaient».

L'inconvénient de la remédiation telle que nous venons de la décrire réside dans le fait qu'elle demande un encadrement important qui peut sembler luxueux compte tenu de l'augmentation des effectifs d'étudiants à l'entrée à l'Université ; cependant, si l'on tient compte du fait que cette remédiation met constamment l'accent sur les méthodes de travail, sur la façon de conduire un raisonnement et sur la manière d'utiliser sa mémoire, on peut penser que l'investissement s'avèrera rentable si l'étudiant acquiert par la même occasion les principes de son autonomie.

Toutefois, conscients de l'effort à accomplir pour réaliser une économie de moyens, nous allons tenter d'utiliser les moyens informatiques mis à notre disposition avec le logiciel Autoeval, tout en gardant les mêmes objectifs.

Dans une première approche, il a été constaté que les étudiants développent des attitudes nouvelles face à cette technique encore peu utilisée à l'Université. Ces attitudes actives, la curiosité manifestée, ainsi que les possibilités d'individualisation de la remédiation en font un outil digne d'être étudié.

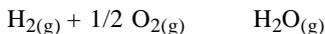
Les tests

Objectif 1 : être capable de relier entre elles les notions de mole, molécule, atome.

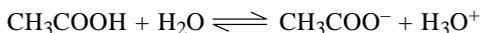
Question : dans 9 g d'éthane, C_2H_6 , ($M = 30$), combien y a-t-il de moles d'éthane, de molécules d'éthane d'atomes de carbone, d'atomes d'hydrogène ?

Objectif 2 : être capable de donner le sens strict du langage chimique employé dans l'équation-bilan.

Question 1 : composez un texte qui fournirait les mêmes informations que l'équation-bilan ci-dessous, mais en utilisant les termes appropriés à la place des symboles qui y figurent.



Question 2 : composez un texte qui fournirait les mêmes informations que l'équation-bilan ci-dessous, mais en utilisant les termes appropriés à la place des symboles qui y figurent.



Objectif 3 : être capable de donner un sens physique à l'équation-bilan.

Question 1 : dans certaines conditions, le sulfure d'hydrogène, H_2S , se décompose selon la réaction suivante :



On introduit trois moles de H_2S dans un récipient, une fois la réaction terminée, quelle est la composition du mélange en moles ?

Question 2 : on dispose seulement de deux solides ioniques, K_2SO_4 et Na_2SO_4 .

a) On veut préparer une solution aqueuse, A, contenant uniquement des ions SO_4^{2-} et Na^+ ; proposer un mode opératoire pour obtenir cette solution A dans l'eau.

b) Dans cette solution A, les concentrations des ions SO_4^{2-} et Na^+ sont-elles indépendantes ? Sinon par quelle relation mathématique sont-elles liées ?

c) On désire préparer maintenant une solution dans laquelle la concentration des ions SO_4^{2-} serait dix fois plus élevée que la concentration des ions Na^+ , comment la réaliser à l'aide des deux composés ioniques dont on dispose ?

On supposera que la dissociation des composés ioniques est totale.

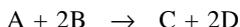
Question 3 : Un mélange de quatre moles de dihydrogène H_2 et de trois moles de dioxygène O_2 entre en réaction et fournit de l'eau H_2O . Quelle est la composition du système lorsque la réaction est terminée ?

a) en moles ?

b) en grammes ?

Objectif 4 : être capable d'utiliser le principe de conservation de la masse.

Question 1 : on considère la réaction suivante :

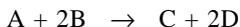


On met en présence une masse de composé A, égale à sa masse molaire M, et une masse de composé B, égale à deux fois sa masse molaire M'.

a) Quelle est la masse totale des composés en présence lorsque la réaction est terminée ?

b) Peut-on déterminer la masse du produit C formé ? Pourquoi ?

Question 2 : on considère la même réaction :



mais on met cette fois en présence une masse de composé A, égale à sa masse molaire M, et une masse de composé B, égale à sa masse molaire M'.

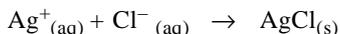
Lorsque la réaction est terminée,

a) quelle est la masse totale des réactifs ?

b) quelle est la masse totale des produits ?

Objectif 5 : être capable d'associer un sens physique à la notion d'électroneutralité.

Question : on dispose d'une solution aqueuse de chlorure de sodium : NaCl, On y ajoute du nitrate d'argent AgNO₃, dans des conditions telles que la moitié des ions Cl⁻ soit précipitée selon la réaction ci-dessous :



a) Après précipitation, donner les relations liant les concentrations des différents ions entre elles.

b) Montrer qu'il y a toujours neutralité électrique ; (on négligera les concentrations des ions H₃O⁺ et OH⁻ par rapport à celles des autres ions).

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier Jean BERBAUM, Professeur en Sciences de l'Éducation à l'Université Pierre Mendès France (Grenoble II) pour ses nombreux conseils et son active collaboration ainsi que Claude DUVAL, Chercheur en Sciences de l'Éducation, pour sa fructueuse participation aux ateliers.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] A. GIORDAN, G. de VECCHI - Les Origines du Savoir, Delachaux et Niestlé, 1990.
- [2] J. BERBAUM - Développer la Capacité d'Apprendre, E.S.F, 1991.
- [3] J. PIAGET - La Prise de Conscience, PUF, 1974.
- [4] J.-D. HERON - J. Chem. Educ. 1975, p. 77.