

Un équilibre très instable

par R. MEYER,

G.E.R.P., Université Paul-Sabatier, Toulouse

et J. DOUSSET,

Lycée Berthelot, Toulouse.

« Mais l'enseignement des résultats de la science
n'est jamais un enseignement scientifique. »

G. BACHELARD, op. cit. p. 234.

Résumé :

Une question portant sur la pH-métrie : action de la soude (hydroxyde de sodium) sur l'acide acétique (acide éthanoïque) a réservé bien des surprises. Cette question tellement simple qu'elle en est banale a été posée à plus de 500 étudiants répartis du D.E.U.G. A (physique - chimie) la 2^e année au D.E.A. Si seulement 43 % d'entre eux donnent une réponse exacte, moins de 10 % des étudiants sont capables de justifier le résultat par le déplacement de l'équilibre.

Cette question a été posée sous trois formes différentes, chaque étudiant recevant au hasard UNE SEULE FORMULATION :

31. On veut doser un litre d'une solution 0,1 M d'acide acétique (acide éthanoïque) par de la soude.

Quelle quantité de soude faut-il utiliser ?

Moins de 0,1 mole : ; 0,1 mole : ; Plus de 0,1 mole : .

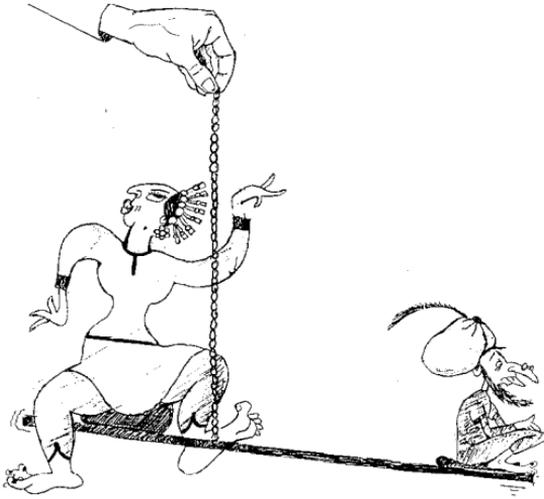
Je ne sais pas : ; Je ne peux pas répondre : .

Justifier brièvement votre réponse.

32. On rappelle qu'un acide fort est complètement dissocié en solution aqueuse tandis qu'un acide faible l'est partiellement.

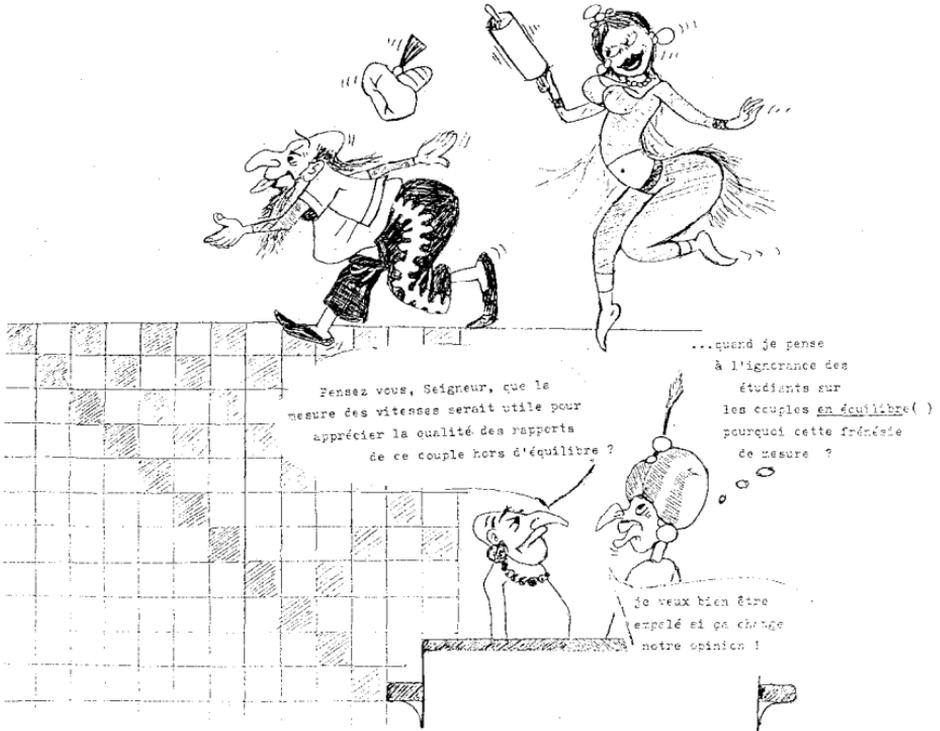
A) On veut doser un litre d'une solution 0,1 M d'acide acétique (acide éthanoïque) par de la soude.

