

GÉRER TENSION DIDACTIQUE ET TENSION PÉDAGOGIQUE LORS DE DÉMARCHES D'INVESTIGATION EN SCIENCES À L'ÉCOLE PRIMAIRE : ÉTUDE DE CAS

Claude LUC

ESPE, Université Reims Champagne Ardenne

UMR STEF Cachan

Tension didactique et tension pédagogique

En France, depuis 2002, les programmes de Sciences et Technologie pour l'école élémentaire (MEN, 2002) préconisent la mise en œuvre de démarches d'investigation pour faire acquérir les connaissances et compétences dont ils sont porteurs. Les textes curriculaires de 2002 précisent que « cette démarche s'articule sur le questionnement des élèves sur le monde réel : phénomène ou objet, vivant ou non vivant, naturel ou construit par l'homme. Ce questionnement conduit à l'acquisition de connaissances et de savoir-faire, à la suite d'une investigation menée par les élèves guidés par le maître. » « [Cette démarche est] apparentée aux démarches actives... ». Ceux actuels de 2008 (MEN, 2008) se réfèrent même à l'opération « La main à la pâte », considérée comme « emblématique de cet esprit ».

L'analyse de ces textes curriculaires (Bisault, 2010 et 2011), fait ressortir que l'enseignement des sciences à l'école primaire semble prendre appui sur des références multiples et être le reflet d'enjeux divers tant disciplinaires que transversaux¹. La démarche d'investigation ainsi recommandée paraît tout autant se référer aux démarches de la science qui se fait en laboratoire, qu'à une démarche pédagogique en rupture avec l'enseignement transmissif prônant l'activité de l'élève quel que soit le domaine à enseigner.

Compte tenu de l'ambiguïté de ces prescriptions, l'enseignant en situation de classe va devoir faire face à des exigences en tension.

¹ Comme l'apprentissage de la langue française ou l'apprentissage civique lors de débats scientifiques prescrits.

Au plan plus **pédagogique**, l'enseignant doit inviter les élèves à s'exprimer oralement, à interagir, à débattre, à se mettre d'accord et simultanément tenir le cap fixé sur tout ce qu'il a planifié pour atteindre les savoirs visés.

Nous désignons par tension pédagogique² (Altet, 2009) ces exigences en tension que l'enseignant doit gérer dans sa conduite de la communication active de sa classe de sciences.

Au plan spécifique à **l'enseignement des sciences** (Plé, 2011), l'enseignant doit :

- partir du questionnement des élèves sur leur environnement et simultanément, favoriser l'appropriation d'un problème commun à la classe, de contenus inscrits dans les programmes, tout en prenant en compte la disponibilité du matériel ;
- inciter les élèves à manipuler des objets, mettre au point des expériences, observer et décrire les phénomènes qui peuvent les surprendre, mais aussi à comprendre que ces tâches sont au service d'un projet plus ambitieux, celui d'accéder *in fine* aux connaissances recommandées.

Voyons comment relier « Tension didactique » et exigences spécifiques à l'enseignement des sciences. Pour ce faire, nous allons prendre appui sur le schéma de la modélisation mis au point par Martinand (Martinand, 1992 et 1994 ; Goffard et Weil-Barais, 2005). Afin de questionner les activités de modélisation en sciences, ce chercheur propose un schéma de la modélisation dans lequel il distingue deux registres : le registre du référent empirique (celui des objets et des phénomènes) et le registre de l'élaboration interprétative (celui des modèles et des connaissances). Les activités des élèves associées au registre du référent empirique consistent en une familiarisation empirique avec le monde des objets (manipulations, conception-schématisation-réalisation-modification d'expériences) et avec le monde des phénomènes (mise en évidence, description qualitative et quantitative). Les activités élèves du registre de l'élaboration interprétative ont pour finalité la modélisation et l'interprétation du phénomène « référent » avec élaboration des connaissances.

Nous désignons sous le vocable « Tension didactique » les exigences qui relèvent des deux registres du schéma de la modélisation, exigences que l'enseignant doit tout autant gérer en situation de classe.

Le questionnement de notre travail porte sur la façon dont les professeurs d'école primaire gèrent, au quotidien, tension didactique et tension pédagogique lors de moments³ de sciences (Bisault 2010 et 2011 a&b), à l'aide d'investigations

² Altet (2009) parle de logiques en tension et en particulier la logique pédagogique (celle de la communication) mais elle introduit aussi d'autres logiques (logique sociale, logique psychologique par exemple), logiques qui n'apparaissent pas explicitement dans les recommandations pour les sciences à l'école, et que nous n'avons pas travaillées.

³ Bisault définit le moment scolaire comme unité d'enseignement observable à des fins d'analyse, qu'il s'agisse de la séance ou d'une partie de celle-ci. Il utilise fréquemment le terme « moment scolaire à visée scientifique » pour signaler qu'au cours d'une séance, les visées scientifiques sont articulées à d'autres visées éducatives, et que les moments scolaires sont souvent mis en rapport avec d'autres moments non scolaires. Pour notre part, nous nous limitons à **moment de sciences** en tant qu'unité

expérimentales. Comment s’y prennent-ils pour amener leurs élèves à dépasser la familiarisation empirique avec le monde des objets et phénomènes afin d’élaborer les interprétations donnant accès aux savoirs prescrits ? S’il y a, comme on peut le penser, un dialogue professeurs-élèves, comment est-il conduit, pour être à l’écoute de ce qui se dit, se fait et se mettre d’accord, tout en maintenant le cap sur la planification ?

Nous nous proposons de répondre à ces questions par une recherche exploratoire ayant pour visée la description et la compréhension⁴ des pratiques réelles (au sens de Robert, 1999⁵) d’enseignants animant des moments de sciences à l’école. Le cadre de nos travaux n’est pas l’apprentissage des élèves, mais la professionnalité des enseignants. Nous nous proposons d’explorer le discours interactif maître élèves, non pour y repérer les comportements langagiers des élèves comme outils de leurs apprentissages (Rebière, 2000), mais pour y pointer dans les pratiques réelles d’enseignants gérant à chaque instant les tensions évoquées, quelques caractéristiques communes ou différentes.

Le thème d’enseignement retenu, les connaissances prescrites, le corpus et la démarche de notre étude

Le thème de l’enseignement apprentissage sur lequel porte notre travail d’analyse est celui de la construction de la matérialité de l’air en cycle 3 (CE2-CM). Nous avons choisi ce thème, car les recherches didactiques nous montrent que, pour bien d’élèves de ce niveau (Plé, 1997), d’élèves de niveau secondaire (Engel Clough et Driver, 1985 ; Luc, 2004 ; Séré, 1985 ; Tytler, 1998), et même d’élèves de niveau supérieur (De Hosson & Caillarec, 2009) l’air n’est rien, parce qu’invisible, impalpable, sans masse, sans offrir de résistance à une poussée. Les enseignants vont devoir leur faire franchir un cap prescrit délicat : savoir que l’air, pris comme exemple de gaz, est une matière, au même titre que les liquides et les solides, qu’il occupe un espace, qu’il peut être transvasé, déplacé ou résister à une poussée.

Nous avons demandé, à la même période annuelle, à trois enseignants volontaires (A, B, C), ayant des classes de même niveau⁶, dans des écoles différentes, et dont l’ancienneté varie de 5 à 15 ans, de mettre en œuvre une séquence d’enseignement sur ce thème imposé, tout en ayant entière latitude au plan organisationnel (tant au plan du scénario, que du matériel expérimental ou de l’aide à apporter aux élèves). Ceci doit nous permettre d’établir des comparaisons, et ce, espérons-le, sans modifier les pratiques propres à chaque enseignant. Nous avons procédé, dans chacune des classes, à un enregistrement vidéo (en suivant le plus possible l’activité du professeur)

d’enseignement réel à des fins d’analyse que les élèves identifient bien, et où la visée scientifique est prioritaire.

⁴ Nous n’aborderons pas dans le cadre de cet article l’explication à savoir les raisons que les enseignants invoquent pour justifier *a posteriori* leur gestion de ces tensions.

⁵ « Tout ce que dit et fait l’enseignant en classe en tenant compte de sa préparation de ses conceptions de ses connaissances... ».

⁶ 2 CE2, et 1 CE1-CE2.

d'une séquence⁷ (1h environ). Nous avons retenu de n'analyser que le dernier épisode de chacune des trois séquences : **celui de la conclusion**. Nous pensons qu'au cours de cet épisode, où les professeurs visent la mise au point des connaissances, tension didactique et tension pédagogique doivent s'exercer avec beaucoup d'intensité. Afin de pouvoir travailler au plus près les interactions professeur-élèves, nous avons transcrit toutes les interventions (professeur et élèves, verbales et non verbales) de chaque épisode de conclusion.

La description comparée des divers épisodes de chaque séquence

Les trois séquences enregistrées, de durée voisine de 1h, présentent, pour le chercheur, un découpage selon les mêmes épisodes (cf. Annexes 1A et 1B). L'épisode étant pour nous⁸ une partie de la séquence réalisée ayant un but précis associé à un type d'activité des élèves⁹. Dans les trois classes, les épisodes se succèdent dans le même ordre : l'introduction avec prescription d'une tâche à accomplir en groupes de 4 ou 5 élèves, l'activité en groupes (conception d'une affiche et réalisation d'une expérience), la mise en commun de ces activités, et l'épisode de conclusion où s'élaborent les connaissances planifiées.

Dans les trois classes, l'épisode de conclusion (cf. Annexe 2) est de très courte durée (durée voisine de 5 à 6 min, 8 à 11% du temps total séquence). Cet épisode, entièrement oral, est toujours ouvert par une question du professeur. Il s'agit d'expliquer (Brize, 1997) la même expérience surprenante¹⁰ (Kaminski, 2007) : l'absence d'eau dans un verre immergé, ouverture vers le bas. La discussion s'appuie sur la réalisation d'expériences en classe entière dont l'exploitation met en évidence la matérialité de l'air qui, selon la situation expérimentale, échange sa place avec celle de l'eau, ou lui résiste.

