

Analyse comparative de pratiques enseignantes en situation de classe ordinaire lors du premier contact d'élèves tunisiens avec la modélisation de la transformation chimique

Imène Mzoughi-Khadhraoui¹, Alain Dumon² et Malika Ayadi-Trabelsi³

¹Institut supérieur de l'éducation et de la formation continue, Le bardo, Tunisie. E-mail: mzoughiimen@yahoo.fr. ²Institut Universitaire de Formation des Maîtres d'Aquitaine et Laboratoire Cultures, Education, Sociétés, université Bordeaux 2, France. E-mail: alain.dumon@iufm.u-bordeaux4.fr. ³Faculté des sciences de Bizerte, Tunisie.

Résumé: Nous nous proposons dans ce travail d'effectuer une analyse comparative des pratiques, en situation de classe ordinaire, de trois enseignants expérimentés à travers l'exemple de l'enseignement de la réaction chimique. Quelles sont les démarches adoptées pour l'introduction de connaissances disciplinaires? Comment sont organisées et gérées les interactions avec les élèves? Comment sont prises en compte les difficultés rencontrées par les élèves? Les élèves ont-ils la possibilité de participer à l'acquisition de leur savoir? Le corpus analysé correspond aux transcriptions des enregistrements audio des séquences relatives à l'enseignement des trois thèmes concernant la réaction/transformation chimique proposés en première année du lycée. L'observation du savoir enseigné montre que les démarches d'introduction des connaissances majoritairement adoptées consistent en la description et l'imposition des éléments de connaissances, que les enseignants recherchent des réponses correctes à leurs questions afin de pouvoir les utiliser dans leur projet d'enseignement en les intégrant dans le déroulement prévu. Seul un enseignant accorde une certaine importance aux interventions des élèves en changeant le déroulement de son cours lorsqu'apparaît une incorrection ou une incompréhension. On peut en conclure que la place laissée à l'élève dans l'acquisition de son savoir est très limitée.

Mots clés: réaction chimique, pratiques enseignantes, interactions professeurs-élèves.

Title: Comparative analysis of teaching practices in ordinary classroom during the first contact of Tunisian students with the modeling of chemical transformation.

Abstract: We propose in this work to perform a comparative analysis of three experienced teachers' practices in the ordinary classroom situation, through the example of the chemical reaction teaching. What are the adopted processes for the introduction of disciplinary knowledge? How are organized and managed interactions with students? How are taken into account the difficulties encountered by students? Do students have the opportunity to participate in the acquisition of knowledge? The analyzed

corpus corresponds to the transcriptions of audio recording of sequence relating to the teaching of the three themes concerning the chemical reaction/transformation proposed in the first year of high school. The observation of taught knowledge shows that adopted processes for the introduction of knowledge mainly consist of description and prescription of knowledge elements; that the teachers search correct answers to their questions so that they can integrate them in the previous development of their teaching project. Only one teacher gives some importance to the student's interventions by changing the development of its course if incorrectness or misunderstandings appear. It can be concluded that the place allowed to student in acquisition of his knowledge is very limited.

Keywords: chemical reaction, teacher's practices, teachers – students interactions.

Introduction

Nous adopterons l'idée suivante émise par Giordan (1999): "si l'individu ne peut qu'apprendre seul — personne ne peut le faire à sa place, et on mesure là le rôle primordial de l'apprenant, seul véritable 'auteur' de sa formation —, il a fort peu de chances de 'découvrir' seul l'ensemble des éléments pouvant transformer ses questions, ses référents ou son rapport aux savoirs". En situation de classe, c'est le rôle de l'enseignant de contribuer à amener l'élève à être acteur de sa formation, à découvrir les réponses aux questions qu'il se pose. En effet, comme l'écrit Bachelard (1938): "Pour un esprit scientifique, toute connaissance est une réponse à une question. S'il n'y a pas eu de question, il ne peut y avoir de connaissance scientifique. Rien ne va de soi. Rien n'est donné. Tout est construit". L'enseignant ne devrait jamais se trouver dans la situation évoquée par Woody Allen "Quelqu'un dans la salle a-t-il des questions? Moi, j'ai des réponses!"

Bien que l'enseignant ne soit sans doute pas uniquement en cause pour expliquer les apprentissages, l'enseignement dispensé par l'enseignant intervient largement et de manière différenciée sur l'apprentissage des élèves (Robert, 2001). En particulier, par la manière dont il se positionne par ses pratiques entre les objectifs de son enseignement (en termes d'apprentissage des élèves) et les moyens pour y parvenir (en termes de manière d'enseigner au quotidien un programme donné dans une classe donnée). On sait qu'il y a sans doute des marges de manœuvre pour chaque enseignant dans sa classe, mais il y a aussi des contraintes fortes qui restreignent considérablement les choix, aussi bien externes à l'enseignant (programmes, horaires, composition des classes, habitus liés à l'institution) que plus interne (conceptions personnelles, compétences et expérience, habitudes, recherche de confort, de satisfaction, nécessité d'une insertion sociale supposant une certaine légitimité, etc.). Il s'en suit l'observation d'une certaine stabilité des pratiques d'un enseignant à partir de quelques années d'enseignement.

Toute intervention verbale de l'enseignant peut être considérée comme une action: elle a un but (elle correspond à une intention), elle s'appuie sur des domaines de savoir (des références) qui sont plus ou moins conscients

pour l'enseignant lui-même (Dumas Carré et Goffard, 1998). L'étude du discours de l'enseignant et des interactions donne à voir ce que prend en charge le professeur (fonctions d'aide ou d'étayage) et ce qu'il laisse à la charge des élèves (Chappet Pariès, 2004). C'est à travers les relations verbales entre professeur et élèves que nous nous proposons de caractériser des pratiques d'enseignement ordinaire mises en œuvre en Tunisie par des enseignants expérimentés lors de l'enseignement de la transformation chimique. Quelles sont les démarches adoptées pour l'introduction des savoirs enseignés? Comment sont prises en compte les difficultés que les élèves rencontrent? Les élèves ont-ils la possibilité de participer à l'acquisition de leur savoir? Les pratiques observées chez les différents enseignants présentent-elles des similitudes ou des différences?

Le cadre contextuel

Au cours de la 9^{ème} année de l'école de base, les élèves tunisiens ont déjà eu une première approche, en langue Arabe, de la constitution de la matière (atomes, molécules, leur symbolisation et leur représentation par des modèles moléculaires). La réaction chimique est introduite principalement à partir de l'observation de quelques expériences présentées par les enseignants: réactions de combustion, formation de la rouille, action entre le fer et le soufre. Elle est définie comme "une transformation au cours de laquelle des corps disparaissent et des corps nouveaux apparaissent", puis représentée sous forme littérale par un schéma de réaction, du type, réactifs → produits, avant d'être symbolisée par une équation chimique "équilibrée". Lors de la première année de l'enseignement secondaire, cette fois francisant, il s'agira d'amener les élèves à intégrer, approfondir et conceptualiser les notions déjà vues dans le but de modéliser les phénomènes chimiques et d'en effectuer un traitement quantitatif. Les connaissances introduites en début d'année scolaire et susceptibles d'être mobilisées par les élèves pour interpréter les informations reçues lors de l'apprentissage de la transformation/réaction chimique (contrairement à l'enseignement en France, la différence entre le phénomène observé, la transformation chimique et sa modélisation, la réaction chimique, n'est pas introduite) sont les suivantes: différence entre corps purs et mélanges (homogènes et hétérogène); différence entre corps simple et composé; les objets du modèle à l'échelle atomique et moléculaire (molécules, atomes, ions); la nomenclature de quelques corps simples ou composés et d'ions; l'utilisation des symboles pour écrire la formule d'un corps pur ou d'un ion; le nombre (il vaudrait mieux dire constante) d'Avogadro (N_A); la mole (définie comme la quantité de matière d'un ensemble contenant N_A particules identiques: c'est aussi l'unité de quantité de matière), la masse molaire, le volume molaire. L'enseignement de la transformation/réaction chimique est abordé environ deux mois plus tard, il est découpé en trois chapitres. Le premier chapitre consacré à la «notion de réaction chimique» (durée proposée 1h), est une reprise de l'enseignement de la 9^{ème} année de l'enseignement de base. Sa finalité est d'arriver, à partir de l'interprétation d'expériences réalisées en classe, à la définition suivante: "Une réaction chimique est une transformation au cours de laquelle des corps disparaissent et des corps nouveaux apparaissent. Les corps qui disparaissent sont les réactifs et les corps qui apparaissent sont les produits

de la réaction" (notons que la notion de substance chimique n'est pas mentionnée). Ces expériences seront successivement décrites à partir des changements de propriétés perceptives, puis en utilisant le langage de la chimie: nomenclature et symbolisation à l'aide de schémas du type réactifs → produits. Un deuxième chapitre est consacré à "l'Etude qualitative d'une réaction chimique" (durée proposée 3h) destiné à introduire les caractères qualitatifs (spontané ou amorcé, rapide ou lent, exothermique ou endothermique) d'une réaction chimique. Il permet de revenir sur la symbolisation d'une réaction à l'aide d'un "schéma de réaction". Enfin un chapitre aborde "l'Etude quantitative d'une réaction chimique" (durée proposée 3h). Ce chapitre doit conduire les élèves à savoir passer de la symbolisation de la réaction sous forme d'un schéma «langagier» à l'écriture d'une équation de réaction faisant intervenir les symboles des entités chimiques et les coefficients/nombres stœchiométriques, en utilisant la loi de conservation des atomes (la notion d'élément n'est pas présentée à ce niveau), puis à réaliser le traitement quantitatif de réactions chimiques supposées totales où les réactifs sont mis en quantités connues et quelconques (notion de réactif limitant).