Quelle quantité de soude faut-il utiliser ?



Un couple équilibré.

Note : Les personnages très typés sont inspirés des illustrations que DUBOUT a faites pour le Kamasoutra. Nous n'avons pas cru utile d'ajouter cet ouvrage à notre bibliographie.



Moins de 0,1 mole : ; 0,1 mole : ; Plus de 0,1 mole : .

Je ne sais pas : ; Je ne peux pas répondre : .

B) Pour traiter quantitativement le problème, d'autres données sont-elles nécessaires ?

OUI : ; Lesquelles ?

NON : ; Justifier votre réponse.

33. On donne pour l'acide acétique (acide éthanóique) : masse molaire 60 g, constante d'acidité $K_a = 1,75 \cdot 10^{-5}$, pH d'une solution 0,1 M = 2,9, pourcentage de molécules dissociées à la concentration 0,1 M = 1,3 %.

A) On veut doser un litre d'une solution 0,1 M d'acide acétique par de la soude. Quelle quantité de soude faut-il utiliser ?

Moins de 0,1 mole : ; 0,1 mole : ; Plus de 0,1 mole : .

Je ne sais pas : ; Je ne peux pas répondre : .

B) Avez-vous eu besoin des données précédentes pour répondre à la question A ?

OUI : ; Lesquelles ?

NON : ; Justifier votre réponse.

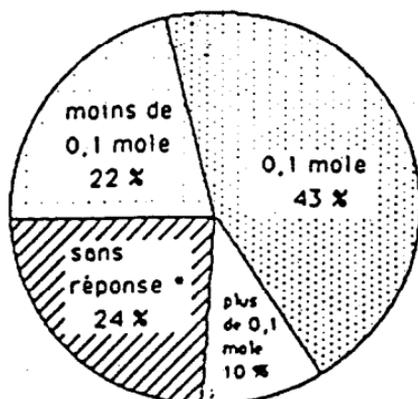
Je ne sais pas : .

ETUDIANTS TESTÉS.

D.E.U.G. A 2^e Année : 306 ; LICENCE : Sciences physiques : 22, Biochimie : 153 ; MAITRISE de Chimie : 27 ; C.A.P.E.S. + D.E.A. : 31 ; TOTAL : 539.

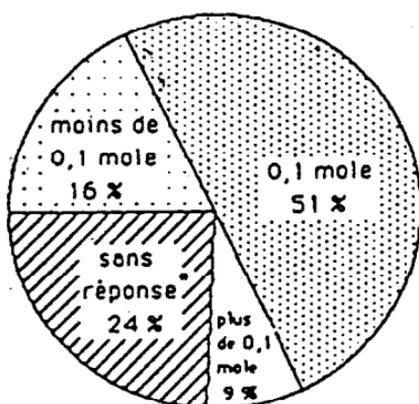
Répartition des réponses tous niveaux confondus pour l'ensemble des questions 31, 32 et 33 (fig. 1).