Nous allons nous intéresser à partir de maintenant, **et exclusivement**, à l'analyse de l'épisode de conclusion¹¹ des trois séquences A, B, C. Nous désignerons à partir de

⁷ Chaque professeur a fixé sa propre durée de séquence.

⁸ En tant que point de vue du chercheur.

⁹ Page 13, l'épisode sera aussi défini comme l'ensemble des échanges professeur-élèves de cette même partie de séquence. Pour notre part, nous en resterons à la définition que nous venons d'en donner dans ce paragraphe.

¹⁰ Elle est surprenante **pour les élèves** car elle est contraire à leurs prévisions basées sur des raisonnements de sens commun : il n'y a rien dans le verre immergé, donc l'eau doit monter jusqu'au sommet. Ces expériences que nous appellerons avec Kaminski surprenantes font l'objet de recherches didactiques sur les représentations des élèves et leurs raisonnements de sens commun, avec proposition d'outils afin de les déstabiliser. Kaminski expose dans son article un travail de recherche à propos des ombres avec comme point de départ «*un cas qui a de quoi surprendre* ». Dans la suite de notre article nous utiliserons le terme d'expérience surprenante en sachant qu'elle l'est pour les élèves, et ce sans toujours le spécifier.

¹¹ L'épisode de conclusion sera toujours pour nous celui dont le but est l'élaboration des connaissances, la conceptualisation.

maintenant par épisode A, l'épisode de conclusion de la séquence du professeur A, idem pour B et C. Nous désignerons souvent par la seule lettre A, le professeur A lui-même.

Nous allons examiner dans une première partie la façon dont les enseignants gèrent la tension didactique afin de conduire et maintenir leurs élèves sur le chemin de l'interprétation de cette expérience surprenante. Nous tirerons empiriquement quelques traits spécifiques de ces pratiques. Nous allons ensuite consacrer une deuxième partie à l'étude de la gestion tension pédagogique propre à la conduite plus générale du dialogue dans la classe afin qu'il aboutisse à la planification. Nous allons pour ce faire procéder à deux niveaux d'analyse. Dans un premier niveau, nous nous intéresserons aux interventions des professeurs afin d'y dégager, à l'aide d'outils d'analyse, les caractéristiques du questionnement. Le deuxième niveau va compléter l'analyse précédente en portant le regard sur la gestion des interventions des élèves et leur articulation aux interventions professorales afin que le professeur conserve la maîtrise de la progression du dialogue. Nous dégagerons, à l'aide d'outils d'analyse du discours, les caractéristiques des échanges professeur-élèves.

La gestion de la tension didactique : amener les élèves à dépasser la familiarisation pratique avec un phénomène pour aller vers l'interprétation de son caractère inattendu

Aux portes de l'épisode de conclusion, les scénarios observés se rejoignent sur le fait que les trois professeurs attirent l'attention de leurs élèves sur la même expérience surprenante¹² : l'absence d'eau dans un verre immergé, ouverture vers le bas. L'interprétation doit déboucher sur les propriétés matérielles de l'air suivantes :

- l'air est présent en haut du verre et occupe cet espace non « vide » ;
- il agit en résistant à la montée de l'eau dans le verre ;
- il peut être déplacé et évacué du verre.

Voyons comment les enseignants s'y prennent pour fixer, et maintenir le cap, vers l'interprétation de cette expérience.

Un cadre solennel

Dans les trois classes observées, le cadre de l'épisode de conclusion présente un caractère solennel qui tranche avec celui des épisodes qui le précèdent (les activités « libres » en groupes d'élèves et leur mise en commun). Les élèves sont debout, installés autour du professeur et de l'unique aquarium « spectacle ». Les professeurs introduisent la nouvelle logique qui va guider ce dernier épisode par une question ouverte (cf. Figure 1) posée oralement à la classe¹³.

¹² Dans la classe A, c'est le professeur qui a directement présenté l'expérience en début de séquence, alors que dans les classes B et C l'expérience est issue d'un défi lancé à la classe et validé (cf. Annexe 1A).

¹³ Les professeurs ne s'adresseront plus aux groupes, mais à la classe ou à des élèves lambda.

Professeur A à la classe : ... Alors qu'est-ce qu'il y a dans le verre ? – *Le professeur A accompagne avec un geste de la main relevée et la retourne comme pour l'enfoncer dans l'eau – à ce moment-là quand vous la plongez ? Qu'est-ce qu'il y a dedans ?*

Professeur B à la classe : Alors, d'après vous, pourquoi est-ce que ça fonctionne ?

Professeur C à la classe : Alors, qu'est-ce qui s'est passé entre le moment où, hier, on avait un verre où y'avait pas de trou, hein, c'était celui-ci ... finalement quand on réfléchit bien, l'air, il se trouve où ? (*Le professeur C montre le verre sans trou qu'il tient en main, ton solennel*)

Figure 1 – Les questions des professeurs débutant l'épisode de conclusion

Cette question débute dans les 3 cas par l'adverbe **alors** qui souligne le passage à un nouvel épisode, avec une nouvelle logique, celle de l'explication. Les trois questions, et les gestes des professeurs qui les accompagnent, ne laissent aucun doute sur le phénomène objet d'interprétation. Il s'agit du même fait expérimental au caractère inattendu pour les élèves : l'eau ne pénètre pas dans un verre immergé, embouchure vers le bas.

L'expérience surprenante sous les yeux des élèves

Dans les 3 classes, l'expérience qui sert de référent empirique à l'interprétation est mise sous les yeux des élèves. Elle est faite par un élève dans les classes A et B, et par le professeur lui-même dans la classe C.

Une proposition d'élève bienvenue dans les classes A et B (cf. Figures 2 et 3)

Alors que la discussion piétine au niveau interprétation dans les classes A et B, un élève suggère spontanément d'incliner le verre immergé tenu par l'un de ses camarades. Les deux professeurs s'empressent de valoriser par le ton une telle suggestion sûrement très attendue¹⁴, tant la consigne de sa mise en œuvre est immédiate. Le professeur A laisse toute latitude de réalisation, alors que le professeur B dirige minutieusement les gestes de son exécution.

39. Paul : ...si ils le mettent de côté le verre ; bah ça passe l'eau dedans.

40. B à Alexis : Ah ! (*de satisfaction d'une telle proposition*) Bien essaye tout doucement Alexis d'incliner le verre.

41. Alexis : Comment ?

42. B à Alexis : Et bien incline tout doucement, tout doucement. tout doucement, Vas-y, regardez bien ! (*les premières bulles apparaissent.*)

Figure 2 – La proposition bienvenue de Paul, et sa mise en œuvre dans la classe B

¹⁴ Cette expérience est essentielle pour « donner à voir » l'explication recherchée : la relation causale (Brize, 1997) entre deux faits (l'eau monte dans le verre incliné parce que l'air en sort sous forme de bulles caractéristiques de sa présence). Les professeurs vont pouvoir faire émerger de cette expérience une propriété matérielle de l'air en tant que gaz : la possibilité de le déplacer.

- 20. Élève :** Il faut la pencher (*le verre*).
- 21. A à cet élève :** Ah ! Il faut la pencher ? (*Ton de surprise satisfaite*)
- 22. A à Camille :** Et qu'est-ce qui se passe là, lorsque tu penches ? (*Camille penche le verre. Les bulles d'air sortent, et les élèves rient du bruit de ces bulles.*)

Figure 3 – La proposition d'un élève bienvenue,
et sa mise en œuvre dans la classe A

Les professeurs A et B orientent ensuite l'attention des élèves sur l'observation des faits à l'intérieur et à l'extérieur du verre. Intéressons-nous à la façon dont le professeur B assure la gestion de l'exploitation de cette expérience mise en œuvre¹⁵ par Alexis. Par les expressions (cf. Figure 4) « doucement, tout doucement, stop, vas-y... » le professeur B « metteur en scène » insiste pour obtenir d'Alexis une bonne maîtrise de l'expérience avec un lent déroulement des faits¹⁶. Concomitamment, il demande avec autant d'insistance, et à de multiples reprises, à tous les élèves de bien voir (et en particulier dans le verre) et de dire « ce qu'on voit ».

- 42. B à Alexis :** Et bien incline tout doucement, tout doucement. tout doucement, Vas-y, regardez bien ! (*les premières bulles apparaissent.*)
- 43. B à la classe :** C'est quoi ce que l'on voit là ? Stop ! C'est quoi ce que l'on voit là ?
- 44. Charlotte :** Des bulles.
- 45. B à la classe :** Et regardez dans le verre... approchez-vous ! Recommence Alexis. Venez tous ! (*Tous les enfants se lèvent, viennent autour de la table du groupe Alexis et du professeur B, Alexis enfonce le verre, on voit des bulles.*)
- 46. B à Alexis :** Si on incline le verre, vas-y tout doucement, vas-y, encore, stop,
- 47. B à la classe :** Qu'est-ce qu'on a vu là? Il faudrait que tu ailles plus doucement, c'était quoi? qu'est-ce qu'on a vu ?
- 48. Charlotte :** Des bulles.
- 49. Justine :** Des bulles d'air.
- 50. Alexis :** Il est mouillé le mouchoir.
- 51. B à Alexis :** Et pourquoi il est mouillé le mouchoir ?
- 52. Élève :** Parce qu'on l'a retourné.
- 53. Autre élève :** Parce que l'air elle est partie ?
- 54. B à la classe :** Bah oui ! Ben Oui, l'air est parti et du coup ?
- 55. Justine :** En bulles, elle est partie en bulles à cause de l'eau.
- 56. B à la classe :** Oui et du coup si l'air elle est partie ?

¹⁵ En sachant que dans la classe A, il y a de grandes similarités.

¹⁶ Il l'oblige même à recommencer, alors que paradoxalement le temps presse, mais cette consigne est essentielle pour « bien donner à voir ».

