



**HAL**  
open science

## L'avancement de réaction en classe de première scientifique

Christine Ducamp, Alain Rabier

► **To cite this version:**

Christine Ducamp, Alain Rabier. L'avancement de réaction en classe de première scientifique. 4iemes rencontres scientifiques de l'ARDIST, Oct 2005, lyon, France. hal-01904128

**HAL Id: hal-01904128**

**<https://hal.science/hal-01904128>**

Submitted on 24 Oct 2018

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## **L'avancement de réaction en classe de première scientifique**

*DUCAMP Christine, formatrice de physique-chimie, ENFA, Toulouse, France.*

*RABIER Alain, formateur de physique chimie, GRIDIFE IUFM Midi-Pyrénées, Toulouse, France.*

*Avec le soutien de l'INRP*

### **Résumé**

La chimie est une science qui s'occupe essentiellement de l'étude des transformations chimiques. Une transformation chimique est modélisée par une réaction chimique dont l'écriture symbolique est l'équation de réaction.

A la rentrée 2000, le nouveau programme de seconde a été mis en place. Dans la partie "Transformation chimique d'un système", les concepteurs proposent un nouvel "*outil*" pour étudier l'état du système chimique au cours de la transformation chimique : l'avancement.

L'utilisation de cet "*outil*" se poursuit en classe de première scientifique (Première S) et de terminale scientifique (Terminale.S).

C'est sur l'introduction de cette notion d'avancement de réaction dans l'enseignement de la chimie au lycée (plus particulièrement en classe de première S) que porte cette étude.

La recherche en cours tentera d'évaluer l'apport réel de ce "concept-outil" en ce qui concerne la maîtrise de la transformation chimique par les élèves de lycée à travers l'analyse d'un questionnaire posé à des classes de première scientifique.

# L'avancement de réaction en classe de première scientifique

*Ducamp Christine, formatrice de physique-chimie, ENFA, Toulouse, France.*

*Rabier Alain, formateur de physique chimie, GRIDIFE IUFM Midi-Pyrénées, Toulouse, France.*

*Avec le soutien de l'INRP*

## **Introduction**

La chimie est une science qui s'occupe essentiellement de l'étude des transformations chimiques. Une transformation chimique est modélisée par une réaction chimique dont l'écriture symbolique est l'équation de réaction. Cette équation de réaction est "*un concept intégrateur source de difficultés persistantes*" (Barlet et Blouin, 1994) ou encore "*un nœud d'obstacles difficilement franchissable*" (Laugier et Dumon, 2004).

A la rentrée 2000, le nouveau programme de seconde a été mis en place. Dans la partie "Transformation chimique d'un système", les concepteurs proposent un nouvel "*outil*" pour étudier l'état du système chimique au cours de la transformation chimique : l'avancement.

L'utilisation de cet "*outil*" se poursuit en classe de première scientifique (Première S) et de terminale scientifique (Terminale.S).

C'est sur l'introduction de cette notion d'avancement de réaction dans l'enseignement de la chimie au lycée (plus particulièrement en classe de première S) que porte cette étude. Nous avons regardé la place de ce concept dans les programmes de seconde générale et dans le cycle scientifique et avons abordé les pratiques déclarées des enseignants pour l'introduction de ce concept dans ces différentes classes (Ducamp, 2003).

La recherche en cours tente d'évaluer l'apport réel de ce "concept-outil" en ce qui concerne la maîtrise de la réaction chimique par les élèves de lycée à travers l'analyse d'un questionnaire posé à des classes de première scientifique.

## **Cadre théorique**

Le concept de degré d'avancement de réaction a été introduit il y a plus de 80 ans par De Donder. Cette grandeur permet de réduire de  $n+2$  à 3 (P, T et  $\xi$ ) le nombre de variable décrivant un système fermé constitué de n espèces subissant une transformation chimique. Elle a permis à De Donder de donner une formulation mathématique au concept d'affinité chimique ainsi qu'une nouvelle définition de la vitesse réactionnelle (Goupil, 1991 ; Prigogine et Kondepudi,

1999). Depuis il a subi un certain nombre de modifications au niveau de l'appellation, du symbole et de la dimension (Dumon, Lichanot et Poquet, 1993) Au niveau de l'enseignement supérieur, l'intérêt d'utilisation de ce concept a fait l'objet de nombreux articles (Garst, 1974 ; Rouquerol et Lafitte, 1985 ; Dumon, Lichanot et Poquet, 1993 ; Canagaratna, 2000). Les ouvrages français de ce niveau, dans leur grande majorité, ont adopté pour la définition et le symbole les recommandations de l'IUPAC.