Ce résultat global, avec 43 % de bonnes réponses, pourra sembler au lecteur blasé pas trop décourageant. Par contre, une analyse plus fine des réponses en fonction de la formulation va mettre en lumière un certain nombre d'incompréhensions.

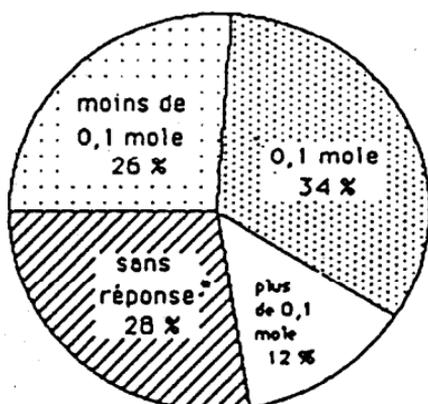


Versions : 31 + 32 + 33.

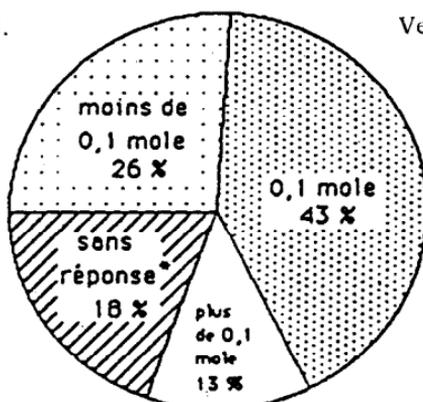
Fig. 1



Version : 31.



Version : 32.



Version : 33.

* sans réponse = je ne sais pas répondre + je ne peux pas répondre.

Fig. 2

Le passage de la formulation 31 à la formulation 32 fait chuter le pourcentage de « bonnes réponses » de 51 à 34 %.

Dans le même temps, les réponses « moins de 0,1 mole » passent de 16 à 26 %. La seule différence est due à l'introduction d'une phrase explicative mise en tête de la question. « On rappelle qu'un acide fort est complètement dissocié en solution aqueuse tandis qu'un acide faible l'est partiellement ». Cette information qui aurait dû n'être qu'un simple rappel les a, en fait, induits en erreur montrant par-là même, l'origine de la principale incompréhension due à l'« oubli » que la position d'un équilibre chimique peut se déplacer.

Dans la version 33, la valeur du coefficient de dissociation α de l'acide acétique à la concentration 0,1 M est mêlée à d'autres informations numériques surabondantes (K_a , pH, masse molaire). Le pourcentage de réponses « moins de 0,1 mole » (26 %) est le même que dans la version 32 pour les mêmes raisons. Cependant, le pourcentage de bonnes réponses croît de 10 % par rapport à la version précédente. Cela est dû essentiellement à la présence dans la version 32 de la question ouverte B. « Pour traiter quantitativement le problème, d'autres données sont-elles nécessaires ? » Elle permettait l'échappatoire : il manque des données... L'examen des diverses réponses montre que, pratiquement, les seules données « manquantes » sont la concentration et le volume de soude utilisée qui aurait permis d'appliquer la relation « magique ». $C_A V_A = C_B V_B$.

D'ores et déjà, un des principaux obstacles épistémologiques auquel nous nous sommes heurtés apparaît ici.

L'application de la formule $C_A V_A = C_B V_B$ se substitue à tout autre raisonnement. Ceci nous amène à nous interroger sur les bonnes réponses.

Répartition de bonnes réponses pour l'ensemble des questions 31, 32 et 33 (fig. 3).