57. Sarah : *(qui a levé le doigt)* Ben il est mouillé.

58. Autre élève : Y a plus d'air qui protège.

59. Sarah : L'eau est rentrée dedans.

60. B à Sarah : Pourquoi Sarah ?

61. Sarah : Parce que l'eau il est rentré dedans parce que l'air elle est partie.

Figure 4 – La mise en œuvre de l'expérience « verre incliné »
et son exploitation dans la classe B

Charlotte, Justine et Alexis (cf. Figure 4, interventions 48 à 50) rapportent à la classe les deux faits essentiels issus de leurs observations : le dégagement de bulles qui matérialise la présence d'air dans le verre, et le mouchoir qui s'est mouillé à l'intérieur du verre, indicateur de la montée de l'eau dans le verre incliné.

Prenant appui sur ces faits, à partir de l'intervention 51, et à l'aide d'expressions telles que « pourquoi, et du coup », le professeur B ramène la discussion vers l'argumentation, la mise en relation des faits. Il obtient ainsi l'établissement de liaisons causales entre la « rentrée » de l'eau dans le verre incliné et « l'air qui est partie¹⁷ ». La discussion débouche sur la conceptualisation de l'air ayant des propriétés matérielles d'occupation de l'espace et de résistance à la montée de l'eau. Lors de l'intervention 58 un élève souligne le rôle protecteur de l'air sans lequel le mouchoir serait mouillé.

84. B à Sarah : *qui a levé la main* Sarah ?

85. Sarah : Y'avait. Heu ... L'air c'est comme le bouclier qu'y avait dedans.

86. B à Sarah : L'air c'est comme un bouclier ! C'est pas faux ce que tu dis, c'est une bonne représentation tiens ! ça empêche l'eau de rentrer dans le verre d'accord, bon bah c'est bien !!

Figure 5 – L'apport, par un élève de la classe B de l'analogie entre l'air et un bouclier

Ce rôle protecteur de l'air est repris et prolongé par Sarah (cf. Figure 5) qui compare l'air à un bouclier. Le professeur B reprend et valide cette comparaison¹⁸ illustrant pertinemment la propriété matérielle de l'air visée.

Le statut de l'expérimental « verre incliné » conduit dans les classes A et B peut être qualifié (Coquidé, 1998) « d'expérience-validation »¹⁹. L'expérience est alors un outil au service de l'interprétation des phénomènes et de l'élaboration des connaissances.

¹⁷ Très souvent le genre attribué par les élèves à l'air est féminin.

¹⁸ On assiste là à une articulation entre deux domaines d'enseignement pris en charge par le même enseignant (les sciences et l'histoire).

¹⁹ Coquidé distingue 3 modes didactiques de l'expérimental dans les classes : le mode de familiarisation pratique ou « expérenciation » (familiarisation des élèves avec les phénomènes) ; le mode d'investigation empirique ou « expérience-objet » (l'accent est mis sur l'initiation des élèves à des démarches scientifiques) ; le mode d'élaboration théorique ou « expérience-validation » ou « expérience outil » (expérience au service de la construction des connaissances).

Voyons maintenant comment le professeur C gère l'explication de l'absence d'eau dans le verre immergé.

La métaphore du match de boxe dans la classe C (cf. Figure 6)

Dans la classe C, la discussion en début d'épisode avance rapidement²⁰ vers l'interprétation de l'absence d'eau dans le verre par la présence de l'air. Les élèves utilisent pour cela les expressions « y a l'air qui bloque », « elle est emprisonnée à l'intérieur », « elle la bloque », « elle l'empêche », expressions (que le professeur reprend et valide oralement) traduisant avec leurs mots imagés les propriétés d'un air matière occupant un espace dans le verre et s'opposant à toute montée de l'eau.

Une fois ceci admis, le professeur C prolonge ce qu'il vient de valider par : « ça vous fait penser à quoi ? ». Il accepte la comparaison avec l'isolant thermique²¹, mais propose à la classe la métaphore²² du match de boxe entre l'air et l'eau : « et... finalement, vous avez tous vu un match de boxe à la maison ? »

- 21. C à la classe :** Alors, chut, finalement l'air, que fait l'air par rapport à l'eau ?
- 22. Camille :** Elle la bloque. (*P tient d'une main le verre enfoncé dans le bac*)
- 23. C :** Elle la bloque, c'est-à-dire...
- 24. Élève :** Elle l'empêche.
- 25. C :** Elle l'empêche, ouais, ça vous fait penser à quoi ça ?
- 26. Élève :** Un isolant.
- 27. C :** Un isolant, un petit peu un isolant thermique ouais tu as raison ça empêchait d'accord, et... finalement, vous avez tous vu un match de boxe à la maison ?
- 28. Élèves :** Non, non, oui.
- 29. P aux élèves ayant dit non :** Non, jamais vu un match de boxe ? (*Ton de surprise*)
- 30. Nicolas :** C'est l'air qui gagne.
- 31. P à la classe :** Ah! (*Un Ah marqué d'un sourire satisfait*) Alors Nicolas dis voir, écoutez voir Nicolas, attends Nicolas qu'il ait fini de tousser (*un autre élève*), écoutez bien (*ton incitant à l'écoute*).
- 32. Nicolas :** Eh ben là, c'est pareil c'est le match de boxe c'est l'air contre l'eau et c'est l'air qui gagne.
- 33. P :** Ah, c'est l'air qui gagne (*ton bas de conte et d'heureuse surprise*).

Figure 6 – L'introduction d'une métaphore explicative par le professeur C

La classe s'empare de cette métaphore « sportive ».

²⁰ Ils viennent de réussir un défi : faire monter l'eau dans le verre immergé en perçant un trou à la partie supérieure du verre.

²¹ Probablement en rapport avec des connaissances récemment établies.

²² Qui fait référence ici à une pratique sportive.

Le temps de discussion qui s'en suit amène les élèves à formuler par analogie leurs représentations donnant à voir les interactions air-eau propres à chacune des deux expériences pertinentes et validées lors des épisodes de défi. Ils justifient l'absence d'eau dans le verre immergé et non percé en disant c'est l'air « qui gagne » et (cf. Figure 7) le dégagement des bulles d'air par le trou percé dans un verre, en disant que « elle (l'air) a reçu des coups (par l'eau) » et « fuit » par le trou percé, propositions que le professeur reprend et accepte.

- 86. Nicolas ? :** Mais quand y' a des trous [*dans le verre*] par contre....
- 87. C à la classe :** Quand y'a des trous, que fait l'air ?
- 88. Élève :** Elle gagne.
- 89. Nicolas :** Elle a reçu tellement de coups... qu'elle peut pas se battre.
- 90. C:** Chut... et alors qu'est-ce qui se passe dans ce cas-là ?
- 91. Élève :** Bah le sucre²³ y va fondre.
- 92. C :** Qu'est-ce qui se passe dans ce cas-là ?
- 93. Élève :** Bah l'eau, l'eau...et...(inaudible).
- 94. Clément :** Elle [*l'air*] fuit.
- 95. C à la classe :** Elle fuit ! Elle fuit comment ?
- 96. Clément :** Par le dessus.

Figure 7 – L'utilisation de la métaphore pour interpréter l'expérience du verre percé

Par le cadre solennel, la référence à une seule expérience (celle faite devant la classe entière et autour du professeur), la question de départ du professeur fixant le cap sur l'explication, la reprise-valorisation immédiate de suggestions spontanées et pertinentes d'élèves (incliner le verre ce qui va entraîner la production de faits essentiels faciles à appréhender par les sens et à mettre en relation causale), la guidance précise des gestes-élèves d'exécution de cette expérience pour une bonne visibilité des faits, le maintien de l'attention aux endroits à observer, l'apport d'objets²⁴ faciles à appréhender (Bisault, 2011b, pp. 146-151) tels que la métaphore, la recherche fréquente d'énoncés argumentés, les trois professeurs gèrent ainsi la tension didactique orientée vers l'interprétation de cette expérience au caractère surprenant pour leurs élèves. Au terme de l'épisode de conclusion, les élèves sont amenés à accéder aux connaissances visées : la présence de l'air par ses propriétés matérielles (possibilité de déplacement et résistance à la poussée).

²³ Morceau collé au fond du verre comme indicateur de présence d'eau ou pas.

²⁴ Bisault parle d'objets scolaires à visée scientifique (OSVS), de différentes natures (matérielle ou abstraite) ou origines (familiales, scolaires, scientifiques) que les professeurs importent dans la classe et que les élèves appréhendent, transforment... pour élaborer leurs connaissances. Il définit ainsi le processus d'objectification-objectivation.

Nous allons voir dans la suite comment les professeurs conduisent le dialogue permanent professeur-élèves de cet épisode (questions et échanges).

Un premier niveau d'analyse de la gestion de la tension pédagogique, celui concernant les interventions questions des professeurs dans les épisodes de conclusion

Nous utilisons le terme intervention au sens des travaux de linguistique (Sinclair & Coulthard (1975, p. 13) ; Kerbrat-Orecchioni, 1990 et 2008) portant sur l'analyse des conversations. Il s'agit de la plus petite unité qui fait sens au sein du tour de parole d'une personne conversant avec d'autres. Pour notre part, nous avons assimilé tour de parole et intervention, sauf si, dans le même tour de parole, le professeur s'est adressé successivement à deux élèves différents²⁵ et, dans ce cas, nous avons découpé le tour de parole en deux interventions.

Voyons, dans les interventions des professeurs, quelle place occupe le questionnement, et quelles en sont les caractéristiques.

La place du questionnement dans les interventions du professeur

Pour ce faire, nous avons relevé, dans chacun des épisodes de conclusion, le nombre total des interventions des professeurs, et le nombre de celles qui sont des questions posées²⁶ (cf. Tableau 1).

	Épisodes		
	A	B	C
Nombre d'interventions du professeur	34	39	50
Nombre de questions du professeur	17	30	41

Tableau 1 – Le nombre des interventions-professeurs et celui de leurs questions dans les épisodes A, B, C

Nous constatons que les trois professeurs balisent les épisodes de conclusion par de très nombreuses interventions, dont la forme dominante est celle du questionnement de leurs élèves.