Méthodologie d'observation des situations de classe

Le corpus analysé correspond aux transcriptions des enregistrements audio des séquences relatives à l'enseignement des trois thèmes concernant la réaction/transformation chimique proposés en première année du lycée. Les enseignants observés sont des enseignants volontaires ayant accepté notre présence dans leur classe. Le premier a 12 ans d'ancienneté dans la fonction enseignante, le deuxième 7 ans et le troisième 9 ans. Ils ont des anciennetés voisines et travaillent dans trois lycées différents de la capitale où les quartiers sont semblables du point de vue de leur population. Ces enseignants n'ont eu pour seule formation initiale que les quatre années de leur formation universitaire accompagnée de quelques stages dans la classe d'un enseignant confirmé. Les classes sont hétérogènes, leurs effectifs sont environ de 33 élèves, elles peuvent être considérées de niveaux comparables du fait de leurs appartenance à la même situation géographique et de leur taux de réussite au baccalauréat avoisinant le pourcentage de réussite national (vers les 57%) avec de bons élèves (ceux qui participent le plus souvent aux échanges) et des élèves "plus ou moins" moyens.

Nous avons choisi d'effectuer, en nous inspirant de divers travaux, un découpage des situations de classe observées (cf. l'exemple en annexe 1):

- A l'échelle macroscopique (de l'ordre d'une heure ou plus): la séquence qui est définie par son unité thématique. Elle peut être constituée de plusieurs séances, séances qui sont définies par une unité temporelle continue d'enseignement devant les élèves (durée officielle 1h – Durée effective 45 à 55 minutes) (Robert, 1999; Rogalski, 2003; Tiberghien et Malkoun, 2007).

- A l'échelle mésoscopique (quelques minutes): un épisode correspondant à une activité qui réalise un but précis dans la progression et qui correspond à l'ensemble des interactions relatives à un même objet d'enseignement, de

discussion (Dumas Carré et Goffard, 1998; Morge, 2001; Mercier et Buty, 2004).

- A l'échelle microscopique (quelques secondes): les unités d'interventions. Les interventions de l'enseignant et des élèves ont été transcrites en les découpant en unités d'intervention, c'est-à-dire "en éléments de discours qui portent un message précis et ayant un sens donné, telle la communication d'une définition, d'une formule, d'une injonction, d'une question, etc." (El Hajjami et al., 1999, p. 70). Les unités d'intervention sont séparées par des /. Elles peuvent avoir différentes significations. Certaines concernent les aspects nécessaires à la communication avec le groupe classe et la gestion de ce groupe, ce que Jossé et Robert (1993) appellent le "discours d'accompagnement", pour organiser le travail des élèves, attirer leur attention, etc. (Nous nous intéresserons dans cet article à la seule composante "questionnement" du discours d'accompagnement). D'autres sont relatives à l'introduction d'éléments de connaissances de la discipline enseigné (objet, événements, nomenclature, concepts, formules, modèles, etc.).

Deux catégories d'interventions des enseignants seront analysées. La première porte sur les démarches d'introduction des éléments de connaissances, la deuxième concerne les interactions dans la classe, c'est-à-dire le type de questionnement des élèves utilisé par chaque enseignant et le type de gestion des réponses ou des interventions des élèves. Deux grilles ont été utilisées pour analyser ces interventions. La première (Tableau 1) s'inspire de celle élaborée par El Hajjami et al. (1999) dans laquelle les démarches d'introduction des connaissances sont considérées comme pouvant être:

- *induites*: de l'observation d'une expérience émergent les connaissances introduites;

- *déduites*: les connaissances sont élaborées sur la base d'hypothèses, de propositions initiales formulées par l'enseignant;

- *décrites*: description par l'enseignant des objets théoriques (modèle, relation entre concepts, méthode de résolution,...) ou expérimentaux (dispositif expérimental, faits expérimentaux,...) en explicitant leurs différents aspects et les relations éventuelles;

- *imposées*: les connaissances sont communiquées d'emblée sans utilisation des démarches précédentes;

- *contrôlées*: la compréhension des connaissances introduites ou des pré-requis est contrôlée par des moyens divers: questions, QCM, questions de type vrai/faux ou par résolution d'exercices.

Pour analyser les interactions dans la classe nous avons, en nous inspirant du travail réalisé par Venturini et al. (2007), et en l'adaptant aux situations d'enseignement observées, élaboré une grille (Tableau 2) où les critères sont le type de questionnement utilisé par chaque enseignant et le type de gestion des réponses ou des interventions des élèves.

A- induites	B- déduites	C- décrites	D- imposées	E- contrôle des apprentissages
A1-Observation	B1-Par calcul	C1- Choses /objets /évènement	D1- Nomenclature	E1- Questions sur les prérequis
A2-Expérience	B2-Par application des propriétés	C2- Modèle	D2- Définition	E2- QCM
A3-Traitement des données	B3-Par application du modèle à partir de conventions ou par calcul	C3- Méthode de Résolution des exercices	D3- Dogme/ affirmation sans justification	E3- Questions vrai/faux
	B4-Par analogie		D4- Convention	
	B5-autres		D5- Appariement d'un élément du modèle à un élément du champ empirique	

Tableau 1.- Grille d'analyse des démarches d'introduction des connaissances.

Nature du questionnement - La question de l'enseignant porte sur:	Codage
- l'observation/la description d'une expérience	Q1
- l'interprétation d'une expérience	Q2
- la compréhension d'une notion, d'un concept, d'une procédure	Q3
- une demande de précision ou de complément sur la réponse donnée	Q4
- une relation avec l'environnement quotidien	Q5
- la recherche d'un accord tacite, qui ne nécessite pas nécessairement une réponse, en vue de retenir l'attention des élèves	Q6
Gestion des réponses des élèves - L'enseignant pose une question et:	
- un (ou des) élève(s) répond(ent) correctement et les réponses sont utilisées dans le projet de l'enseignant et intègrent le déroulement prévu;	R1
- la réponse donnée par un (ou des élèves) fait apparaître une incorrection ou une incompréhension: une/des information(s) complémentaires sont apportées ((Eventuellement le déroulement prévu s'arrête → changement d'épisode).	R2
- l'enseignant adapte les propos des élèves pour les faire correspondre à son projet d'enseignement;	R3
- faute de réponse ou d'une réponse correcte/complète il repose la question, parfois en utilisant une paraphrase ou en guidant la réponse;	R4
- faute de réponse ou d'une réponse correcte/complète il répond à la place des élèves;	R5
- une réponse incorrecte est simplement rejetée sans explication	R6
- ne relève pas les propos de l'élève (surdité sélective);	R7
- renvoie la réponse à une date ultérieure.	R8

Tableau 2.- Grille d'analyse des interactions dans la classe.

Des exemples de codage des démarches d'introduction des connaissances (DIC) et des types de questionnement et de gestion des réponses sont donnés dans les annexes.

Analyse des pratiques enseignantes

L'observation des séquences d'enseignement consacrées à la réaction chimique montre que les connaissances relatives à la réaction chimique sont introduites, conformément aux directives du programme, à partir de l'interprétation d'expériences réalisées par le professeur en classe et de la résolution collective d'un exercice pour le traitement quantitatif. Les trois enseignants ont consacré le même temps (50 mn) à l'introduction de la définition de la réaction chimique au cours de la première séquence. Les professeurs 1 (P1) et 2 (P2) ont réalisé trois expériences, dont deux choisies parmi les exemples proposés dans le manuel, par contre, le professeur 3 (P3) se contente d'exploiter deux exemples de questionnements en rapport avec la vie de tous les jours proposés dans les instructions officielles et figurant dans le manuel, (Pourquoi le fer rouille? Dissolution d'un comprimé effervescent) sans réaliser d'autres expériences. Notons que le professeur 1 termine cette séquence en utilisant un exercice de contrôle des connaissances de type vrais/faux figurant dans le manuel. La durée de la deuxième séquence destinée à faire ressortir les conditions nécessaires à la réalisation de certaines expériences et introduire les caractères qualitatifs d'une réaction chimique (amorcée/instantanée; lente/rapide; exothermique/endothémique) a été de 55 mn pour le professeur 1 et de 100 mn (soit deux séances) pour les professeurs 2 et 3. Chaque enseignant a fait référence aux expériences (réalisées ou décrites) de la séquence précédente et réalisé trois expériences. Le temps consacré à la troisième séquence relative à l'étude quantitative de la réaction chimique a été identique pour les trois enseignants: 50 mn. Les professeurs 2 et 3 ont réalisé une expérience destinée à introduire la conservation de la masse au cours d'une réaction chimique (respectivement, précipitation de AgCl et de $\text{Cu}(\text{OH})_2$). Chaque enseignant a utilisé un exercice différent pour enseigner la procédure à mettre en œuvre pour la résolution des problèmes: P1, combustion du magnésium; P2, combustion du méthane; P3, réaction entre le fer et le soufre.

Alors que les instructions officielles préconisent une durée globale de 7h pour l'enseignement de la réaction chimique, la durée réelle qui y est consacrée par les enseignants varie de 2h35 (Professeur 1) à 3h30 (Professeur 2). Comment expliquer cette différence? On peut penser que se sont des contraintes de temps d'origine didactique qui les amènent à réduire la durée de leur enseignement. L'étude de la réaction chimique intervenant en fin de programme il faut aller à l'essentiel (l'introduction des nouveaux objets de savoir figurant dans les I.O.) afin de pouvoir par la suite traiter du chapitre consacré aux hydrocarbures. Il est également possible que, comme leurs situations d'enseignement correspondent, à quelques exceptions près, au contenu du manuel scolaire, ils pensent que le temps consacré à l'étude de la réaction chimique est suffisant pour enseigner ces contenus.