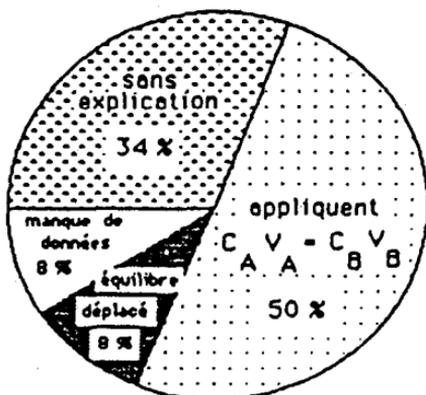


Fig. 3

Quand on examine de près l'ensemble des réponses exactes aux versions 31, 32 et 33, on s'aperçoit que plus du tiers d'entre elles sont données sans justification ; 58 % utilisent ou invoquent la formule « sacrée » $C_A V_A = C_B V_B$. Seulement 8 % des bonnes réponses, c'est-à-dire en fait moins de 5 % de l'ensemble se réfèrent au déplacement de l'équilibre.

Il est surprenant de penser qu'à ce niveau d'étude, 0,1 mole de soude n'ait pas paru équivalent au produit $C_B V_B$. Les étudiants ont cruellement ressenti l'absence de C_B et V_B .

Cependant, il est réconfortant de constater que le pourcentage de réponses exactes, avec ou sans justification, croît avec le niveau d'étude.

D.E.U.G. A 2^e Année : 32 % ; LICENCE : 48 % ; MAITRISE : 74 % ; C.A.P.E.S. : 68 % (voir Annexe 2).

Nous avons, par ailleurs, testé une classe de 2^e Année de B.T.S. Chimie : 100 % de réponses exactes. Là encore, 6 % sont capables d'expliquer le résultat par le déplacement de l'équilibre.

En résumé, après une étude attentive de l'ensemble des réponses, il nous a paru manifeste que l'on pouvait déceler 3 écueils majeurs d'ailleurs mêlés.

1) La dissociation de l'acide faible est prise pour un état définitif.

2) Au point d'équivalence, le fait d'avoir versé « autant de soude qu'il y avait d'acide » n'est pas le résultat d'un processus dynamique, cela correspond simplement à la stoechiométrie de la réaction.

3) Face à une situation mal maîtrisée du point de vue qualitatif, on se réfugie dans l'application d'une formule stéréotypée.

En fait, il apparaît que le concept même d'équilibre chimique n'a pas été bien intégré par les étudiants [1]. On peut s'interroger sur les raisons de cette incompréhension.

Lorsque, dans le vocabulaire scientifique, on utilise un mot appartenant à la langue commune, on peut s'attendre à des difficultés liées aux connotations impliquées par l'utilisation habituelle de ce mot [2], [3], [4].

Les élèves entendent parler, pour la première fois en Chimie, « d'équilibre » quand on leur demande « d'équilibrer une équation chimique ». On dit même généralement « équilibrer la réaction ». Cette représentation du mot même d'équilibre est confortée par son utilisation dans la vie courante.

Le banquier ou le gestionnaire présente toujours des comptes « équilibrés » où l'actif compense exactement le passif, il y a autant de recettes que de dépenses. C'est cette idée de « autant de » que l'on retrouvera associée systématiquement à la notion d'équilibre. Les manipulations sur la balance ne peuvent que les conforter dans cette idée.

« Si l'on n'explicite pas la ligne de production spirituelle qui a conduit au résultat, on peut être sûr que l'élève combinera le résultat avec ses images les plus familières » [5].

C'est bien ce qui va se passer avec l'équilibre chimique que l'élève identifie à la stoechiométrie de la réaction ce, d'autant plus facilement qu'il peut appliquer la formule $C_A V_A = C_B V_B$ dont il ne comprend pas bien le sens puisque une proportion notable d'étudiants, disposant pourtant de la quantité de matière (le produit $C_B V_B$) 0,1 mole, réclament par écrit les valeurs de V_B et de C_B .

Une légère modification de l'énoncé de la question dans laquelle on remplace uniquement « quelle quantité de soude » (versions 31, 32, 33) par « quel volume de soude 0,1 M » (versions 51, 52, 53) (fig. 4, Annexe 1) permet l'utilisation réflexe de la relation $C_A V_A = C_B V_B$, le pourcentage de réponses exactes fait plus que doubler 67 %. L'explication du phénomène reste toujours aussi faible, moins de 5 % de l'ensemble des étudiants.