En ce qui concerne l'enseignement secondaire, les notations en lettre grecque n'étant pas évidentes à transcrire par les élèves, les concepteurs des programmes, pour des raisons de simplification, ont choisi de noter l'avancement de réaction par " x " en lieu et place de "  $\xi$  " .

Les programmes d'enseignement sont le résultat d'un ensemble de transformations (nommées transposition didactique) effectuées sur les savoirs de référence afin de les rendre enseignables. On distingue deux niveaux majeurs de la transposition didactique : la transposition externe qui caractérise d'abord le passage d'un savoir produit dans le domaine de la recherche (le savoir savant) au savoir à enseigner proposé dans les programmes, puis la transposition interne relative au savoir réellement enseigné par l'enseignant et au savoir appris par les élèves. Dans cette recherche, nous nous sommes intéressés à la transposition interne.

L'outil avancement de la réaction introduit au lycée permet la résolution d'exercices quantitatifs sur la transformation d'un système chimique. Un certain nombre de recherches, en s'interrogeant sur l'opposition entre apprentissage de concepts et résolution de problèmes (Nurrenbern et Pickering, 1987 ; Nakhleh et Mitchell, 1993), ont montré qu'enseigner la résolution de problèmes de chimie n'était pas équivalent à enseigner les concepts relatifs à la structure de la matière. Pour ces auteurs, le fait de proposer un algorithme de résolution et de montrer la quantité de problème qu'il peut résoudre ne facilite pas la compréhension du concept sous-jacent. L'enseignement d'algorithmes ne mène pas nécessairement à un apprentissage de concepts. Plus récemment, une étude concernant l'enseignement de la thermodynamique en premier cycle universitaire (Barlet et Mastrot, 2000) conclut que la résolution d'exercices quantitatifs ne fonde pas toujours un réel apprentissage car la mobilisation d'algorithmes prend alors le pas sur la capacité à résoudre de véritables problèmes de chimie. Ces auteurs considèrent que " l'algorithmisation-refuge " est un " obstacle à la conceptualisation " .

## Questions de recherche et méthodologie

Ce travail est basé sur l'utilisation de l'outil avancement par des élèves de première S. Un questionnaire passé par environ deux cents élèves de ce niveau a permis de tester les trois hypothèses de recherche émises.

### Hypothèses de recherche

*H1 : Quelle que soit la difficulté de l'exercice quantitatif mettant en jeu une réaction chimique proposé, l'outil " avancement de la réaction " et son tableau sont majoritairement utilisés.*

*H2 : L'utilisation du tableau permet aux élèves de mettre en œuvre un raisonnement de type algorithmique pour résoudre les exercices proposés.*

*H3 : Les principales sources d'erreurs ou d'échecs dans les exercices proposés aux élèves ne sont pas liés à l'utilisation de l'outil avancement et de son tableau mais plutôt à une mauvaise maîtrise de la réaction chimique au niveau microscopique et/ou au niveau des concepts clés que sont la mole et la stœchiométrie.*

### Élaboration du questionnaire à partir des hypothèses de recherche

Un pré-test a été soumis à une classe de 1<sup>ère</sup> S de 18 élèves. A partir des résultats obtenus et de l'analyse des difficultés rencontrées, un questionnaire final constitué de 5 questions a été retenu (cf. annexe). Les deux premières se présentent sous forme de QCM. Les trois autres sont des exercices quantitatifs, de difficulté croissante, sur la réaction chimique.

Les questions Q1 et Q2 sont destinées à tester l'hypothèse H3. La question Q1 porte sur la notion de mole et notamment sur la loi d'Avogadro-Ampère qui est enseignée en classe de seconde. Cette question a été posée lors d'une étude sur la maîtrise de la notion de mole (Chastrette et Cros, 1985). La question Q2 permet de juger du niveau de maîtrise du concept de stœchiométrie, notamment de l'exploitation au niveau microscopique de l'équation de réaction et de la prise en compte du réactif limitant. Cette question a été posée lors d'une étude sur la différence entre l'apprentissage de concepts et la résolution de problèmes (Nurrenbem et Pickering , 1987).