Démarches d'introduction des connaissances (DIC)

Les différentes catégories de démarches utilisées par les trois enseignants pour l'ensemble des séquences sont reportées dans le tableau 3.

DIC	Ensemble des séquences					
	P1		P2		P3	
	N	%	N	%	N	%
A	26	9	21	8	34	22
B	20	7	26	10	20	13
C	80	29	90	35	31	20
D	115	42	80	31	65	41
E	34	12	39	15	8	5
Total DIC	275		256		158	

Les % sont calculés par rapport au nombre total de DIC utilisées

Tableau 3.- Les catégories de DIC identifiées.

Si l'on se réfère au tableau 3, on distingue trois profils d'utilisation des démarches d'introduction des connaissances:

- le professeur 1 impose les définitions (D2) et introduit beaucoup de connaissances sous forme d'affirmation sans justification (D3) (en moyenne 42% des DIC), puis ce sont les descriptions d'objets ou d'évènements (en particulier C1) qui sont ensuite utilisées (29% des DIC);

- le professeur 2 utilise préférentiellement la description d'objets et d'évènements (C1: en moyenne 35% des DIC), puis la démarche d'imposition des connaissances, en particulier pour les définitions (D2: 31%);

- pour le professeur 3, c'est d'abord l'imposition des connaissances qui prévaut (41% des DIC) soit sous forme d'affirmation sans justification, soit pour ce qui concerne les définitions. Ce qui le différencie du professeur 1, c'est qu'en plus de la démarche de description des objets et évènements (C1) il utilise dans les mêmes proportions (environ 20%) la démarche d'introduction consistant à induire les connaissances à partir d'observations ou d'expériences (A1 et A2).

Nous nous sommes intéressés également à l'éventuelle variation, selon la nature du contenu enseigné, de fréquence d'utilisation des démarches d'introduction des connaissances. Nous avons pour cela reporté dans la figure 1 les pourcentages d'apparition des différentes démarches dans les unités d'intervention des enseignants (cf. tableau 3).

On remarque qu'effectivement les démarches utilisées pour l'introduction des connaissances varient d'un professeur à l'autre suivant le contenu de l'enseignement:

- Les professeurs 1 et 2 utilisent des démarches d'imposition des connaissances (D) en proportions à peu près égale d'une séquence à l'autre. Par contre pour le professeur 3 la fréquence d'apparition de ce type de démarche est importante lors de l'introduction de la notion de réaction chimique représentée par son schéma de réaction, diminue légèrement lors

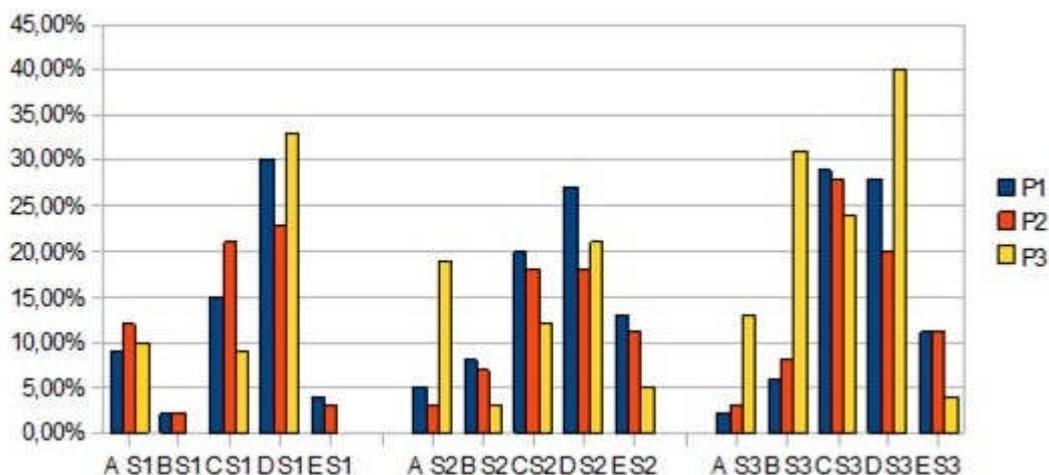


Figure 1.- Analyse comparative des différentes démarches d'introduction des connaissances utilisées pour les trois séquences

de l'introduction des caractères d'une transformation chimique et redevient très importante lors de l'étude quantitative de la transformation chimique.

- Pour les trois professeurs la fréquence d'apparition de la démarche de description des connaissances introduites (C) est relativement stable pour les deux premières séquences à caractère expérimental et augmente lors de l'introduction de l'écriture des équations et du traitement quantitatif de réactions chimiques.

- En ce qui concerne le type de démarche d'introduction des connaissances induites (A), leur fréquence d'apparition est peu importante et décroît chez les professeurs 1et 2 de la première à la troisième séquence. Par contre pour le professeur 3 sa fréquence d'utilisation est quasiment identique (de l'ordre de 10%) pour les séquences 1 et 3 et augmente (+10% environ) au cours de la séquence 2.

- C'est encore chez le professeur 3 que l'on observe la plus grande variabilité dans l'utilisation de la démarche d'introduction des connaissances déduites (B). Ce type de démarche n'apparaît pas au cours de la première séquence, émerge à peine lors de la deuxième séquence à caractère expérimental et atteint une fréquence d'apparition de l'ordre de 30% lors de la troisième séquence. C'est la catégorie B3 (déduites par application du modèle à partir de conventions ou par calcul) qui est privilégiée.

On peut donc affirmer que bien que le type de démarche utilisé par un enseignant de profil particulier pour l'introduction des connaissances est fonction du contenu enseigné, la description et l'imposition des éléments de connaissances prédominent.

Les interactions dans la classe

Le dénombrement des différents types de questions posées par chaque enseignant au cours des différentes séquences ainsi que les différents types de gestion par ces enseignants des réponses ou interventions des élèves est reporté dans le tableau 4. Précisons que chaque intervention a été caractérisée par une catégorie unique et donc codée de manière exclusive.

Des exemples de codage figurent dans les annexes et dans les exemples d'épisodes donnés dans le tableau 4.

		Ensemble des séquences					
		P1		P2		P3	
		N	%	N	%	N	%
Types de questions	Q1	24	20	12	11	21	28
	Q2	29	24	13	12	9	12
	Q3	54	44	47	43	26	35
	Q4	12	10	16	15	10	14
	Q5	1	1	8	7	1	1
	Q6	2	2	13	12	7	9
Total Q		122		109		74	
Types de gestion des réponses	R1	57	43	59	53	38	60
	R2	1	1	15	13	1	2
	R3	24	18	12	11	10	10
	R4	16	12	14	13	6	10
	R5	23	17	11	10	7	11
	R6	8	6				
	R7	3	2			1	2
	R8	1	1	1	1		
Total R		133		112		63	

Tableau 4.- Les différents types de questions et de gestion des réponses identifiés pour l'ensemble des séquences et pour chaque enseignant

Les types de questions posées par les enseignants

On constate que pour l'ensemble des séquences ce sont les questions relatives à la compréhension d'une notion, d'un concept, d'une procédure (Q3) qui sont le plus souvent formulées par les trois enseignants. Mais l'importance accordée aux autres types de questionnement semble dépendre des enseignants. Pour l'enseignant 1, ce sont ensuite des questions relatives à la description (Q1) et à l'interprétation d'une expérience (Q2) qui interviennent le plus souvent. Les autres questions posées par l'enseignant 2 se répartissent à peu près à égalité entre les différents types de questions (entre 11% et 15%). Ce qui le caractérise est la recherche plus systématique d'un accord tacite des élèves après une explication ou l'introduction de nouvelles connaissances (Q6: 12%), puis comme le professeur 3, il accorde une certaine importance (15% des questions) à une demande de précision ou de complément sur la réponse donnée (Q4), ce qui traduit un certain intérêt porté à la réponse des élèves. Enfin, le deuxième type de question auquel le professeur 3 accorde le plus d'importance (28% des questions) se rapporte à l'observation/la description d'une expérience (Q1).

Nous nous sommes ensuite interrogés sur l'influence du contenu de l'enseignement sur le type de réponse posées par chaque enseignant. Pour faciliter l'analyse comparative, les données du tableau ont été traduites sous forme d'histogrammes (figure 2).

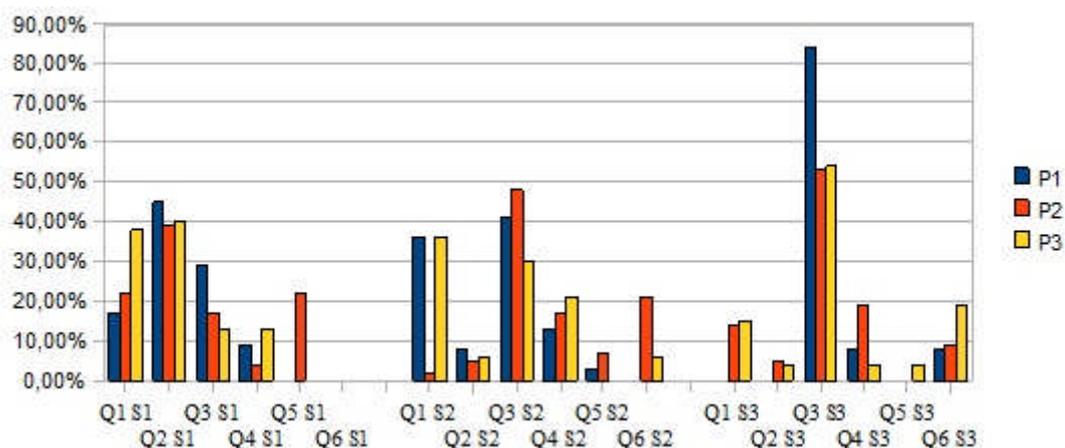


Figure 2.- Analyse comparative du type de questions posées par les enseignants pour les différentes séquences.