Les principales caractéristiques de ce questionnement

Maulini (2005), en référence à la pratique du cours dialogué, définit trois caractéristiques du questionnement professeur : le rythme, l'orientation, et la distribution.

Le rythme

Il s'agit du nombre de questions par unité de temps. Nous avons relevé, pour chacun épisodes A, B, et C, sa durée, et le nombre de questions posées par le professeur (cf. Tableau 2 en page suivante).

²⁵ Ou à un élève et ensuite à la classe et inversement.

²⁶ Ou dont une partie d'intervention est sous forme de question.

	Épisodes		
	A	B	C
Nombre de questions du professeur	17	30	41
Durée épisode conclusion (min)	5,5	6	5
Rythme : nombre de questions par min	3.1	4,7	8.2

Tableau 2 – Le rythme des questions des professeurs dans les épisodes A, B, C

Malgré des différences de rythme, il ressort, compte tenu de la courte durée des épisodes, que les questions des professeurs sont nombreuses, et « lancées » à un rythme soutenu (séquence C plus particulièrement). Astolfi (1996) parle d'effet TGV pour évoquer le questionnement à haute fréquence auquel sont soumis les élèves, et ce, avec une réponse exigée dans l'instant.

L'orientation des questions posées par les trois professeurs

Pour Maulini (2005), l'ouverture (ou la fermeture) des questions posées va orienter fortement la discussion entre le professeur et ses élèves. Altet (1992) définit une typologie avec trois principaux degrés d'ouverture des questions du maître, en fonction du niveau des opérations cognitives que les élèves vont devoir mettre en œuvre pour répondre :

- les questions de type fermées, qui appellent une seule réponse attendue par le professeur (questions sur les faits, les observations, les rappels, la mémoire et dont le niveau des opérations cognitives se limite à la saisie ou au rappel d'informations) ;
- les questions de type guides, plus ouvertes, plus liées aux démarches disciplinaires et aux raisonnements des apprenants (comparaison, causalité, classement, déduction ...) ;
- les questions de type ouvertes, plus orientées vers la réflexion, l'expression de jugements, d'opinions, d'arguments, de sentiments, du domaine affectif.

Pour notre part, nous avons considéré comme questions fermées, toutes les questions n'appelant qu'une seule réponse possible de l'élève : une définition, une observation, une demande de confirmation. Nous avons considéré comme questions guides, toutes celles appelant les élèves à du raisonnement. Elles possèdent les termes tels que : et, alors, pourquoi, donc, c'est-à-dire, comment... Enfin, nous avons considéré comme questions ouvertes, les questions demandant aux élèves leurs représentations, leur point de vue plus personnel (B : « Qu'est-ce que tu sens Manon toi ? » - C : « Ça vous fait penser à quoi ça ? »).

Compte tenu du peu de temps imparti à l'épisode de conclusion, et du rythme assez soutenu des questions posées par les trois maîtres, nous pouvons nous attendre à ce que l'orientation de ce questionnement soit plutôt portée vers sa fermeture. Voyons ce qu'il en est (cf. Tableau 3).

	Épisodes		
	A	B	C
Nombre de questions fermées	12	19	24
Nombre de questions guides	4	7	15
Nombre de questions ouvertes	1	4	2
Nombre total des questions	17	30	41

Tableau 3 – L’orientation des questions posées par les trois professeurs A, B, C

Comme nous nous y attendions, pour les 3 épisodes analysés, la plus grande partie des questions posées par les professeurs sont des questions fermées. Les questions guides sont moins fréquentes. Mais, comme nous l’avons développé dans le paragraphe relatif à la gestion de la tension didactique, les professeurs utilisent des questions guides pour relancer la discussion et la maintenir orientée vers l’interprétation de l’expérience (recherche de déductions pour les professeurs A et C, recherche d’explications pour le professeur B).

Nous notons, et surtout dans les épisodes A et C, une très faible présence de questions ouvertes. B tente, par trois fois, de faire rebondir la discussion en demandant : « Qu’est-ce tu penses ou vous pensez de ce qu’a dit ... ? ».

La distribution des questions

Maulini (2005) désigne ainsi le « spectre » des destinataires des questions posées par le professeur. Nous avons distingué les questions nominatives, et celles destinées à la classe. Nous avons considéré comme questions nominatives toutes celles adressées à un élève dont le prénom est cité par l’enseignant, ou dont le contenu personnalisé de la question ne laisse aucun doute sur son destinataire (demande de précision, réaction négative face à une mauvaise réponse..). Nous avons considéré toutes les autres questions comme questions de classe. Voyons comment sont distribuées les questions dans les trois épisodes de notre étude (cf. Tableau 4).

	Épisodes		
	A	B	C
Nombre de questions nominatives	9 à 4 élèves (<i>dont 5 à Camille faisant l’expérience « verre incliné », et dont 1 réfutation par question</i>)	13 à 4 élèves (<i>dont 9 à Alexis faisant l’expérience « verre droit », et dont 3 réfutations par question</i>)	7 à 4 élèves (<i>dont 2 à Nicolas « élève ressource », et dont 4 réfutations par question</i>)
Nombre de questions à la classe	8 (<i>dont 3 demandes de validation</i>)	17 (<i>dont 5 demandes de validation</i>)	34 (<i>dont 1 demande de validation</i>)
Nombre total	17	30	41

Tableau 4 – La distribution des questions posées par les trois professeurs A, B, C

- **Les questions nominatives**

Le professeur A questionne à parts égales la classe et quelques élèves, alors que les professeurs B et C privilégient le questionnement de classe. Les questions nominatives de chacun des trois épisodes ne concernent que 4 élèves. Les professeurs A et B, dirigent beaucoup de questions nominatives vers le même élève « acteur » de l'expérience en cours de réalisation (demandes de précisions sur le déroulement des faits).

Tous les professeurs répliquent sous la forme d'une question nominative, pour réfuter une mauvaise réponse d'élève (ou une intervention peu bienvenue), et ce avec un ton dont l'expression ne laisse aucun doute à l'élève « émetteur » quant à l'évaluation négative de sa réponse. Par cette pratique, les professeurs ramènent aussitôt la discussion sur le vrai, ou sur la voie planifiée.

- **Les questions à la classe**

Comme nous l'avons déjà signalé, chacun des trois épisodes analysés débute par une question à la classe. Au moyen des questions à la classe, les professeurs font valider collectivement des propositions individuelles. Ils sollicitent aussi la classe, en toute fin d'épisode, sous forme de questions brèves et fermées, appelant des réponses courtes et « en chœur », afin de faire ressortir la propriété matérielle de l'air susceptible d'échanger sa place avec celle de l'eau.

Ce qui semble commun aux pratiques de questionnement des trois professeurs

Il ressort de l'étude des épisodes de conclusion, que les trois enseignants gèrent la tension pédagogique entre favoriser la discussion au sein de la classe et maintenir le cap sur ce qu'ils ont planifié, en intervenant fréquemment, et le plus souvent sous forme de questions à leurs élèves. Le rythme de ce questionnement est fort soutenu (de 3 à 8 questions par minute). Une des conséquences de ce rythme soutenu, est que la très grande majorité des questions sont fermées, appelant ainsi des réponses brèves. Les questions guides, utiles au maintien du cap sur les raisonnements explicatifs, sont moins fréquentes, et les questions ouvertes le sont encore moins. C'est la classe qui est le plus souvent destinataire des questions du professeur. Les questions nominatives ne concernent que quelques élèves. De façon nominative, le professeur cherche à diriger les observations de l'élève qui fait l'expérience devant ses pairs ; il sollicite aussi quelques élèves « ressources » pour faire avancer les raisonnements, lorsque les discussions s'enlisent ; enfin il écarte sur le champ les fausses réponses ou les interventions hors de propos. C'est par une question à la classe que commencent les trois épisodes étudiés. Les professeurs demandent à la classe de valider « en chœur » des réponses individuelles. Ils utilisent les dernières questions pour faire avancer pas à pas et, « en chœur », les rôles respectifs de l'air et l'eau dans l'expérience surprenante, mettant ainsi en valeur la matérialité de l'air.

Lors de ce premier niveau d'étude concernant la gestion de la tension pédagogique, notre regard s'est uniquement porté sur les interventions des professeurs en tant que pratiques de questionnement. Afin de saisir comment sont gérées les interventions des élèves et comment elles s'articulent aux interventions des professeurs pour faire progresser le dialogue vers le cap planifié, nous allons nous intéresser à un deuxième niveau d'analyse centré sur les échanges professeur-élèves.

Un deuxième niveau d'analyse de la gestion de la tension pédagogique : celui concernant les échanges entre professeurs et élèves dans les épisodes de conclusion

Les échanges et leur typologie

Afin d'étudier les dialogues professeur-élèves, nous avons emprunté quelques outils aux travaux d'analyse des discours oraux. Les auteurs de ces travaux (Sinclair & Coulthard, 1975 ; Kerbrat-Orecchioni, 1990 et 2008) découpent tout dialogue oral en unités hiérarchisées de taille décroissante. Nous nous intéresserons à deux des plus petites unités d'interaction pertinentes pour notre travail : l'échange et l'intervention. L'échange, la plus petite unité de dialogue, est fait d'une ou plusieurs interventions. L'intervention est la plus petite unité de monologue qui fait sens au sein du tour de parole²⁷ d'une personne en interaction avec d'autres. L'épisode peut se définir maintenant par l'ensemble des échanges au sein d'une partie de séquence réalisée ayant un but précis associé à un type d'activité des élèves. Kerbrat-Orecchioni (1990 et 2008) propose une typologie des échanges en fonction de leur nombre d'interventions.

Les échanges sont dits à une intervention, lorsque l'autre intervention est de nature non verbale (geste, mimique ...). On parle d'échange tronqué, si une intervention ne suscite aucune réaction de la part de l'interlocuteur.