Les questions Q3, Q4 et Q5 sont destinées à tester les hypothèses H1 et H2 (Barlet et Mastrot, 2000)

Ces trois questions sont relatives à des exercices quantitatifs. Les élèves doivent écrire l'ensemble de leur raisonnement (ils ont la place sur la feuille du questionnaire). En ce qui

concerne la question Q3, on peut noter que la réponse est immédiate et ne nécessite aucun calcul pour un élève qui maîtrise le concept de stœchiométrie (au moins au niveau macroscopique). La question Q5 constitue le niveau de difficulté optimal pour un élève de première S à cette période de l'année.

	les réactifs sont donnés en :	à l'état initial, les réactifs sont en proportions stœchiométriques :
Q3	quantité de matière (mol)	oui
Q4	quantité de matière (mol)	non
Q5	masse (g) et volume (L)	non

## Recueil des données

Cette étude a porté sur des élèves de première S. Elle a été menée dans 9 classes de ce niveau et a concerné 195 élèves d'établissements publics dépendant soit de l'Éducation Nationale soit du Ministère de l'Agriculture en 2004. La répartition exacte est donnée dans le tableau ci-dessous :

	Éducation Nationale	Agriculture	Total
Nombre de lycées	2	4	6
Nombre de classes	5	4	9
Nombre d'élèves	127	68	195

Bien que l'avancement de la réaction soit introduit en classe de seconde, il ne correspond pas à une compétence exigible du programme. Notre choix s'est donc porté sur la classe de première S où son utilisation est incontournable dès la première partie du programme concernant "*la mesure en chimie*". Ce recueil des données s'est déroulé en 2004. Dans tous les cas la partie concernant la mesure en chimie avait été traitée par les enseignants. Un texte explicatif communiqué aux enseignants leur donnait les consignes pour le passage du questionnaire (cf. annexe).

## Résultats et discussion

### Question 1

La réponse correcte n'est donnée que par 46% des élèves.

Une étude similaire a été réalisée entre 1979 et 1982 (Chastrette et Cros, 1985). Elle avait fourni les pourcentages de bonnes réponses suivants :  $1^{\text{ère}}\text{C}$  : 76%  $1^{\text{ère}}\text{D}$  : 63%

Comme on peut le constater, l'apprentissage et l'enseignement du concept mole continue à poser des difficultés. Il suffit pour s'en convaincre de consulter l'abondante littérature sur le

sujet (Furió, Azconna, Guisasola ,2002). La réponse a), choisie par 19% des élèves, semble mettre en évidence chez certains une confusion entre gaz, solide et liquide. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que la loi d'Avogadro – Ampère qui constitue un réel obstacle épistémologique (Robardet, 1996) n'est traitée qu'en deux ou trois lignes dans le programme de physique de seconde ainsi que dans les manuels correspondants.

### Question 2

La réponse correcte(c) n'est donnée que par 51% des élèves. Pour les élèves ayant donné les réponses e) (27%) et b) (11%), on peut penser que la notion de “ réactif limitant ” (à un niveau microscopique) n'est pas assimilée.

En conclusion pour ces deux questions, ces résultats tendent à prouver que l'hypothèse H3 est vérifiée.

### Questions 3, 4, 5

Pour les questions 3, 4 et 5, nous nous intéressons aux pourcentages de bonnes réponses et à l'utilisation du tableau introduisant l'avancement : (BR : bonne réponse, UTA : utilisation du tableau avancement, \*sans compter les non faits)

	%BR	% UTA	% BR + UTA
Q3	87	53	50
Q4	73	60	51
Q5	51	63	47 (56*)

Il est à noter que le pourcentage de bonnes réponses diminue en fonction de la complexité de l'exercice et que dès que l'outil avancement est utilisé, il est toujours associé à l'utilisation du tableau (comme le préconise le programme).

L'analyse des réponses aux questions Q3, Q4 et Q5 tend à prouver que les hypothèses H1 et H2 sont vérifiées.