Une question aussi complexe que l'équilibre chimique mériterait une étude approfondie. Notre questionnaire a fait émerger des incompréhensions flagrantes commises par des étudiants en principe motivés par l'étude de la chimie et ayant déjà acquis au minimum, un bac scientifique et la première année du D.E.U.G.

Comment faire pour que ce concept d'équilibre chimique si fondamental dans l'étude de la pH-métrie ne soit pas occulté dans le cas le plus favorable par une formule « cabalistique » ?

N'existe-t-il pas des procédures expérimentales plus qualitatives et permettant de mieux aborder cette question ? Ne faudrait-il pas entraîner qualitativement l'étudiant à prévoir des déplacements d'équilibre avant de le laisser s'enfermer dans des approches quantitatives ? Il faut bien dire que les examens, à tous niveaux, privilégient la réponse numérique.

La remise en cause de notre façon d'enseigner impose la modification des questions d'examen ou, à tout le moins, de leur formulation.

ANNEXE 1

A une question posée de façon inhabituelle dans laquelle on précisait : que l'acide acétique est un acide faible, 1,3 % de cet acide est dissocié à la concentration 0,1 M, les étudiants interrogés ORALEMENT en T.P. de D.E.U.G. A 2^e Année répondaient à 90 % moins de 0,1 mole.

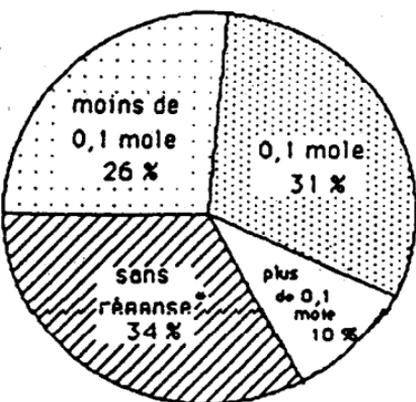
La question était-elle mal posée ?

Il est bien connu que la pH-métrie c'est comme les sondages d'opinion, ce n'est pas « neutre »... suivant la façon dont on pose la question, on déplace la réponse... Cependant nous étions persuadés d'avoir soulevé un vrai problème. Il fallait donc reformuler la question pour qu'elle ne souffre aucune ambiguïté. La poser de façon anonyme, par écrit, à un grand nombre d'étudiants de façon à obtenir des résultats significatifs. Les questions 31, 32, 33 ont été retenues mais 6 autres formulations ont été testées : 41, 42, 43 et 51, 52, 53.

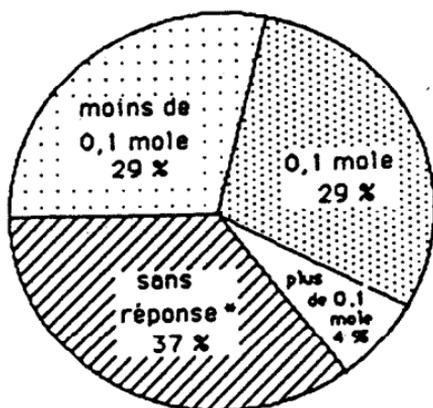
Nous nous étions demandés si le fait d'écrire « Quelle QUANTITÉ de soude faut-il utiliser »... dans les versions (31, 32, 33) pouvait être à l'origine de confusions entre concentrations et quantité de matière. Les versions (41, 42, 43) étaient rigoureusement identiques aux précédentes à un détail près. On y précisait qu'un litre d'acide 0,1 M contenait 0,1 mole d'acide. Ce renseignement n'a pas modifié les résultats de façon notable (fig. 4) car la signification du produit $C_A V_A$ ou $C_B V_B$ ne semble pas très claire dans leur esprit.