Dans les échanges à deux interventions, la première intervention est dite initiative (I), et la seconde réactive (R). On parle d'échanges binaires. Dans les échanges à trois interventions (échanges ternaires), la première intervention est dite initiative (I), la deuxième réactive (R), la troisième, qui clôture l'échange, est dite de feedback ou évaluative (F ou E).

Les échanges sont dits complexes quand l'intervention initiative ouvre une discussion comportant plus de trois interventions, la dernière étant l'intervention de clôture de l'échange.

Les auteurs de travaux²⁸ analysant le discours oral **en classe** affirment que les échanges les plus répandus sont les échanges ternaires. L'intervention initiative (I) est le plus souvent une question du professeur visant à vérifier les connaissances des élèves. L'élève répond (R). Lors de la troisième intervention (F ou E) le professeur évalue²⁹ la réponse de l'élève.

La catégorisation des échanges recensés

À partir de la typologie proposée par Kerbrat-Orecchioni (1990 et 2008), nous avons classé les échanges en cinq catégories : les échanges tronqués (E_t), les échanges à une

²⁷ Comme nous l'avons signalé au début du paragraphe sur l'analyse du questionnement, quand le professeur dans le même tour de parole s'adresse à deux élèves différents, nous avons transcrit deux interventions séparées pour ce tour de parole. Dans tous les autres cas nous avons assimilé tour de parole et intervention.

²⁸ Sinclair et Coulthard ont été les premiers en 1975.

²⁹ Il s'agit pour ces auteurs d'une évaluation au sens large du terme : reprise en écho, appréciation avec émotion, commentaire, évaluation au sens usuel.

intervention (E_1), les échanges binaires (E_2), les échanges ternaires (E_3), et les échanges complexes (E_x).

Nous avons recensé comme échanges tronqués (E_t), les interventions spontanées (et sans demande de parole) d'élèves auxquelles le professeur n'a pas du tout immédiatement réagi³⁰.

Nous avons considéré comme échanges à une intervention (E_1), toutes les consignes orales des professeurs que les élèves appliquent silencieusement, par des gestes expérimentaux, ou par des modifications de leur comportement.

Nous avons considéré comme échanges binaires (E_2), les échanges pour lesquels l'intervention initiative n'est suivie que d'une intervention réactive clôturant l'échange.

Nous avons retenu comme échanges ternaires (E_3), les échanges où se succèdent intervention initiative, intervention réactive, et intervention de feedback (F), qui clôture l'échange.

Les échanges complexes sont ceux tels que l'intervention initiative donne lieu à plusieurs interventions réactives (réponses successives de plusieurs élèves, reformulation de la question initiative par le professeur...), avant que se clôture l'échange. Nous notons ces échanges par E_x , x désignant le nombre total d'interventions de cet échange.

Les principales caractéristiques des échanges recensés dans les épisodes de conclusion

Le dénombrement des échanges, et leur répartition selon les cinq catégories de recensement (cf. Tableau 5)

	Échanges tronqués	Échanges à une intervention	Échanges binaires	Échanges ternaires	Échanges complexes	Total
Nombre (épisode A)	6	7	5	9	2 (E_5, E_8)	29
Nombre (épisode B)	2	2	5	14	8 ($4E_4, 2 E_5, E_7, E_{12}$)	31
Nombre (épisode C)	1	0	4	24	9 ($5E_4, 2 E_5, 2 E_6$)	39

Tableau 5 – La répartition des échanges selon les cinq catégories de recensement

Compte tenu de la courte durée des épisodes de conclusion, le nombre total des échanges professeur-élèves recensés est élevé, et sensiblement voisin pour les trois épisodes de notre échantillon.

³⁰ Il peut ne pas avoir entendu l'intervention de l'élève, ou ne pas avoir voulu réagir.

Dans les échanges à **plusieurs interventions** (cf. Annexe 5, avec exemples et représentations symboliques) :

- Ce sont les échanges ternaires qui occupent en nombre la place la plus importante³¹, voire la place dominante pour le professeur C ;
- Les échanges binaires sont beaucoup moins fréquents ;
- Les échanges complexes sont plutôt présents dans les épisodes B et C, ils comportent le plus souvent de 4 à 8 interventions.

Quant aux échanges tronqués, et aux échanges à une intervention, ils ne sont vraiment présents que dans l'épisode A. Les échanges à une intervention sont des consignes ou conseils, que les professeurs A et B donnent à l'élève réalisant l'expérience devant ses pairs. Les échanges tronqués sont plutôt présents dans l'épisode A, en raison de multiples interventions spontanées d'élèves (sans réaction du professeur A) observant l'expérience du verre incliné avec dégagement de bulles d'air.

L'ouverture et la clôture des échanges ayant plusieurs interventions (cf. Tableau 6)

Voyons qui prend l'initiative d'ouvrir, et celle de clôturer les échanges.

	Épisodes		
	A	B	C
Nombre d'échanges binaires ouverts par les élèves	3 des 5 échanges	3 des 5 échanges	2 des 4 échanges
Nombre d'échanges ternaires ouverts par les élèves	0	0	0
Nombre d'échanges complexes ouverts par les élèves	0	1 des 8 échanges	3 des 9 échanges

Tableau 6 – Le nombre des échanges ouverts par les élèves

Force est de constater que très peu d'échanges à plusieurs interventions sont ouverts par les élèves, à l'exception de quelques échanges binaires, et de quelques échanges complexes. De plus, seuls 4 à 5 élèves s'y aventurent³².

Enfin, les trois professeurs clôturent **la totalité** des échanges de l'épisode. Ils gardent donc en grande partie la maîtrise de l'ouverture et de la fermeture des échanges de l'épisode de conclusion.

³¹ Ce qui est en accord avec les auteurs de travaux sur les analyses de discours en situation de classe.

³² Ceux qui sont d'ailleurs interrogés nominativement par les professeurs à un autre moment de l'épisode.

Le devenir au cours de l'épisode des quelques interventions à l'initiative des élèves

Voici comment les professeurs de notre échantillon réagissent et gèrent le dire spontané des élèves :

- Le professeur ne réagit pas, et les échanges sont alors tronqués, (principalement présents dans l'épisode A) le professeur n'entend pas, ou fait semblant de ne pas entendre l'intervention-élève ;
- Le professeur clôture positivement l'échange, l'échange est binaire (cf. Figure 8), sa réaction valorise aussitôt solennellement l'intervention-élève, car elle est essentielle pour sa progression planifiée (pencher le verre immergé dans les séquences A et B, envisager le cas du verre percé dans la séquence C) ;

E ₂	[20. Élève : Il faut la pencher.
E ₁		21. Professeur A à cet élève : Ah ! Il faut la pencher ? (<i>Ton de surprise satisfaite</i>)
		22. P à Camille : Et qu'est-ce qui se passe là, lorsque tu penches ? (<i>Camille penche le verre. les bulles d'air sortent, et les élèves rient du bruit de ces bulles.</i>)

Figure 8 – Échange binaire avec réaction du professeur très favorable à l'initiative élève

- Le professeur clôture négativement l'échange (en échange binaire), par une réplique de rejet vigoureux du propos jugé inexact inélégant ou prématuré ; la réplique est souvent sous forme de question nominative ;
- Le professeur met en débat l'intervention élève, avec vote de la classe (l'échange complexe à 12 interventions dans l'épisode B) ;
- Le professeur demande à l'élève de préciser, justifier son propos, voire le pousse à changer d'avis (échanges complexes avec un seul élève dans l'épisode C).

Selon le moment au cours épisode de conclusion, ou selon la pertinence du propos-élève en fonction du projet de l'enseignant, celui-ci gère le devenir des interventions à initiative-élève en y adaptant un type d'échange dont il garde en permanence la maîtrise de la clôture.

Nous allons voir qu'une autre façon pour les enseignants de gérer le dialogue dans la classe, c'est de lier les échanges successifs.

Les liaisons entre les différents échanges

Nous avons constaté que les trois professeurs dirigent l'avancée progressive de la structuration des connaissances visées en liant fréquemment clôture d'un échange, et ouverture du suivant. Voyons comment s'opère cette liaison entre échanges successifs.

Les échanges liés par une même intervention du professeur

Nous considérons que deux échanges sont liés, lorsque deux conditions sont réunies. D'une part, l'intervention du professeur doit clôturer un échange, en faisant référence, de façon verbale, à l'intervention que vient de faire un élève (évaluation au sens large du propos de l'élève). Il peut s'agir :

- de conjonctions (comme et, si, et si, donc) ;
- d'adverbes (comme alors, et alors, pourquoi) ;

- d'appréciations (comme ah !, bon !) ;
- de commentaires plus évaluatifs (comme oui, bien, d'accord...) ;
- de simples reprises en écho de ce qui vient d'être dit.

D'autre part, cette **même intervention**, doit ouvrir l'échange suivant. Il s'agit le plus souvent d'une question sollicitant le prolongement du propos élève validé. Dans l'exemple ci-dessous (cf. Figure 9) : l'échange E4 et l'échange E₂ sont liés par l'intervention 36 du professeur C. Cette intervention clôture l'échange E4³³ et, par l'adverbe pourquoi, ouvre l'échange binaire suivant amenant Justine à argumenter son propos.

E ₄	33. Professeur C à la classe : Ah ! Et qu'est-ce que ça fait alors quand y'a de l'air dans le verre comme ça ?
	34. Paul : Heu, y'a pas d'eau.
E ₂	35. Justine : Y'a pas d'eau.
	36. Professeur C à Justine : <u>Pourquoi</u> y'a pas d'eau ?
	37. Justine : Bah parce que y'a pas de trou !

Figure 9 – Les échanges E4 et E2 sont liés³⁴

Le dénombrement des échanges liés (cf. Tableau 8)

Nous avons procédé au recensement des échanges ainsi liés.

	Épisodes		
	A	B	C
Nombre total d'échanges à plusieurs interventions	16	27	39
Nombre d'échanges liés	9	23	30
Nombre d'échanges ternaires reliés	9	17	28

Tableau 8 – Le nombre d'échanges et d'échanges ternaires liés

Il ressort du tableau 8 ci-dessus, qu'une forte, ou très forte proportion des échanges à plusieurs interventions recensés dans les épisodes de conclusion A, B, C sont liés. Ce sont les échanges ternaires qui numériquement occupent la plus grande part des échanges liés ; ils sont d'ailleurs très fréquemment liés entre eux.