Lors de la première séquence portant sur l'introduction de la notion de transformation/réaction chimique, ce sont les questions relatives à l'interprétation d'une expérience (Q2) qui interviennent le plus souvent. On observe cependant quelques différences entre les trois enseignants. La fréquence des questions concernant la description d'une expérience est plus grande pour le professeur 3 que pour les deux autres enseignants; pour le professeur 1 ce sont des questions relatives à la compréhension d'un concept ou d'une procédure (Q3) qui sont ensuite formulées préférentiellement (rappelons que ce professeur termine son cours par des questions de type vrai/faux); enfin le professeur 2 souhaite établir une relation entre les objets et événements observés et l'environnement quotidien des élèves en posant des questions de type Q5 (22% des questions posées).

Au cours de la deuxième séquence, qui est encore à caractère expérimental, la fréquence des questions relatives à l'interprétation d'une expérience (Q2) diminue notablement pour les trois enseignants et celle concernant la demande de compléments de réponse (Q4) augmente légèrement. Par contre la fréquence des questions posées par les professeurs 1 et 3 pour la description d'une expérience (Q1) sont voisines et en augmentation (environ 35% des questions) alors que le professeur 2 les néglige en leur préférant des questions de type Q3 (48% des questions posées) ou des questions relatives à la recherche d'un accord tacite (Q6: 21% des questions posées).

C'est au cours de la troisième séquence durant laquelle est introduit le monde des théories et modèles que les questions relatives à la compréhension d'un concept ou d'une procédure deviennent majoritaires, jusqu'à représenter 84% des questions chez le professeur 1. Les fréquences d'apparition des types de questions portant sur l'expérimental sont faibles (0% pour le professeur 1), seules celles relatives à la demande de compléments de réponses (Q4) pour le professeur 2 et celles cherchant un accord tacite (Q5) pour le professeur 3 atteignent environ 20% des questions posées.

La gestion des réponses ou des interventions des élèves

Du tableau relatif à l'ensemble des séquences, il ressort que c'est le type R1 de gestion de réponses (un (ou des) élève(s) répond(ent) correctement et les réponses sont utilisées dans le projet de l'enseignant et intègrent le déroulement prévu) qui est largement prépondérant pour les trois enseignants (P1, 43%; P2, 53% et P3, 60%). Le professeur 1 a ensuite tendance à "répondre à la place des élèves en l'absence de réponse ou d'une réponse correcte/complète" (R5: 17%) ou à "adapter les propos des élèves pour les faire correspondre à son projet d'enseignement" (R3, 18%). Il est en outre le seul à rejeter sans explication une réponse incorrecte (R6: 6%). Ce qui caractérise le professeur P2, c'est une certaine importance accordée aux réponses ou interventions des élèves, soit en apportant une information complémentaire lorsqu'apparaît une incorrection ou une incompréhension (R2: 13%), soit en guidant les élèves vers la réponse (R4: 13%). La gestion des réponses par le professeur 3 se complète par l'utilisation à égalité (environ 10%) des types R3, R4 (faute de réponse ou d'une réponse correcte/complète il repose la question, parfois en utilisant une paraphrase ou en guidant la réponse) et R5 (faute de réponse ou d'une réponse correcte/complète il répond à la place des élèves).

Nous nous sommes également interrogés sur l'influence du contenu de l'enseignement sur le type de gestion des réponses utilisé par chaque enseignant. Pour faciliter l'analyse comparative, les données ont été traduites sous forme d'histogrammes (figure 3).

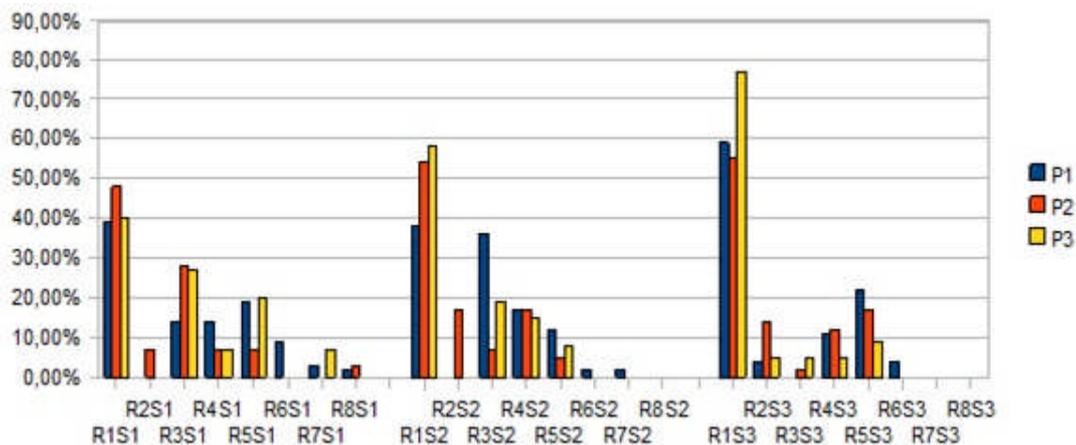


Figure 3.- Analyse comparative du type de traitement des réponses des élèves pour les trois séquences.

Le traitement des réponses correspondant au type R1 est utilisé de façon quasiment identique au cours des deux premières séquences par le professeur 1 puis augmente (+20% environ) au cours de la séquence 3. L'utilisation de ce type de gestion des réponses varie peu entre les trois séquences (de l'ordre de 50%) pour le professeur 2, il présente par contre une augmentation régulière pour le professeur 3: de 40% à 77%. Le type de gestion de type R2 est utilisé par le professeur 2 au cours des trois séquences, avec un maximum (17%) lors de la séquence 2. L'utilisation du type de gestion de réponses R3 est assez importante par les professeurs 2 et 3 lors de la première séquence (environ 28%) puis elle présente une

diminution au cours des deux séquences suivantes chez ces deux enseignants. Par contre le professeur 1 l'utilise en proportion notable au cours de la première séquence (14%), beaucoup lors de la deuxième séquence ((36%) et pas du tout durant la troisième séquence. C'est au cours de la deuxième séquence que le type de gestion R4 est le plus utilisé par les trois enseignants (environ 16%). Durant la première séquence les professeurs 1 et 2 ont recours au type de gestion R5 de façon notable (environ 20%), ce type de gestion est utilisé dans des proportions voisines au cours des trois séquences par le professeur 1 alors que sa proportion d'utilisation diminue régulièrement pour le professeur 3 et que le professeur 2 y a recours le plus souvent (17%) durant la séquence 3.

Donc, non seulement les types de questions posées et de gestion des réponses ou interventions des élèves varient d'un enseignant à l'autre mais également en fonction de la nature du contenu enseigné. On peut cependant affirmer que bien que les questions relatives à la compréhension d'une notion, d'un concept, d'une procédure soient le plus souvent formulées par les enseignants, la gestion majoritaire des réponses qui en est faite (un (ou des) élève(s) répond(ent) correctement et les réponses sont utilisées dans le projet de l'enseignant et intègrent le déroulement prévu) ne permet pas aux élèves de se poser les questions permettant de favoriser leur compréhension des objets de savoir enseignés.

Le fonctionnement des échanges dans la classe

Pour caractériser ce fonctionnement ont été pris en compte plusieurs paramètres:

- Le nombre d'interventions des professeurs (Nint P) et des élèves (Nint E). Par exemple, on relève dans l'épisode 2 de la séquence 1-P2 (cf. Annexe 2) 5 Nint P et 4 Nint E)

- Le nombre d'unités d'intervention relevées dans l'ensemble des interventions, aussi bien des enseignants (Nui P) que des élèves (Nui E). Pour l'exemple précédent: Nui P = 19 et Nui E = 4. Pour les élèves, une seule unité d'intervention est relevée par intervention: donc Nint E = Nui E;

- Le nombre de caractères typographiques correspondant à la transcription des interventions: Ncar P et Ncar E.

L'ensemble des données est reporté dans le tableau 5.

Il ressort de ce tableau:

- Qu'en moyenne, le nombre d'interventions des élèves est voisin de celui des professeurs (84%);

- Mais ces interventions ne dépassant pas une unité de signification elles ne représentent qu'environ 30% des unités d'interventions relevées chez les enseignants, pour qui on dénombre en moyenne 2,8 unités de signification par intervention.

- De plus ces interventions sont très brèves (en moyenne 16 caractères par intervention) par rapport à celles des enseignants (152 caractères par intervention) et le rapport du nombre total de caractères relevé dans

l'ensemble des interventions des élèves sur celui relevé dans l'ensemble des interventions enseignantes est de 8,9%.

	P1	P2	P3	Total
Nint P	148	137	77	371
Nui P	402	409	225	1036
Nui P/Nint P	2,7	3,0	2,9	2,8
Nint E = Nui E	132	116	63	311
Nint E/ Nint P	0,89	0,85	0,82	0,84
NintE/NuiP	0,33	0,28	0,28	0,30
NcaracP	18620	24328	13428	56376
Ncarac P/Nint P	126	178	174	152
NcaracE	2067	1911	1020	4998
NcaracE/Nint E	16	16	16	16
NcaracE/NcaracP	11,1%	7,8%	7,5%	8,9%

Tableau 5.- Le fonctionnement des échanges dans la classe.

On peut également en conclure que les professeurs 2 et 3 monopolisent un peu plus la parole que le professeur 1.

Nous avons également essayé de repérer si des échanges privilégiés s'établissaient dans la classe entre le professeur et certains de ces élèves (Tableau 6).