Nous avons d'abord pensé à une interrogation sous la forme très traditionnelle, utilisant les volumes aussi bien pour l'acide que pour la base (versions 51, 52, 53). La quantité de soude était remplacée par QUEL VOLUME de soude 0,1 M ; faut-il utiliser ? : moins d'un litre, un litre, plus d'un litre... Le reste de la formulation restant toujours parfaitement identique aux versions correspondantes 31, 32, 33. Le pourcentage de bonnes réponses était considérablement amélioré : plus que doublé, 67 % (fig. 4) par suite de l'application quasi automatique de $C_A V_A = C_B V_B$, par contre, le nombre de réponses faisant intervenir le déplacement d'équilibre demeurait aussi désespérément faible, moins de 5 % de l'ensemble des étudiants testés.

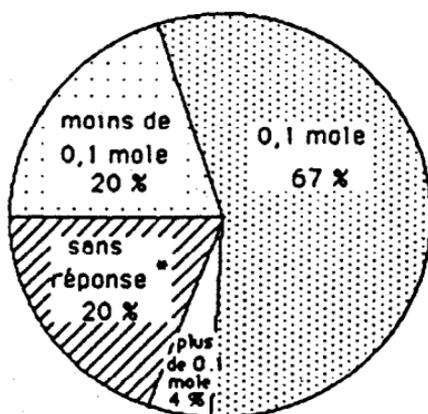
Répartition des réponses des étudiants du D.E.U.G. en fonction de la formulation.



Versions : 31, 32, 33.



Versions : 41, 42, 43.



Versions : 51, 52, 53.

* sans réponses = je ne sais pas répondre + je ne peux pas répondre.

Fig. 4

ANNEXE 2

Pourcentage de « bonnes » réponses en fonction du niveau d'étude :

	moins de 0,1 mole	0,1 mole	plus de 0,1 mole	sans réponse (*)
D.E.U.G. A 2 ^e Année ..	27 %	31 %	8 %	33 %
LICENCE	22 %	48 %	15 %	15 %
MAITRISE	7 %	74 %	4 %	15 %
C.A.P.E.S. (**)	16 %	68 %	5 %	11 %

(*) Nous avons regroupé les « je ne sais pas répondre », avec les « je ne peux pas répondre ».

(**) Parmi les étudiants préparant le C.A.P.E.S., certains n'ont que la licence de chimie, d'autres une maîtrise de physique.

ANNEXE 3

« PERLES DE CULTURE »

Les réponses à un tel questionnaire renferment toujours un certain nombre de perles.

Péremptoire : « L'acide acétique est un acide fort ! »

Prudent : « Pour pouvoir neutraliser "0,1 M", il faut un certain volume avec une certaine concentration ».

Enigmatique : « Un litre d'acide acétique 0,1 M est neutralisé par 0,1 litre de soude à 0,1 mole. Moins que 0,1 d'acide acétique est neutralisé par une quantité beaucoup plus importante que 1 litre. Donc, on ajoute plus de 0,1 mole, d'où moins que 1 litre de soude à ajouter, un volume pas très important ».

Certitude tranquille : « Car nous savons que pour doser un acide par une base, il faut plus de base que d'acide ».

BIBLIOGRAPHIE

- [1] M. GORODETSKY, E. GUSSARSKY, *Eur. J. Sci. Educ.*, vol. 8, n° 4, page 427 (1986).
- [2] J. DOUSSET, A. MONTALLA, M. KADINGU, M. PASDELOUP, *Actualité chimique*, page 43, janvier 1984.
- [3] J. R. T. CASSELS, A. H. JOHNSTONE, « *Understanding of non technical words in science* », The Royal Society of Chemistry, page 1, june 1980.
- [4] *Compte rendu de l'ATP sur les transitions dans le système éducatif : programme R.A.M.E.A.U.*, page 36, D. CROS, U.S.T.L., Montpellier.
- [5] G. BACHELARD in « *La formation de l'esprit scientifique* », page 234, Vrin éditeur 10^e ed., Paris 1977.