³³ Par la reprise en écho des propos de Paul et Justine avec validation tacite de « y'a pas d'eau ».

³⁴ Nous avons représenté les deux échanges liés : le trait horizontal qui symbolise l'intervention de clôture de l'échange E4, et celui qui symbolise l'intervention initiative de D, sont tous deux en regard de l'intervention commune 36.

Les chaînes d'échanges liés

Nous appelons chaîne d'échanges liés, ou chaînes d'échanges, un ensemble d'échanges qui sont successivement liés. Nous avons procédé au recensement du nombre de chaînes d'échanges liés, et au nombre moyen d'échanges par chaîne (cf. Tableau 9).

	Épisodes		
	A	B	C
Nombre de chaînes liées	4	5	7
Nombre moyen d'échanges par chaîne	2.3	4.6	4.3

Tableau 9 – Les chaînes d'échanges liés

Nous constatons la présence de chaînes d'échanges liés dans tous les épisodes, et surtout dans l'épisode C.

Les chaînes de l'épisode A sont les plus « courtes », elles comportent deux ou trois échanges liés. Celles de l'épisode B ont de deux à treize échanges liés, et celles de l'épisode C de deux à sept échanges.

Voyons trois exemples de chaînes d'échanges (un par épisode de conclusion). Dans ces trois exemples, les professeurs guident la discussion afin de mettre en relation la sortie de l'air, et la montée de l'eau, quand le verre immergé est incliné (épisodes A et B), ou quand il est percé (épisode C).

- À la fin de l'épisode de conclusion A (cf. Annexe 4A), nous avons recensé une chaîne avec échange binaire et ternaire liés, puis une chaîne de trois échanges ternaires liés. Tout en animant la discussion, le professeur immerge un verre, ouverture vers le bas, l'incline, le retourne pour en chasser l'air, le ressort plein d'eau, et le montre aux élèves. Par les deux chaînes d'échanges reliés, le professeur gère la discussion et tire ainsi, pas à pas, de l'expérience montrée, que l'eau a pris la place de l'air.
- Dans l'épisode de conclusion B (cf. Annexe 4B), le professeur B gère une chaîne de cinq échanges successifs liés, alors qu'un élève réalise l'expérience du verre incliné laissant échapper les bulles d'air. Au cours de cette chaîne d'échanges liés, le professeur sélectionne les réponses des élèves, les valide, sollicite leur prolongement sous forme de question. Pas à pas, la discussion ainsi conduite, permet de tirer de l'expérience que l'eau est montée dans le verre incliné, parce que l'air en est parti.
- À la fin de l'épisode de conclusion C (cf. Annexe 4C), nous avons relevé une chaîne de huit échanges successifs liés avec, comme référent empirique, l'expérience du verre percé et immergé, et avec comme outil d'interprétation, la métaphore du match de boxe entre l'air et l'eau. Au cours de ces échanges liés, le professeur C sélectionne la réponse, la valide, en sollicite prolongements. Les échanges ainsi gérés débouchent sur le fait que l'eau « gagne » (monte dans le verre) et que l'air « a reçu... des coups », « ...peut pas se battre », « fuit » par le trou, sous forme de bulles.

Par les nombreux échanges, leur fréquente liaison (assurée principalement par les échanges ternaires), et leur mise en chaînes (**maîtrisant ainsi pas à pas leur ouverture et leur clôture**), les trois professeurs gèrent la tension pédagogique entre stimuler le dialogue au sein de la classe, et à tout instant, le contrôler pour le faire aboutir

progressivement vers les connaissances planifiées. Mais, la participation des élèves se fait essentiellement sous forme de réponse aux interventions-questions professorales.

Conclusion

Nous avons comme projet de rendre compte de la façon dont les enseignants de l'école primaire gèrent, dans leurs pratiques quotidiennes, des exigences en tension (que nous avons appelées tension didactique et tension pédagogique), lorsqu'ils mettent en œuvre un enseignement de sciences, à l'aide d'investigations expérimentales. Comment les enseignants s'y prennent-ils pour amener leurs élèves à dépasser le registre de l'expérience issue de défis réussis ayant pour eux un caractère surprenant, et à s'approprier les connaissances explicatives visées lors de l'interprétation de cette expérience ? Comment les enseignants gèrent-ils le dialogue dans la classe pour, tout à la fois, solliciter l'expression des élèves, et tenir le cap fixé sur leur planification ? Il nous est apparu que l'épisode de conclusion d'une leçon était celui où la maîtrise simultanée de telles exigences était plus particulièrement délicate. De plus, le contenu des trois séquences que nous avons observées et analysées, celui de la matérialité de l'air, est considéré par les recherches didactiques, comme un des obstacles que les élèves ont du mal à franchir. Avant de conclure, nous nous gardons bien de toute généralisation abusive, les données sur lesquelles nous avons travaillé portent sur un seul domaine d'enseignement des sciences (mais aussi sur un seul des thèmes de cet enseignement, un seul niveau de classe, un seul épisode de séquence, un échantillon de 3 professeurs). Peut-être même aurait-on pu explorer comment ces mêmes professeurs gèrent les deux tensions quand ils enseignent d'autres matières que les sciences ? Compte tenu des réserves que nous venons d'exprimer, voici en conclusion, les réponses que nous pouvons apporter aux questions de cette recherche, ces réponses pouvant servir de point d'appui pour des recherches futures.

La gestion de la tension didactique : amener les élèves à dépasser la familiarisation pratique avec un phénomène, pour aller vers l'interprétation de son caractère surprenant

Le cadre de l'épisode de conclusion a un caractère solennel. Les élèves sont rassemblés autour du professeur et d'un seul poste d'expérience à observer et à expliquer. La classe entière est mobilisée pour répondre à la question que posent à la classe entière les trois professeurs en introduction de l'épisode. Par la présence d'adverbes (qu'est-ce que, où, pourquoi), cette question d'introduction, dès le départ de l'épisode, fixe le cap de la discussion sur l'explication démystifiant les faits surprenants que les élèves ont sous leurs yeux. Les professeurs maintiennent ce cap en étant à l'affût, et en s'empressant de valoriser³⁵ et de prendre appui sur toutes les suggestions d'élèves pertinentes, dont on peut penser qu'elles étaient prévues *a priori* dans leur planification (proposition d'expérience-outil assurant une féconde avancée sur le chemin de la conceptualisation, que l'on fait aussitôt mettre en œuvre en guidant les gestes et les endroits pertinents à observer, ou proposition d'interprétation que l'on s'empresse de valider solennellement). Les professeurs maintiennent le cap en apportant eux-mêmes dans

³⁵ Mais aussi de rejeter aussi promptement et énergiquement tout propos inapproprié, inexact ou inattendu.

la discussion des objets à visée interprétative (métaphore du match de boxe par exemple). Enfin régulièrement, ils exigent des élèves que leurs énoncés soient justifiés, étayés, précisés, mis en relation...

La gestion de la tension pédagogique (entre pédagogie active et nécessaire planification) : organiser le dialogue au sein de la classe

Les épisodes de conclusion sont de courte durée (de 5 à 6 min), et entièrement oraux.

Les interventions des professeurs sont nombreuses, et principalement sous forme de questions aux élèves, avec un rythme très soutenu. Les questions les plus nombreuses sont courtes, plutôt fermées, appelant ainsi des réponses courtes. Bien que moins fréquentes, nous avons relevé la présence de questions guides sollicitant les raisonnements avec précisions et justifications. Le questionnement est majoritairement destiné à la classe. Les questions nominatives sont à destination d'élèves faisant l'expérience devant leurs pairs, ou de quelques autres élèves, dont on peut penser qu'ils sont « ressource » pour la classe.

Les échanges sont nombreux (de 29 à 39). Dans les échanges à plus de deux interventions, ce sont les échanges ternaires (I, R, F) qui dominent (confirmant des études réalisées à un autre niveau d'enseignement (Khanfour-Armale, 2008), ou dans d'autres disciplines). La très grande majorité des échanges (de 69% à 90%) sont initiés par les professeurs, et tous sont clôturés par eux. Les quelques interventions spontanées à l'initiative des élèves sont soit sans réaction des professeurs (échanges tronqués), soit immédiatement valorisées ou violemment rejetées (échange binaires), soit mises en discussion avec un ou plusieurs élèves (rares échanges complexes à plus de trois interventions montrant le peu de place laissée aux débats dans l'épisode de conclusion). Dans tous les cas, les professeurs clôturent les échanges. Dans ces formes d'échanges, les interventions des élèves se résument à apporter des réponses aux questions de leurs professeurs.

La liaison entre les échanges successifs

Une autre caractéristique des échanges à plus de deux interventions, c'est leur forte liaison. Dans une même intervention, les professeurs clôturent un échange (reprise en écho de ce qui vient d'être dit par l'élève, appréciation, validation solennelle par le ton et des expressions d'accord) et ouvrent le suivant, sous forme interrogative. On obtient ainsi des chaînes d'échanges liés, avec une forte présence d'échanges ternaires au sein de ces chaînes. De telles chaînes symbolisent une forme de dialogue de classe que les professeurs contrôlent en permanence et font progresser le plus rapidement possible vers le terme qu'ils se sont fixés. On peut penser qu'une telle gestion pédagogique du dialogue de conclusion n'est pas spécifique à l'enseignement des sciences à l'école³⁶ (il eût été intéressant de voir les pratiques des mêmes professeurs dans l'enseignement d'autres domaines). On peut aussi penser qu'une telle gestion leur permet d'articuler l'enseignement du domaine des sciences à celui transversal de la langue française.

³⁶ On peut penser à de telles formes de gestion du dialogue de conclusion à d'autres niveaux d'enseignement des sciences (collège, voire lycée), ce qui ouvre des pistes pour prolonger notre recherche.