Élèves intervenant dans les échanges	Séquence 1			Séquence 2			Séquence 3		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Classe entière	22	1	1	5	9	4	9	4	5
Une intervention par élève non identifié	17	23	10	3	31	7	2	46	2
2 ou 3 interventions par élève identifié	9(4E)		5(2E)	6(2E)	2	3			
Nombre d'interventions pour un même élève	7			24		14	4		5
Nombre d'interventions pour un autre élève	12						12		7
Total	67	24	16	38	42	28	27	50	19

Tableau 6.- Les élèves qui interviennent dans les échanges.

Pour la première séquence où les élèves doivent principalement décrire ou interpréter une expérience, des échanges privilégiés avec deux élèves apparaissent pour le professeur 1 mais ils ne dépassent pas 28% des interactions. Par contre lors des séquences 2 et 3 où ce sont les questions relatives à la compréhension d'une notion, d'un concept, d'une procédure (Q3) qui sont le plus souvent posées aux élèves, des échanges privilégiés avec un ou deux élèves apparaissent. Respectivement 63% des échanges sont monopolisées par un élève pour le professeur 1 et 50% pour le professeur 3 lors de la séquence 2 et respectivement 59% (P1) et 63% (P3) des échanges ont lieu entre le professeur et deux élèves au cours de la troisième séquence. En ce qui concerne le professeur 2 il semble qu'il ne s'adresse à aucun élève en particulier.

On peut supposer que les professeurs 1 et 3 interrogent préférentiellement les élèves susceptibles de donner rapidement des

réponses satisfaisante pouvant être intégrées dans le déroulement prévu de leur enseignement (type de gestion des réponses R1 - un (ou des) élève(s) répond(ent) correctement et les réponses sont utilisées dans le projet de l'enseignant et intègrent le déroulement prévu - ou R3 - l'enseignant adapte les propos des élèves pour les faire correspondre à son projet d'enseignement) et institutionnalisées sans ralentir le temps didactique, alors que le professeur 2, dont le profil fait apparaître un pourcentage important de types de gestion des réponses R2 (la réponse donnée par un (ou des élèves) fait apparaître une incorrection ou une incompréhension: une/des information(s) complémentaires sont apportées) ou R4 (faute de réponse ou d'une réponse correcte/complète il repose la question, parfois en utilisant une paraphrase ou en guidant la réponse), est plus attentif aux difficultés rencontrées par tous les élèves puisqu'il n'interroge pas d'élèves particuliers. Il porte un certain intérêt aux réponses des élèves, en demandant des précisions ou des compléments sur la réponse donnée, en apportant une information complémentaire lorsqu'apparaît une incorrection ou une incompréhension ou en guidant les élèves vers la réponse. Il recherche de façon assez systématique un accord tacite des élèves après une explication ou l'introduction de nouvelles connaissances.

Quelques difficultés rencontrées par les élèves et leur prise en compte par les enseignants

Nous avons identifié dans les interventions des élèves un certain nombre de difficultés. Nous illustrerons par quelques exemples d'épisode la manière dont elles ont été prises en compte par les enseignants.

- Difficulté à interpréter une transformation chimique en termes de transformation des corps de départ pour donner de nouveaux corps

On la trouve à plusieurs reprises dans différents épisodes des trois enseignants. Nous l'illustrerons avec la série d'épisodes de la première séquence du professeur 1 (annexe 1). Elle a pour objectif d'amener les élèves, à partir de l'observation des propriétés perceptives, à interpréter le phénomène chimique en termes de changement de nature (apparition/disparition) des corps. Dans l'épisode 8, l'enseignant désire amener les élèves à observer que la réaction entre une solution d'acide chlorhydrique et le calcaire conduit à la formation d'un gaz. A la question "*qu'est ce que vous voyez en bas?*" posée trois fois (R4), les élèves répondent: des bulles. En l'absence de la réponse attendue (épisode 9), l'enseignant affirme (R5) qu'il y a effervescence et donc dégagement d'un gaz (D3). Pour l'enseignant l'utilisation du test à l'eau de chaux doit permettre aux élèves d'en conclure que c'est du dioxyde de carbone. Après un échange au cours duquel l'enseignant adapte le propos d'un élève pour le faire correspondre à son enseignement (R3: trouble de l'eau de chaux) puis rejette sans explication une réponse incorrecte (R6), il utilise la réponse correcte d'un élève qui semble connaître le test (R1) pour continuer le déroulement de son enseignement. Au cours de l'épisode suivant (épisode 10), l'enseignant souhaite amener les élèves à décrire l'expérience en utilisant le langage de la chimie: "*l'acide chlorhydrique réagit avec le calcaire pour donner un gaz, le gaz carbonique, qui trouble l'eau de chaux et une nouvelle solution*". Les élèves se centrent encore sur les divers

événements observés (changement de couleur de l'eau de chaux, formation d'un dépôt, effervescence dans le ballon) et l'expérience est décrite en attribuant au test le rôle de nouveau produit formé: l'acide chlorhydrique réagit avec le calcaire pour donner "trouble de l'eau de chaux". Si les échanges enseignant-élèves permettent une nouvelle fois à un élève (E5) d'identifier le gaz au dioxyde de carbone, l'enseignant n'arrive pas à faire identifier la nouvelle solution formée. A la décharge des élèves il faut dire que comme la solution finale et la solution initiale sont toutes les deux incolores, il est difficile aux élèves d'en déduire qu'il y a un changement de nature des solutions. C'est donc l'enseignant qui, après avoir rejeté sans explications deux réponses incorrectes va imposer sans justification (R5, D3) l'apparition de cette nouvelle solution. Notons qu'aucune précision n'est donnée sur la nature de cette nouvelle solution.

Comme le montrent les unités d'intervention de l'enseignant introduisant l'épisode 11 celui-ci a pour objectif de faire interpréter le phénomène observé en termes de transformation/réaction chimique (C1, D2, B3). Mais l'identification des nouveaux corps qui apparaissent pose encore des difficultés aux élèves. Bien qu'en réponse à une proposition incomplète d'un élève (R3) l'enseignant décrive l'expérience en termes de transformation des corps (C1), les élèves persistent à identifier l'eau de chaux comme un corps qui apparaît. L'enseignant se rendant compte que les élèves ne sont pas encore au niveau de l'interprétation répond à la place des élèves (R5) et conclut, sans aucun commentaire (D3), par la maxime "*rien ne se perd tout se transforme au cours de la réaction chimique*". Dans ce cas il sera difficile aux élèves d'établir une relation entre cette maxime et la forme langagière décrivant l'expérience: "*L'acide chlorhydrique réagit sur le calcaire pour donner du dioxyde de carbone et une nouvelle solution*".

- Difficulté à déduire le nom des produits formés du nom des réactifs

Elle sera illustrée par deux réactions chimiques présentées par les professeurs 1 et 2.

Réaction entre le fer et le soufre (annexe 2)

Les enseignants commencent à montrer aux élèves que le mélange de deux corps (limaille de fer et poudre de soufre jaune) ne conduit pas instantanément à une transformation. De plus, dans le mélange réalisé, les deux corps peuvent être séparés (par action d'un aimant sur le fer). Il faut "enflammer" le mélange pour que la réaction se produise. Le but des enseignants est, à partir de la modification des propriétés perceptives, d'amener les élèves à constater que le phénomène observé correspond à la disparition du soufre et du fer et à l'apparition d'un corps nouveau (solide gris/noir), le sulfure de fer. Pour les élèves, la réaction première est d'en rester aux propriétés perceptives: disparition du jaune et apparition d'un solide gris/noir. Pour conduire les élèves à parler de disparition du soufre et du fer et à nommer le solide, sulfure de fer, les enseignants commencent à poser des questions concernant l'observation (Q1) ou l'interprétation (Q2) de l'expérience. De façon générale, ils utilisent les réponses correctes d'un ou des élève(s) en les intégrant dans leur projet d'enseignement (R1) en introduisant les connaissances résultant de ces observations et de la description des objets et événements du champ empirique (A1, B2 et C1).

Les élèves sont ainsi amenés à constater qu'il y a disparition du fer et du soufre. C'est au niveau de l'identification par son nom du solide « gris » que les élèves rencontrent une difficulté et que des divergences apparaissent au niveau des enseignants.

- En réponse à la question "apparition de quoi", L'enseignant 1 adapte le propos d'un élève en imposant la réponse qu'il attendait (R3), le solide gris est le "sulfure de fer" (D1). Cette dénomination est justifiée en disant que le nouveau corps est formé de "soufre et de fer". Ne risque-t'il pas de conforter l'idée que le composé formé résulte de l'association des deux corps simples?

- En l'absence de réponse des élèves à la question "que peut être ce nouveau corps", l'enseignant 2 impose (R5, D1) le nom de "sulfure de fer". Pour un élève, sulfure de fer signifie "soufre et fer". On peut faire l'hypothèse que, pour lui le composé formé résulte de l'association des deux corps simples. L'enseignant modifie alors le déroulement prévu de son enseignement (R2) et précise que le nom vient bien du soufre et du fer mais que ces corps se sont transformés pour donner un corps nouveau (D1)

Réaction entre le chlorure d'hydrogène et l'ammoniac (annexe 3)

Pour introduire le caractère rapide d'une transformation chimique, les enseignants 1 et 2 présentent et réalisent l'expérience proposée dans le manuel: on approche deux baguettes de verre préalablement trempées dans des solutions concentrées d'ammoniac et d'acide chlorhydrique. Ce sont donc les gaz, chlorure d'hydrogène et ammoniac, qui réagissent pour former la fumée blanche (solide) observée par les élèves. Pour amener les élèves à déduire le nom de cette fumée blanche, les enseignants 1 et 2 souhaitent qu'ils utilisent la démarche implicite mise en place au cours des épisodes qui ont précédé: le nom du/des produit(s) découle des noms des réactifs (règle n'ayant jamais été formulée de façon explicite). Cette démarche est liée à l'écriture du "schéma de réaction" qui devrait être la suivante: chlorure d'hydrogène + ammoniac → chlorure d'ammonium. Nous allons comparer la façon de procéder des deux enseignants.