L'analyse des productions des élèves montre :

- que quand le tableau est utilisé, il l'est de façon conforme aux préconisations des programmes et des documents d'accompagnement relayés par les ouvrages de seconde et de première;
- que les méthodes de résolution utilisées se ramènent à une seule méthode "algorithmique";
- une uniformisation méthodologique souhaitée par les concepteurs des programmes;
- que l'outil semble performant mais que la non maîtrise des concepts de mole, de volume molaire et de stœchiométrie est à l'origine des erreurs des élèves dans la moitié des cas

## Conclusion et perspectives

D'après les résultats de notre étude, nous avons pu mettre en évidence que l'utilisation de l'outil d'avancement associé à son tableau permet aux élèves d'acquérir une méthode de résolution des exercices de chimie basée sur l'utilisation d'algorithmes. Les concepts sous-jacents au concept de réaction chimique comme la mole, la stœchiométrie, la quantité de matière ne sont pas mieux maîtrisés que par le passé. Si dans les cas simples, la majorité des élèves réussit à résoudre l'exercice posé, par contre dès que les concepts sous-jacents doivent être mobilisés, les difficultés resurgissent et le pourcentage d'échec devient important.

L'outil ne se limite pas à la classe de première mais il est aussi utilisé dans d'autres domaines de la chimie et dans le droit fil de cette étude offre une palette de thèmes de recherche intéressants comme l'utilisation de ce tableau lors de titrage par dosage pour cette classe de première scientifique.

## Bibliographie

BARLET Robert et MASTROT Géraldine, 2000, " L'algorithmisation-refuge, obstacle à la conceptualisation. L'exemple de la thermochimie en premier cycle universitaire. ", *Didaskalia*, n° 17, pp. 123-159.

BARLET Robert et BLOUIN Dominique, 1994, " l'équation-bilan en chimie : un concept intégrateur source de difficultés persistantes ", *Aster*, n° 18, pp. 27-56.

CAMAGARATNA Sebastian G, 2000, "The use of extend of reaction in introductory courses", *Journal of Chemical Education*, vol. 77, n° 1, pp. 52-54.

CHASTRETTE Maurice et CROS Danièle, 1985, " enquête sur la maîtrise de la mole et son évolution entre 16 et 20 ans ", *L'actualité chimique*, Mars 1985, pp. 69-76.

DUCAMP Christine, 2003, " l'avancement chimique dans les nouveaux programmes de lycée ", Communication orale avec actes aux 3<sup>ième</sup> rencontres scientifiques de l'ARDIST (Toulouse, 8 au 11 Octobre 2003), pp. 141-148.

DUMON Alain, LICHANOT.A et POQUET. E, 1993, "Describing chemical transformations", *Journal of Chemical Education*, vol. 70, n° 1, pp. 29-30.

FURIO Carlos, AZCONA Rafael et GUIASOLA Jenaro, 2002, "The learning and teaching of the concepts "amount of substance" and "mole" : a review of the literature", *Chemistry Education : Research And Practice In Europe*, vol. 3, n° 3, pp..277-292.

GARST John F, "The extend of reaction as a unifying basis for stoichiometry in elementary chemistry", *Journal of Chemical Education*, vol. 51, n° 3, pp. 194-196.

GOUPIL Michelle, 1991, *Du flou au clair ? Histoire de l'affinité chimique*, Paris, Éditions du CTHS.

LAUGIER André et DUMON Alain, 2004, "L'équation de réaction: un nœud d'obstacles difficilement franchissable", *Chemistry Education : Research And Practice*, vol. 5, n° 1, pp. 51-68.

NAKHLEH Mary et MITCHELL Richard , 1993, "Concept learning versus problem solving, there is a difference", *Journal of Chemical Education*, vol. 70, n° 3, pp. 190-192.



NURRENBERN Susan et PICKERING Miles, 1987, "Concept learning versus problem solving: is there a difference?", *Journal of Chemical Education*, vol. 64, n° 6, pp. 508-510.

PRIGOGINE Ilya et KONDEPUDI Dilip, 1999, *Thermodynamique. Des moteurs thermiques aux structures dissipatives*, Paris, Odile Jacob.

ROBARDET Guy, 1996, "Un enseignement de la loi d'Avogadro", *Enseigner les sciences physiques Mission possible !* CRDP Académie de Grenoble.

ROUQUEROL Françoise et LAFFITTE Marc, 1985, "Plaidoyer pour l'utilisation de la variable "avancement de la réaction" (symbole  $\xi$ ) pour l'étude de la réaction chimique", *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 674, pp. 1073-1086.