De grandes similitudes entre les trois cas observés

Il ressort, des trois cas que nous avons observés, une remarquable similitude entre certains aspects propres à la gestion des deux types de tension (temps limité accordé à l'épisode de conclusion, discussion collective, importance quantitative du nombre des questions du professeur, du nombre des échanges ternaires, de ceux qui sont liés... ; présence de l'expérience à interpréter avec la classe autour, attente-valorisation des suggestions d'élèves pertinentes, exigence d'énoncés argumentés...). De telles similitudes mettent en évidence une forme scolaire très largement partagée (on peut supposer bien au-delà de ces trois exemples) de conduite des épisodes de conclusion en sciences. On voit transparaître en même temps des choix plus individuels indicateurs d'éventuels profils de conduite différents que d'autres types de recherche pourraient identifier et valider.

Remerciements : Nous tenons à remercier Joël BISAULT (GRIEST : IUFM Amiens-Université Picardie) pour ses relectures et ses conseils. Nous remercions aussi Élisabeth PLÉ, Véronique BARAIZE, Sophie RÉMI, (IUFM Reims-URCA) avec qui nous avons partagé cette recherche.

Bibliographie

- ALTET M. (1992) Une formation professionnelle pour l'analyse des pratiques et l'utilisation d'outils conceptuels issus de la recherche : modes cognitifs et modes d'ajustement. *Les sciences de l'éducation*, 1-2.
- ALTET M. (2009) Tensions et ajustements dans les pratiques enseignantes : analyse de la dynamique des interactions maître-élèves observées dans un « débat scientifique » en cycle 3 ». In M. Altet, I. Vinatier. (Eds). *Analyser et comprendre la pratique enseignante*, pp. 47-56. Rennes : PUR.
- ASTOLFI J. P. (1996) Mettre l'élève au centre...oui, mais au centre de quoi ? *Actes du forum 1995 de l'enseignement primaire*. Genève : Département de l'instruction publique.
- BISAULT J. (2010) Des moments de sciences à l'école primaire : quelles références pour quels enjeux. *RDST*, n° 2, 53-78.
- BISAULT J. (2011a) Moments et objets scolaires à visée scientifique : des pistes pour penser l'éducation scientifique à l'école primaire. *Grand N*, n°87, 93-113.
- BISAULT J. (2011b) *Contribution à l'élaboration curriculaire d'une éducation scientifique à l'école primaire - Modélisation des moments scolaires à visée scientifique*. HDR, ENS Cachan.
- BRIZE J. B. (1997) *Logique et langage*. Paris : Ophrys.
- COQUIDÉ M. (1998) Les pratiques expérimentales : propos d'enseignants et conceptions officielles. *Aster*, n°26, 109-132.
- DE HOSSON C. & CAILLAREC B. (2009) L'expérience de Blaise Pascal au Puy de Dôme : analyse des difficultés des étudiants de premier cycle universitaire et confrontation historique. *Didaskalia*, n°34, 105-130

- ENGEL CLOUGH E. & DRIVER R. (1985) Secondary students' conceptions of the conduction of heat: bringing together scientific and personal views. UK, IOPScience *Physics Education*, vol 20, n°4. Disponible à l'adresse http://iopscience.iop.org/0031-9120/20/4/309/pdf/0031-9120_20_4_309.pdf
- GOFFARD M. & WEIL-BARAIS A. (2005) *Enseigner et apprendre les sciences*. Paris : Armand Colin. pp. 173-196.
- KAMINSKI W. (2007) Savons-nous ce qui se passe à l'ombre ? Les connaissances d'optique, sont-elles nécessaires pour réussir les défis des ombres du Petit Chaperon Rouge et le Loup ? In L. Morge, J. M. Boilevin (Eds). *Séquences d'investigation en physique-chimie*. Scérén CNDP, Collection Repères pour agir, pp. 129-137.
- KERBRAT-ORECCHIONI C. (1990) *Les interactions verbales, tome 1*. Paris : Armand Colin.
- KERBRAT-ORECCHIONI C. (2008) *Les actes de langage dans le discours, Théorie et fonctionnement*. Paris : Armand Colin.
- KHANFOUR-ARMALE R. (2008) *Structuration par le professeur des connaissances construites par des élèves ayant travaillé en autonomie lors d'une activité expérimentale de chimie*. Thèse de doctorat, Université Lyon II.
- LUC C. (2004) Réactions et raisonnements des élèves devant une expérience sur les propriétés pressantes et élastiques de l'air. *BUP*, n° 98, 551-566.
- MARTINAND J. L. (1992) *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris : INRP.
- MARTINAND J. L. (1994) *Nouveaux regards sur l'enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris : INRP.
- MAULINI O. (2005) *Questionner pour enseigner et pour apprendre*. Paris : ESF.
- PLÉ E. (1997) Transformation de la matière à l'école élémentaire : des dispositifs flexibles pour franchir les obstacles. *Aster*, n°24, 203-229.
- PLÉ E. (2011) De la recherche à la pratique des enseignants : la gestion de la "tension didactique" lors du franchissement d'un obstacle à l'école élémentaire. In Hasni, A. & Baillat, G. *Pratiques d'enseignement en sciences et technologie*. Reims : EPURE.
- REBIÈRE M. (2000) *Langage, posture et cognition : enjeux et obstacles de l'activité langagière dans la classe de sciences*. Thèse de doctorat, Université Bordeaux II.
- ROBERT A. (1999) Recherches didactiques sur la formation professionnelle des enseignants de mathématiques du second degré et leurs pratiques en classe. *Didaskalia*, n°15, 123-157.
- SÉRÉ M.G. (1985) The gaseous state. In R. Driver, E. Guesne, A. Tiberghien (Eds) *Children's ideas in science*. London : Open University Press.
- SINCLAIR J. & COULTHARD M. (1975) *Towards an analysis of discourse : the English used by teachers and pupils*. Oxford : University Press.
- TYTLER R.T. (1998) Children's conceptions of air pressure: Exploring of conceptual change. *International Journal of Science Education*, vol 20, n° 8, 929-958.

MEN (2002) *Document d'accompagnement des programmes, Enseigner les Sciences à l'école, Cycles 1, 2 et 3*, SCEREN. (CNDP).

MEN (2008) *Horaires et programmes d'enseignement de l'école primaire*. B.O. hors-série n°3 du 19 juin 2008.

Annexes

Annexe 1 A – La description comparée des scénarios des quatre épisodes, communs aux trois séquences, et précédant celui de conclusion

Épisodes	Séquence A	Séquence B	Séquence C
Introduction	A fait une expérience. Il met un mouchoir au fond d'un verre, l'enfonce dans l'eau, ouverture vers le bas. Il remonte le verre, et montre le mouchoir sec.	B anime une discussion en classe entière autour de deux sujets. Où trouve-t-on l'air ? Que savez-vous sur l'air ?	C fait rappeler le contenu de la séquence précédente noté au tableau : « <i>L'air empêche l'eau d'entrer</i> » (dans un verre immergé ouverture vers le bas).
La prescription de la tâche pour le travail en groupes	A dit que les groupes doivent répondre à deux questions. Que s'est-il passé ? Pourquoi le mouchoir ressort sec ? :	B dit que les groupes doivent relever un défi : plonger un mouchoir dans l'eau sans être mouillé. Le matériel est proposé. Les élèves doivent faire l'expérience, puis une affiche du protocole	C dit que les groupes doivent relever un défi et écrit au tableau : « <i>Comment faire entrer l'eau dans un verre ?</i> ». Le verre doit être immergé ouverture vers le bas, Les groupes doivent faire une affiche avec leur protocole.
L'activité en groupes	1 ^{er} temps : Conception d'une affiche 2 ^{ème} temps : mise en œuvre de l'expérience du verre immergé	1 ^{er} temps : Recherche-essai de l'expérience « qui marche » 2 ^{ème} temps : faire l'affiche du protocole testé	Conception d'une affiche avec protocole de l'expérience-défi
Les deux temps de mise en commun des activités de groupes	1 ^{er} temps : Chaque groupe présente son affiche. 2 ^{ème} temps : Rapport oral d'une seule expérience : l'élève dit avoir incliné le verre et l'air s'est échappé.	1 ^{er} temps : Chaque groupe présente son affiche. 2 ^{ème} temps : B demande à un seul groupe de faire, devant les autres, leur expérience réussie. Il s'agit du verre immergé ouverture vers le bas	1 ^{er} temps : Chaque groupe présente son affiche. 2 ^{ème} temps : C fait successivement les 2 types d'expériences extraites des affiches : faire un petit trou sur le côté du verre ou faire un grand trou en haut du verre, et il immerge les verres.