L'enseignant 1 ne relève pas l'interrogation d'un élève (R7): "*pourquoi les solutions (d'acide et d'ammoniac) sont concentrées?*" C'est une question pertinente que l'enseignant aurait pu utiliser pour préciser que l'on a à faire à une réaction entre deux corps gazeux ayant pour noms chlorure d'hydrogène et ammoniac. Après avoir adapté, sans la corriger, la réponse d'un élève pour la faire correspondre à son projet d'enseignement (R3) et fait preuve de surdité sélective (R7) le produit de la réaction est, comme dans le manuel identifié à ses propriétés perceptibles (B2): "fumée blanche". Quant à l'acide chlorhydrique et à l'ammoniac c'est lui qui affirme que ce sont les réactifs de la réaction (R5, D3). Dans le but de faire identifier par les élèves le nom de la fumée blanche afin de compléter le schéma de réaction écrit au tableau (acide chlorhydrique + ammoniac → fumée blanche), l'enseignant demande aux élèves "*par quoi est formée la fumée blanche?*". Comme les élèves répondent avec le nom des espèces qui sont responsable de la formation, l'enseignant repose la question en essayant de guider la réponse (R4). En l'absence d'une réponse correcte, l'enseignant répond à la place des élèves (R5, D3). Le nom de "chlorure

d'ammoniac" donné par l'enseignant à cette fumée blanche fait apparaître: d'une part que si l'enseignant désirait voir apparaître le préfixe chlorure, il aurait été préférable de donner le nom exact du réactif correspondant (chlorure d'hydrogène); d'autre part, un manque de rigueur dans la nomenclature utilisée (à noter que le nom exact de chlorure d'ammonium sera donné dans un autre épisode sans aucun commentaire rectificatif).

Pour l'enseignant 2 les réactifs utilisés sont, dans un premier temps, des solutions d'acide chlorhydrique et d'ammoniac (C1, A2). A la question posée concernant ce que peut être cette fumée blanche, un élève répond: CO₂. On peut supposer que pour répondre, l'élève a, soit fait l'association "fumée blanche – dégagement d'un gaz", et le gaz dont il a été question dans l'expérience précédente est le CO₂, soit fait l'association "fumée blanche – trouble de l'eau de chaux" caractérisant le dioxyde de carbone. L'enseignant va profiter de cette incorrection pour apporter une information complémentaire en modifiant le déroulement de son enseignement (R2). Cette réponse est utilisée par l'enseignant pour préciser/introduire, en utilisant diverses catégories de DIC (D3, C1, D4, B3), une règle: *"le produit formé ne peut provenir que des réactifs utilisés"*. Dans l'épisode suivant consacré à la détermination du nom de la fumée blanche, l'acide chlorhydrique devient, sans justification (D3), le chlorure d'hydrogène. Un élève qui semble avoir compris la démarche linguistique à suivre pour déterminer le nom du produit formé donne une réponse logique: "chlorure d'ammoniac ou acide d'ammoniac", avec une préférence non justifiée pour le deuxième nom. En l'absence de la réponse attendue c'est l'enseignant qui imposera le nom (R4, D1) de chlorure d'ammonium. Cela montre les limites de la démarche reposant sur l'écriture du "schéma de réaction". Il n'est pas évident, compte tenu des connaissances dont disposent les élèves, de trouver le nom correct des produits à partir des noms des réactifs. D'autres règles que la simple juxtaposition des portions de noms doivent être utilisées.

- Difficulté à associer une formule au nom d'une espèce ou entité chimique (substance, atome, ion, molécule)

Au cours de la séquence 3, l'enseignant 2 demande aux élèves d'écrire l'équation de la réaction entre une lame de zinc et une solution de sulfate de cuivre (l'expérience n'a jamais été réalisée!). Avant d'écrire l'équation, l'enseignant leur demande d'écrire de schéma de réaction: zinc + sulfate de cuivre → ? Un élève propose le nom d'un seul produit de la réaction: le sulfate de zinc. L'épisode suivant (Tableau 7) a pour double objectif de compléter le schéma de réaction et d'écrire l'équation chimique.

Pour l'enseignant la connaissance des noms des réactifs devrait automatiquement amener les élèves à dire que les produits de la réaction sont le sulfate de zinc et le cuivre puis à écrire: $Zn + CuSO_4 \rightarrow ZnSO_4 + Cu$. Mais les échanges avec les élèves font apparaître certaines difficultés: difficulté dans la symbolisation de certains atomes: pas de problème pour le cuivre (Cu) mais Z au lieu de Zn pour le zinc; difficultés dans la symbolisation de certains ions: pas de problème pour l'ion sulfate SO_4^{2-} mais hésitation pour Cu^{2+} ; difficultés pour symboliser le produit formé avec comme propositions SO_4Zn , $ZnSO_4$ et $CuZn$. Cependant, par un jeu de questions réponses au cours duquel l'enseignant sera conduit à répondre à

la place des élèves pour imposer la nomenclature ou le symbole correct (E5, D1) et à rappeler la signification d'une équation chimique (D2), l'équation arrive à être complétée de façon équilibrée.

Séquence3 – P2	DIC
<i>Episode 15: Recherche collective de la nature des réactifs et des produits et de leur symbolisation</i>	
62/P: Donc le Zinc?	
63/E: Z	
64/P: Zn et le cuivre? (R5) (Q3)	D1
65/E: Cu	
66/P: très bien. Vous savez qu'au cours de la réaction on a conservation de la masse et des atomes/ (R1) Donc si vous dites le sulfate de zinc donc où est passé le cuivre?/ (Q3)	D2 E1
67/E: donc plus cuivre	
68/P: très bien. Maintenant l'équation chimique?/ (R1) (Q3)	C3
69/E: SO_4^{2-}	
70/P: c'est l'ion sulfate et l'ion cuivre? (R2) (Q3)	D1
71/E: Cu	
72/P: non Cu^{2+} et vous retrouvez?/ (R5) (Q3)	D1
73/E: $CuSO_4$	
74/P: bravo et le zinc de formule Zn donc cela vous donne? (R1) (Q3) (<i>Agitation dans la classe et on entend $CuZn$, $ZnSO_4$, SO_4Zn...</i>)	E1
P: un seul à la fois	
75/E: $ZnSO_4 + Cu$	
76/P: très bien. Pour savoir si c'est équilibré vous comptez le même nombre à droite et à gauche de la flèche/ (R1)".	C3

Tableau 7.- Un exemple d'épisode consacré à l'écriture d'une équation de réaction.

- Difficulté à donner du sens à une équation de réaction (Tableau 8)

L'enseignant 2 commence à écrire au tableau le schéma de la réaction de combustion du magnésium, Magnésium + oxygène → oxyde de magnésium, en précisant qu'il s'agit de l'oxyde et non du dioxyde de magnésium. Puis il traduit le schéma en utilisant les symboles: $Mg + O_2 \rightarrow MgO$. Son objectif est ensuite de faire utiliser par les élèves le principe de conservation des atomes pour utiliser des coefficients stœchiométriques différent de 1 afin d'équilibrer l'équation de réaction.

Des propositions faites par les élèves en réponses aux questions posées par l'enseignant, on peut conclure qu'ils n'ont pas intégré que s'il y a transformation il y a également conservation au cours d'une réaction chimique. Ces propositions font apparaître ce que Krmel et al. (1998) dénomment: le *modèle des objets qui disparaissent et apparaissent* de la réaction chimique. Soit, l'oxygène a été perdu lors de la réaction ou il s'est évaporé, soit il apparaît dans les produits sous forme d'un "objet" dont l'existence ne peut être justifiée (O , H_2O).

Devant l'échec de son projet d'enseignement, l'enseignant répond à la place des élèves (R5) en décrivant la réaction chimique au niveau atomique et moléculaire (C2) puis en introduisant les nombres stœchiométriques pour équilibrer l'équation de réaction (D4, D1). Un commentaire s'impose concernant l'argumentation avancée par l'enseignant pour justifier l'introduction des coefficients 2: "*Si vous prenez 1 pour chaque réactif vous*

ne pouvez pas obtenir de MgO puisqu'ils ne peuvent réagir ensemble vu que les quantités sont insuffisantes pour faire la réaction". Cette phrase fait apparaître une confusion entre le registre empirique et le registre des modèles. L'enseignant ne fait pas la différence entre le phénomène macroscopique qui peut se produire quel que soit le rapport des quantités de matière mises en présence et qui s'arrêtera lorsque le réactif limitant aura totalement réagi, et sa représentation symbolique qui doit être équilibrée au niveau des symboles (ici des "atomes"). Une telle formulation ne peut qu'entraîner la même confusion dans l'esprit des élèves.