## Annexe

Texte explicatif communiqué aux enseignants leur donnant les consignes pour le passage du questionnaire :

*Durée : 20 à 30 min maximum*

*Pas de documents autorisés*

*Calculatrice autorisée*

*Regrouper les copies par classes*

*Nous communiquer toute remarque concernant les réactions des élèves ou les difficultés rencontrées*

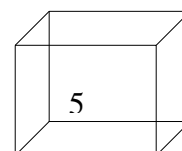
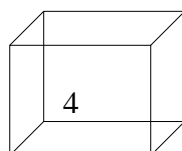
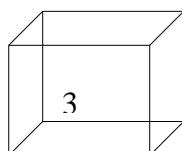
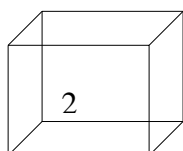
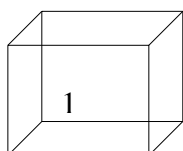
### QUESTIONNAIRE PREMIÈRE S

Les questions sont indépendantes et elles peuvent être traitées dans n'importe quel ordre.

#### Question 1

Les cubes dessinés ci-dessous ont le même volume de 22,4 l.

Ils contiennent les substances indiquées, à 0°C et sous une pression de 1,01325 Pa.



Hydrogène  
H<sub>2</sub> (gaz)

Ammoniac  
NH<sub>3</sub> (gaz)

Mercure  
Hg (liquide)

Fer  
Fe (solide)

Hélium  
He (gaz)

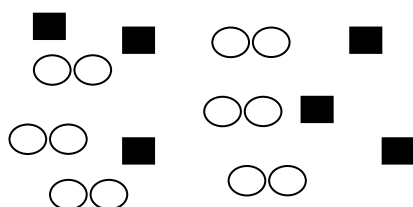
Choisir parmi les 5 réponses proposées la réponse qui vous paraît exacte et mettre une croix dans la case correspondante.

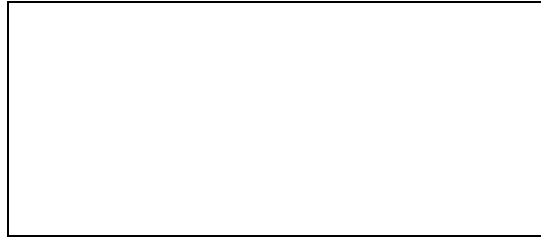
- a)  Les cubes contiennent tous une mole de substance
- b)  seul les cubes 1 et 2 contiennent une mole de substance
- c)  tous les cubes sauf le cube 4 contiennent 1 mole de substance
- d)  seuls les cubes 1,2 et 5 contiennent une mole de substance
- e)  je n'ai pas assez d'informations pour choisir.

#### Question 2

Soit l'équation de réaction suivante :  $2S + 3O_2 \rightarrow 2SO_3$

Si on considère, dans un récipient fermé, le mélange initial de S (■) et de O<sub>2</sub> (○○) suivant :



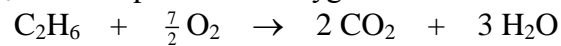


Lequel parmi les 5 schémas suivants représente le système à l'état final

schéma a	schéma b	schéma c
schéma d	schéma e	

### Question 3

- L'éthane  $C_2H_6$  brûle en présence d'oxygène selon la réaction suivante :



Combien de moles de dioxyde de carbone et d'eau obtient-on si on utilise 1 mole d'éthane et 3,5 moles de dioxygène ?

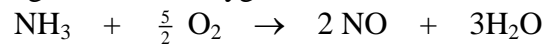
### Question 4

- Soit la réaction de synthèse de l'eau :  $2 H_2 + O_2 \rightarrow 2 H_2O$

Un mélange de 4 moles d'hydrogène et de 3 moles de dioxygène entre en réaction et fournit de l'eau. Quelle est la composition finale (en moles) du système ?

### Question 5

- L'ammoniac réagit avec le dioxygène selon la réaction :



Quelle est la composition finale (en moles) du système lorsque l'on fait réagir 68 g d'ammoniac avec 100 L de dioxygène ?

On donne :

$$M(NH_3) = 17 \text{ g.mol}^{-1}$$

Volume molaire dans les conditions de l'expérience :  $V = 24 \text{ L.mol}^{-1}$