Annexe 1 B – Les scénarios des trois épisodes de conclusion

Épisode conclusion A	<p>A pose oralement la question à la classe : qu'est-ce qu'il y a dans le verre ? Puis il lance la discussion. La classe est debout autour de lui, et d'un aquarium rempli d'eau. Camille tient un verre immergé, ouverture vers le bas. Le dialogue s'oriente vers la bulle d'air enfermée, alors qu'un élève spontanément propose, à la grande satisfaction de A, d'incliner le verre. On le fait, des bulles d'air d'échappent. La discussion conduit à préciser le trajet des bulles qui sortent de l'eau sans être mouillées, et rejoignent l'air de la salle. A résume la discussion en disant que l'air et l'eau sont deux matières qui ne se mélangent pas. Pour finir, A refait l'expérience du verre incliné, fait observer et dire « en chœur » à la classe que l'eau remplace l'air échappé.</p>
Épisode conclusion B	<p>B pose oralement la question à la classe : pourquoi ça fonctionne. Le défi est réussi par le seul groupe sélectionné par B : le verre immergé, ouverture vers le bas. La classe est debout autour de B et d'un aquarium rempli. Alexis, de ce groupe, tient un verre immergé ouverture vers le bas. B le questionne sur la présence ou pas d'air dans le verre immergé, il hésite. Paul spontanément propose, à la grande satisfaction de B, d'incliner le verre. On le fait, des bulles d'air d'échappent, l'eau mouille le mouchoir. Elle est donc rentrée dans le verre. Paul intervient alors en disant avoir mieux réussi le défi. Une controverse s'installe, B l'arbitre et la fait trancher par un vote de la classe sanctionnant le point de vue de Paul. B réinstalle la discussion faisant dégager pas à pas le lien entre la montée de l'eau dans verre et la sortie de l'air. En toute fin d'épisode, spontanément, Sarah dit assimiler. l'air à un bouclier empêchant l'eau d'entrer (dans verre non incliné), ce que B valide et valorise.</p>
Épisode conclusion C	<p>C provoque un retour à l'expérience faite la fois précédente (verre non percé immergé ouverture vers le bas) et pose oralement la question à la classe l'air, il se trouve où ? La classe est debout autour de C et d'un aquarium rempli d'eau. C immerge un verre non percé dans l'aquarium. Le dialogue débouche sur le rôle de l'air qui tel un isolant bloque la montée de l'eau dans le verre immergé. C apporte la métaphore d'un match de boxe entre l'air et l'eau. Nicolas annonce que l'air gagne. C pose la question à la classe du pourquoi. Sous les multiples questions, on avance pas à pas comme raison, que l'air est un gaz, et donc de la matière (au même titre qu'un liquide et un solide) qui bloque la montée de l'eau et qui, selon la métaphore, « gagne le match de boxe », et empêche l'eau de monter. C immerge à nouveau le verre non percé pour illustrer ces propos. Un élève, spontanément, et avec l'accord de C, relance la discussion sur le cas du verre percé. On s'accorde alors pour dire que l'air fuit, par le trou, en bulles, sous les coups de l'eau qui gagne le match de boxe en prenant sa place.</p>

Annexe 2 – Les durées comparées de tous les épisodes des trois séquences

	Séquences		
	A	B	C
Durée de l'introduction	3,5 min	21 min	7 min
Durée de l'activité en groupes	32,5 min	24 min	28 min
Durée de la mise en commun de l'activité en groupes	16 min	6 min	20,5 min
Durée de l'épisode de conclusion	5,5 min	6 min	5 min
Durée totale de la séquence	57,5 min	54 min	61,5 min

Annexe 3 – Exemples d'échanges de différents types avec leur représentation symbolique graphique (colonne du milieu)

Annexe 3.1 – Échange binaire avec intervention initiative du professeur B

E ₂	[<p>36. Professeur B à Justine : Pourquoi y'a pas d'eau ?</p> <p>37. Justine : Bah parce que y'a pas de trou !</p>
----------------	---	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Annexe 3.2 – Échange binaire avec intervention initiative élève que le professeur C s'empresse de reprendre « à son compte » pour faire avancer son propre projet

E ₂	[<p>86. Nicolas ? : Mais quand y' a des trous par contre....</p> <p>87. Professeur C à la classe : Quand y'a des trous, que fait l'air ?</p>
----------------	---	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Annexe 3.3 – Échange ternaire IRF de fin d'épisode (classe du professeur A) dont l'intervention 61(F) est la reprise **en écho** de l'intervention 60 (R) des élèves

E ₃	[<p>59. Professeur A à la classe : C'est-à-dire que... il y avait de l'air, l'air s'est échappé. Qu'est-ce qui a pris sa place ?</p> <p>60. Élèves en chœur : L'eau.</p> <p>61. Professeur A à la classe : L'eau.</p>
----------------	---	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Annexe 3.4 – Échange complexe E5, à cinq interventions, dans l'épisode de conclusion (classe du professeur B)

E ₅	[<p>47. Professeur B à Alexis (qui incline le verre immergé) : Qu'est-ce qu'on a vu là ? Il faudrait que tu ailles plus doucement, c'était quoi ? Qu'est-ce qu'on a vu ?</p> <p>48. Charlotte : Des bulles.</p> <p>49. Justine : Des bulles d'air.</p> <p>50. Alexis : Il est mouillé le mouchoir.</p> <p>51. Professeur B à Alexis : Et pourquoi il est mouillé le mouchoir ?</p>
----------------	---	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Annexe 4 – Les chaînes d'échanges liés³⁷, dans la discussion visant à établir la relation entre la sortie de l'air et la montée de l'eau dans le verre.

Annexe 4A – Les deux chaînes³⁸ d'échanges liés de l'épisode A

E ₃	<div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 2px 5px;"> <p>51. A à la classe : Alors, qu'est-ce qu'il y a dans le verre après... si l'air s'échappe ?</p> </div>	<p>51. A à la classe : Alors, qu'est-ce qu'il y a dans le verre après... si l'air s'échappe ?</p>
	<div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 2px 5px;"> <p>52. Élèves : L'eau, l'eau.</p> </div>	<p>52. Élèves : L'eau, l'eau.</p>
E ₂	<div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 2px 5px;"> <p>53. A à la classe : C'est-à-dire que... donc l'eau... reprend... la place...</p> </div>	<p>53. A à la classe : C'est-à-dire que... donc l'eau... reprend... la place...</p>
	<div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 2px 5px;"> <p>54. Élèves : De l'air.</p> </div>	<p>54. Élèves : De l'air.</p>
E ₃	<div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 2px 5px;"> <p>55. A à la classe : Je l'ai penché complètement, regardez ce qui ressort. – <i>P sort le verre de l'aquarium et le montre plein d'eau et avec le mouchoir.</i></p> </div>	<p>55. A à la classe : Je l'ai penché complètement, regardez ce qui ressort. – <i>P sort le verre de l'aquarium et le montre plein d'eau et avec le mouchoir.</i></p>
	<div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 2px 5px;"> <p>56. Élèves : L'eau, l'eau, ça a grimpé.</p> </div>	<p>56. Élèves : L'eau, l'eau, ça a grimpé.</p>
	<div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 2px 5px;"> <p>57. A à la classe : Donc qu'est-ce qu'il y a dans le verre maintenant ?</p> </div>	<p>57. A à la classe : Donc qu'est-ce qu'il y a dans le verre maintenant ?</p>
E ₃	<div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 2px 5px;"> <p>58. Élèves : De l'eau.</p> </div>	<p>58. Élèves : De l'eau.</p>
	<div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 2px 5px;"> <p>59. A à la classe : C'est-à-dire que... il y avait de l'air, l'air s'est échappé. Qu'est-ce qui a pris sa place ?</p> </div>	<p>59. A à la classe : C'est-à-dire que... il y avait de l'air, l'air s'est échappé. Qu'est-ce qui a pris sa place ?</p>
E ₃	<div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 2px 5px;"> <p>60. Élèves : L'eau.</p> </div>	<p>60. Élèves : L'eau.</p>
	<div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 2px 5px;"> <p>61. A à la classe : L'eau.</p> </div>	<p>61. A à la classe : L'eau.</p>

³⁷ Pour mieux visualiser les échanges successifs liés dans une chaîne, nous avons décalé latéralement leurs représentations symboliques et utilisé des traits noirs et gris.

³⁸ 1^{ère} chaîne = échange ternaire-échange binaire ; 2^{ème} chaîne = les trois échanges ternaires.

Annexe 4B – La chaîne avec 5 échanges liés de l'épisode B

E ₅	46. B à Alexis : Si on incline le verre, vas y tout doucement, vas-y, encore, stop,
	47. B à la classe : Qu'est-ce qu'on a vu là ? il faudrait que tu ailles plus doucement, c'était quoi ? Qu'est-ce qu'on a vu ?
	48. Charlotte : Des bulles.
	49. Justine : Des bulles d'air.
	50. Alexis : Il est mouillé le mouchoir.
E ₄	51. B à Alexis : Et pourquoi il est mouillé le mouchoir ?
	52. Élève : Parce qu'on l'a retourné.
	53. Autre élève : Parce que l'air elle est partie ?
E ₃	54. B à la classe : Bah oui ! Ben Oui, l'air est parti et du coup ?
	55. Justine : En bulles, elle est partie en bulles à cause de l'eau.
E ₅	56. B à la classe : Oui et du coup si l'air elle est partie ?
	57. Sarah : <i>(qui a levé le doigt)</i> Ben il est mouillé.
	58. Autre élève : Y a plus d'air qui protège.
E ₂	59. Sarah : L'eau est rentrée dedans.
	60. B à Sarah : Pourquoi Sarah ?
	61. Sarah : Parce que l'eau il est rentré dedans parce que l'air elle est partie.

Annexe 4C – La chaîne avec 8 échanges liés de l'épisode C

E ₂	86. Nicolas ³⁹ : Mais quand y'a des trous par contre....
	87. C à la classe : Quand y'a des trous, que fait l'air ?
E ₄	88. Élève : Elle gagne.
	89. Nicolas : Elle a reçu tellement de coups... qu'elle peut pas se battre.
	90. C : Chut... et alors qu'est-ce qui se passe dans ce cas-là ?
	91. Élève : Bah le sucre y va fondre.
E ₆	92. C : Qu'est-ce qui se passe dans ce cas-là ?
	93. Élève : Bah l'eau, l'eau... et...
	94. Clément : Elle fuit.
	95. C à la classe : Elle fuit ! Elle fuit comment ?
E ₃	96. Clément : Par le dessus.
	97. C à Clément : Et qu'est-ce qui se passe ? Comment on le sait, comment on le voit ?
E ₃	98. Clément : Bah parce que les bulles....
	99. C à Clément : Les bulles de quoi ?
E ₃	100. Clément et son voisin : D'air.
	101. C : Des bulles d'eau ou des bulles d'air ?
E ₃	102. Élèves : Des bulles d'air, d'air, d'airrrrrrrrrr (<i>en chœur</i>).
	103. C : Des bulles d'air vont s'échapper ! Est-ce que ça, ça va ?
E ₃	104. Élèves : OUI (<i>en chœur</i>).
	105. C à la classe : Bien, allez à votre place ! (<i>Fin de séquence</i>)

³⁹ C'est Nicolas qui ouvre spontanément, avec l'intervention 86, le premier échange E2.