Séance 3 – P2	DIC
<p><i>Episode 17: Tentatives d'interprétation du passage de 2 atomes dans O₂ à 1 atome pour MgO</i></p> <p>80/P: Donc votre produit contient un seul atome de magnésium et un seul atome d'oxygène alors que j'ai au départ deux atomes d'oxygène./ (R4)</p> <p>81/E: on l'a perdu dans la réaction</p> <p>82/P: c'est-à-dire? (Q4)</p> <p>83/E: il s'est évaporé</p> <p>84/P: mais il y a toujours une conservation./ (R2)</p> <p>S'il s'est évaporé donc on ne trouve pas la même masse. Alors? (Q3)</p> <p>85/E: + O</p> <p>86/P: pas d'atome d'oxygène tout seul (R2)</p> <p>87/E: + l'eau H₂O</p> <p>88/P: d'où vient alors l'hydrogène? (Q3)</p> <p><i>(Silence des élèves)</i></p>	<p>C2</p> <p>D2</p> <p>D4</p>
<p><i>Episode 18: Introduction des coefficients stœchiométriques</i></p> <p>89/P: regardez, si vous prenez 2 atomes de magnésium et 2 atomes d'oxygène sous forme d'une molécule de dioxygène vous formez 2 molécules de MgO/ (R5)</p> <p>mais si vous prenez un pour chaque réactif vous ne pouvez pas obtenir le MgO puisqu'ils ne peuvent réagir ensemble vu que les quantités sont insuffisantes pour faire la réaction./</p> <p>Donc je vais mettre des nombres qu'on appelle nombres stœchiométriques devant les formules pour équilibrer l'équation qui s'écrit alors $2 \text{ Mg} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{ MgO}$</p> <p>90/E: c'est équilibré</p>	<p>C2</p> <p>C2</p> <p>D4</p> <p>D1</p>

Tableau 8.- L'introduction des coefficients stœchiométriques par le professeur 2.

- Difficulté à concevoir le réarrangement des atomes (Tableau 9)

Cette difficulté apparaît lorsque l'enseignant 2 introduit une méthode de vérification de la conservation des atomes. C'est la réaction de combustion du carbone dans le dioxygène, réalisée lors d'une séquence antérieure, qui sera utilisée comme exemple. L'enseignant commence à écrire avec l'aide des élèves le schéma de la réaction. Puis ils traduisent ensemble ce schéma au niveau microscopique en termes d'atomes et de molécules, sans écrire de formules mais en réalisant le décompte des atomes espèce par espèce. Après avoir conclu qu'on trouve le même nombre d'atomes dans les réactifs et dans les produits, l'enseignant a pour objectif d'illustrer cette conservation à l'aide de la représentation au tableau des modèles moléculaires.

Après avoir, avec l'aide des élèves, décrit (C2) ou imposé (D4) les conventions de représentation des atomes dans ces modèles, l'enseignant

propos des élèves pour les faire correspondre à son projet d'enseignement (R3). Enfin, en l'absence de réponse ou de réponses incorrectes des élèves, soit il repose la question (R4), soit il répond à la place des élèves (R5), soit il rejette la réponse sans explications (R6).

- Le professeur 2 est le seul, face à une incorrection ou une incompréhension des élèves à apporter à plusieurs reprises des informations nouvelles en modifiant parfois le déroulement de son enseignement (R2). C'est ensuite la reformulation de la question face à une absence de réponse correcte, en guidant la réponse (R4), ou l'intégration des réponses correctes dans le déroulement de l'enseignement prévu (R1) qui sont les types de gestion de réponses utilisés en plus grand nombre.

On constate également que le jeu des questions – réponses imposé par les enseignants laissent peu de place aux élèves pour poser leur question, une seule demande de précision d'information par un élève a été relevée. De plus, ce sont les enseignants qui apportent les réponses pour lever les difficultés que les élèves rencontrent. Il est donc difficile pour les élèves de prendre en main la construction de leur savoir.

Conclusion

L'observation des pratiques des enseignants en situation de classe ordinaire fait apparaître que lors des échanges avec les élèves, les enseignants ont tendance à monopoliser la parole (P1 un peu moins que P2 et P3). Ils posent préférentiellement des questions relatives à la compréhension d'un concept ou d'une procédure et recherchent des réponses "correctes" des élèves pour les utiliser dans leur projet d'enseignement en les intégrant dans le déroulement prévu. Cependant, l'analyse détaillée des démarches d'introduction des connaissances et des interactions avec les élèves fait apparaître deux profils d'enseignants:

- Les professeurs 1 et 3 ont à quelques nuances près sensiblement le même profil. Ils introduisent beaucoup de connaissances sous forme d'affirmation sans justification et impose les définitions. Ils interrogent préférentiellement les élèves susceptibles de donner rapidement des réponses satisfaisantes pouvant être intégrées dans le déroulement prévu de leurs enseignements et être institutionnalisées sans ralentir le temps didactique. Il pose de nombreuses questions relatives à la description et à l'interprétation d'une expérience en ayant tendance à répondre à la place des élèves en l'absence de réponse ou d'une réponse correcte/complète ou à adapter les propos des élèves pour les faire correspondre à leur projet d'enseignement. Ils semblent se contenter de faire avancer le cours en respectant les contraintes de temps.

- Le professeur 2 utilise préférentiellement la description d'objets et d'évènements pour introduire les connaissances puis la démarche d'imposition, en particulier pour les définitions. Il semble plus attentif aux difficultés rencontrées par tous les élèves puisqu'il n'interroge pas d'élèves particuliers. Il porte un certain intérêt aux réponses des élèves, en demandant des précisions ou des compléments sur la réponse donnée, en guidant élèves vers la réponse ou en changeant le déroulement de son cours (pour les 3 séquences ont été relevés 9 changements d'épisodes à l'initiative des élèves pour P2, 3 pour P1 et aucun pour P3) pour apporter

une information complémentaire lorsqu'apparaît une incorrection ou une incompréhension. Il recherche de façon assez systématique un accord tacite des élèves après une explication ou l'introduction de nouvelles connaissances.

Quoi qu'il en soit, si la méthode d'enseignement adopté par les trois enseignants peut-être qualifiée de "dialoguée", elle ne permet pas à l'élève de participer à la construction de son savoir. Les questions posées par les enseignants n'appellent généralement que des réponses courtes et uniques, les élèves ont très peu l'occasion de poser des questions. Or, comme il s'agit de son premier contact avec la chimie, l'élève a besoin d'un guidage progressif qui respecte son développement intellectuel normal (Bachelard, 1938), d'un guidage qui lui permette de se construire une logique de passage entre les différents registres de la chimie (Barlet et Plouin 1994, 1997, Larcher 1994, Carretto et Viovy 1994).

Conséquences pour la formation des enseignants

Pour aider les élèves à conceptualiser/modéliser la réaction/transformation chimique, l'enseignant se doit de les encourager à regarder au-delà de ce qu'ils perçoivent, à se poser des questions, à faire des propositions et à argumenter, en utilisant une terminologie scientifique appropriée, pour proposer une explication des changements observés tant au niveau macroscopique qu'au niveau microscopique. Il résulte de tout cela qu'il serait utile de fournir aux enseignants tunisiens, lors de séances de formation continue, des outils leur permettant:

- de percevoir la complexité du réseau conceptuel auquel appartient la transformation chimique et sa modélisation;
- d'acquérir une posture réflexive sur les composantes disciplinaires et didactiques de leurs pratiques d'enseignement;
- de prendre conscience des difficultés rencontrées par les élèves et des conceptions alternatives qu'ils se construisent.

Le but de cette formation serait de conduire les enseignants à concevoir des activités ayant pour objectifs, sous la conduite de l'enseignant, de permettre aux élèves d'échanger leurs points de vue sur l'interprétation des phénomènes observés (Hesse et Anderson, 1992; Barlet et Plouin, 1994; Dumon et Laugier, 2004), de favoriser le développement du vocabulaire chimique (Strang et Shayer, 1993; Goffard, 1993; Mey et al., 1994; Jouan-Prod'homme, 2004) et de donner du sens aux différents concepts mis en jeu dans la résolution de problèmes (Boujaoude et Barakat, 2003; Laugier et Dumon, 2003; Schmidt et Jignéus, 2003; Gauchon, 2005).

Références

- Bachelard, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris: Vrin.
- Barlet, R. et D. Plouin (1994). L'équation bilan en chimie: Un concept intégrateur source de difficultés persistantes. *Aster*, 18, 27-55.
- Barlet, R. et D. Plouin (1997). La dualité microscopique-macroscopique un obstacle sous-jacent aux difficultés en chimie dans l'enseignement universitaire. *Aster*, 25, 142-171.

Boujaoude, S. et H. Barakat (2003). Students' problem solving strategies in stoichiometry and their relationships to conceptual understanding and learning approaches. *Electronic Journal of Science Education*, 7, 3. En: <http://wolfweb.unr.edu/homepage/crowther/ejse/ejsev7n3.html>

Caretto, J. et R. Viovy (1994). Relevé de quelques obstacles épistémologiques dans l'apprentissage du concept de réaction chimique. *ASTER*, 18, 11-26.

Chappet Pariès, M. (2004). Comparaison de pratiques d'enseignement de mathématiques. Relations entre discours des professeurs et des activités potentielles des élèves. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 24, 2-3, 251-284.

Dumas-Carré, A. et M. Goffard (1998). Objectivation des pratiques de tutelle d'un enseignant au cours de séances de résolution de problèmes en physique. En A. Dumas Carré et A. Weil-Barais (Eds), *Tutelle et médiation dans l'éducation scientifique*. (pp. 145-155). Bern: Peter Lang.

Dumon, A. et A. Laugier (2004). The chemical equation: a cluster of obstacles which are difficult to overcome. *Chemistry Education Research and Practice*, 5, 3, 327-342.

El Hajjami, A., Lahlou, F., Benyama, S. et A. Tiberghien (1999). Elaboration d'une méthode d'analyse des discours d'enseignants: cas de l'énergie. *Didaskalia*, 15, 59-86.

Gauchon, L. (2005). Transformation chimique: conceptions des élèves/notion de réactif limitant. *Bulletin de l'union des Physiciens*, 99, 733-745.

Giordan, A. (1999). Apprendre: Une alchimie complexe. En: <http://www.unige.ch/fapse/SSE/teachers/giordan/LDES/publi/rech/concep/concep.htm>

Goffard, M. (1993). Réflexions post-bac. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 759, 1593-1604.

Hesse, J.J. et C.W. Anderson (1992). Students' conceptions of chemical change. *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 3, 277-299.

Josse, E. et A. Robert (1993). Introduction à l'homothétie en seconde, analyse de deux discours de professeurs. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 13, 1-2, 119-154.

Jouan-Prod'homme, M. (2004). Une leçon de vocabulaire en sciences physiques et chimiques. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 863, 537-545.

Laugier, A. et A. Dumon (2003). A la recherche des obstacles épistémologiques à la construction du concept d'élément chimique par les élèves de seconde. *Didaskalia*, 22, 69-97.

Larcher, C. (1994). Point de vue à propos des équilibres chimiques. *Aster*, 18, 57-62.

Mercier, A. et Y. Buty (2004). Evaluer et comprendre les effets de l'enseignement sur les apprentissages des élèves: problématiques et méthodes en didactique des mathématiques et des sciences. *Revue française de pédagogie*, 148, 47-59.

Mey, M., Balas, A. et D. Plouin (1994). Essai sur la maîtrise de l'équation bilan à l'entrée à l'université. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 88, 1131-1150.

Morge, L. (2001). Caractérisation des phases de conclusion dans l'enseignement scientifique. *Didaskalia*, 18, 99-120.

Robert, A. (1999). Pratiques et formation des enseignants. *Didaskalia*, 15, 123-157.

Robert, A. (2001). Les recherches sur les pratiques des enseignants et les contraintes de l'exercice du métier d'enseignant. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 21, 12, 57-80.

Rogalski, J. (2003). Y a-t-il un pilote dans la classe? Une analyse de l'activité enseignante comme gestion d'environnement ouvert. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 23, 3, 343-388.

Schmidt, H. et C. Jigneus (2003). Students' strategies in solving algorithmic stoichiometry problems. *Chemistry Education Research and Practice*, 4, 305-317.

Strang, J. et M. Shayer (1993). Enhancing high school students' achievement in chemistry through a thinking skills approach. *International Journal of Science Education*, 15, 3, 319-337.

Tiberghien, A. et L. Malkoun (2007). Différenciation des pratiques d'enseignement et acquisition des élèves du point de vue des savoirs. *Education et Didactique*, 1, 29-54.

Venturini, P., Calmettes, B., Amade-Escot, C. et A. Terrisse (2007). Analyse didactique des pratiques d'enseignement de la physique d'une professeure expérimentée. *Aster*, 45, 211-234.

Annexe 1: identification du changement de nature des corps

Séquence 1 – P1	DIC
<p><i>Episode 8: observation de l'expérience</i> 45'/2- Réaction de l'acide chlorhydrique avec le calcaire/ 46/P: on prend le calcaire et on ajoute une solution d'acide chlorhydrique et / on prend un tube à essai contenant l'eau de chaux./ Regardez l'expérience./ Qu'est ce que vous voyez en bas/ (Q1) 47/E4: il y a des bulles 48/P: qu'est ce que vous voyez en bas? (R4) <i>Silence total et le professeur répète la question mais pas de réaction de la part des élèves</i> 49/P: regardez qu'est ce que vous voyez?/ (Q1) si on ajoute progressivement de l'acide/ 50/E: <i>silence total puis l'un des élève répond avec hésitation: il y a des bulles.</i></p>	<p>C1 C1 A2 A1 A1 A1 A2</p>
<p><i>Episode 9: identification du gaz formé</i> 51/P: il y a effervescence donc il y a dégagement d'un gaz/ (R5) lorsque le gaz est en contact avec l'eau de chaux. / Regardez l'eau de chaux, elle devient comment?/ (Q1) 52/E4: blanc 53/P: donc elle devient trouble,/ (R3) quel est ce gaz qui trouble l'eau de chaux? (Q3) 54/E: carbone 55/P: ce n'est pas du carbone (R6) 56/E4: CO₂ 57/P: c'est le CO₂ le dioxyde de carbone./.(R1)</p>	<p>D3 C1 A1 C1 D3 D1</p>
<p><i>Episode 10: Description de l'expérience</i> On dit que l'acide chlorhydrique réagit avec le calcaire/ pour donner quoi?/ (Q2) 58/E: <i>Les élèves ensemble:</i> trouble de l'eau de chaux 59/P: c'est quoi d'abord le gaz/ (R7) (Q3) 60/E5: un changement de couleur 61/P: ce n'est pas un changement de couleur/, (R4) l'eau de chaux devient trouble/ à cause d'un gaz qui est? (Q3) 62/E5: le CO₂ 63/P: oui / (R1) et dans le ballon il y a formation de quoi?/ (Q2) 64/E5: effervescence 65/P: l'effervescence veut dire dégagement d'un gaz et / (R3) il y a formation de quoi?/ (Q2) 66/E5: il y a un solide 67/P: ce n'est pas un solide. Le solide c'est le calcaire (R6) 68/E: un dépôt 69/P: non, il y a formation de quoi /? (R6) (R4) <i>(finalement le professeur perd patience et déclare): il y a formation d'une nouvelle solution./ (R5)</i></p>	<p>D2 D3 C1 B2 B2 D3 D3</p>
<p><i>Episode 11: Interprétation de l'expérience</i> Donc la solution qui se trouve dans le ballon, ce n'est plus l'acide chlorhydrique mais c'est une nouvelle solution/ car il y a des transformations au cours de cette expérience./ On dit alors que l'acide chlorhydrique réagit avec le calcaire quand on les a mélangé / pour donner? (Q2) 70/E: solution et un gaz 71/P: donc il nous donne une nouvelle solution dans le ballon / (R3) et un gaz qui trouble l'eau de chaux qui est le dioxyde de carbone. 72/ P <i>Silence du coté du professeur et du coté des élèves puis déçu le professeur fait le schéma du montage utilisé</i> 73/P: les corps qui apparaissent sont? (Q2) 74/E: <i>Les élèves ensemble:</i> l'eau de chaux 75/P (<i>avec déception</i>): ce n'est pas l'eau de chaux qui apparaît, c'est le CO₂./ (R5) L'eau de chaux c'est pour identifier ce gaz./ Et une nouvelle solution dans le ballon./ Donc rien ne se perd, tout se transforme au cours de la réaction chimique./</p>	<p>C1 D2 B3 C1 D3₁ C1 C1 D3</p>

Annexe 2: interprétation de la réaction entre le fer et le soufre

Séquence 1 – P1	DIC
<i>Episode 14: identification du changement de nature des corps</i>	
81/P:....Maintenant on approche une flamme du mélange de soufre et de fer./ Allez regarder..... Donc il y a formation de...(Q1)	C1 A1,
82/E: il n'y a plus du jaune	
83/P: quand il n'y a plus du jaune c à d qu'il n'y a plus de soufre/. (R1) Si on approche l'aimant, est ce qu'il attire le corps? (Q1)	C1 A1,
84/E: <i>Les élèves ensemble:</i> non	
85/P: est ce que c'est du fer? (R1) (Q2)	
86/E: <i>Les élèves ensemble:</i> non	
87/P: qu'est ce qui s'est passé alors au cours de cette expérience? (R1) (Q2)	
88/E: disparition	
89/P: disparition de quoi? (Q2)	
90/E: du fer et du soufre	
91/P: et apparition de quoi? (R1) (Q2)	
92/E: un solide gris	
93/P: ce solide gris est le sulfure de fer qui est formé du soufre et du fer mais ce n'est plus du fer./ (R3)	D3
On dit que le fer réagit avec le soufre pour donner un nouveau corps le sulfure de fer./ Cette transformation est une réaction chimique/	D3 D2
Séquence 1 – P2	
<i>Episode 2: identification du changement de nature des corps.</i>	
1/P:..... Je vais enflammer une partie de ce mélange et je laisse la flamme se propager dans tout le mélange./ <i>(Le professeur réalise l'expérience et les élèves regardent émerveillés)</i> Alors qu'est ce que vous voyez?/ (Q1)	C1
2/E: quelque chose de noir	
3/P: oui alors si vous le touchez? / (R1) (Q1) <i>(Le professeur approche la brique de l'un des élèves qui touche le corps formé)</i>	A1
4/E: c'est solide	
5/P: oui c'est un solide noir et poreux c à d qui contient des pores./ (R1) Si j'approche l'aimant, que remarquez-vous? (Q1)	A1 C1
6/E: <i>Les élèves ensemble:</i> rien	
7/P: donc c'est pas du fer./ (R3)	C1 B2
Ce corps qui s'est formé n'est pas du fer et il n'est pas jaune, donc ce n'est pas du soufre. / Que peut-il être? (Q2) <i>Silence des élèves</i>	C1 D1
8/P: c'est un corps qui s'appelle le sulfure de fer (R5)	
9/E: soufre et fer	
<i>Episode 3: Justification de la nomenclature et interprétation de l'expérience</i>	
10/P: oui le nom vient du soufre et de fer qui se sont transformés. Donc on a une transformation./ (R2)	D1
C'est à dire que le soufre et le fer se sont transformés pour donner quelque chose de nouveau./	D2
Là on remarque que le corps solide n'existe pas au départ sinon on l'aurait remarqué au départ dans le mélange/ c'est pourquoi on va dire qu'on a une transformation./	A1 D2
Séquence 2 - P1	DIC
<i>Episode 7: Observation et interprétation d'une réaction</i>	
31/P: ...On va prendre un flacon contenant une solution d'acide chlorhydrique concentré et une solution concentrée d'ammoniac/ 32/E1: pourquoi concentrée?	C1
33/P: <i>(Le professeur ignore totalement la question et continue son discours)</i> (R7) On trempe les deux agitateurs dans les solutions et on les approche <i>(le professeur manipule elle-même les deux agitateurs)</i> / qu'est ce que vous voyez?/ (Q1)	C1 A1
34/E3: de la vapeur	
35/P: donc de la fumée blanche/. (R3) Quels sont les réactifs et les produits?/ (Q3)	B2 E1

