

Étude de l'évolution des idées des élèves de seconde durant une séquence d'enseignement sur les gaz

Damien Givry

▶ **To cite this version:**

Damien Givry. Étude de l'évolution des idées des élèves de seconde durant une séquence d'enseignement sur les gaz. Education. Université Lumière - Lyon II, 2003. Français. NNT : . tel-00797587

HAL Id: tel-00797587
https://theses.hal.science/tel-00797587

Submitted on 6 Mar 2013

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial 4.0 International License

UNIVERSITÉ LUMIÈRE-LYON II

Thèse

Pour obtenir le grade de
Docteur de l'université Lyon II
Spécialité : Sciences de l'Éducation

Présenté par
Damien Givry

Soutenue publiquement le 19 décembre 2003
à Lyon

Étude de l'évolution des idées des élèves de seconde durant une séquence d'enseignement sur les gaz

Préparée sous la direction de
Andrée Tiberghien

Au sein de l'équipe ADIS-LST groupe COAST
UMR 5191 ICAR (Université Lyon II-CNRS-ENS LSH-ENS Lyon-INRP)

Jury

Claudine Larcher	INRP	Rapporteur
Martine Méheut	Université Paris 7	Rapporteur
Nicolas Balacheff	CNRS	Examinateur
Sylvianne Rémi	Université Lyon II	Examinatrice
Andrée Tiberghien	CNRS	Directrice

"**L'Humain, mais bien sûr**, mais comment donc, nous sommes parfaitement d'accord : un jour il se fera !

Un peu de patience, un peu de persévérance : on n'est plus à dix mille ans près. Il faut savoir attendre, mes bons amis, et surtout voir grand, apprendre à compter en âges géologiques, avoir de l'imagination : alors là, l'Humain ça devient tout à fait possible, probable même : il suffira d'être encore là quand il se présentera. Pour l'instant, il n'y a que des traces, des rêves, des pressentiments... Pour l'instant l'Humain n'est qu'un pionnier de lui-même.

Gloire à nos illustres Pionniers !"

Sacha Tsipotchkine

À mon Palou (ce héros malgré lui) et ma Nanette

À mes proches partis beaucoup trop tôt durant ces trois années de thèse : Nicolas, Danielle, Séverine, Coco René, Tati Lulu et Nanette.

Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué de près comme de loin à ce travail et sans qui cette thèse n'aurait probablement jamais pu voir le jour.

Tout d'abord, je tiens à remercier Andrée Tiberghien pour toutes les heures qu'elle a passé à encadrer cette thèse du début à la fin et pour m'avoir appris ce qu'était la recherche en didactique. Merci, de m'avoir fait confiance en me faisant participer aux projets Pégase et outils, et surtout de m'avoir ouvert à la communauté des chercheurs en didactique au niveau international et de m'avoir appris cette exigence qui oblige à aller toujours plus loin, cette rigueur dans l'analyse et cette prudence dans les résultats.

Je tiens à remercier aussi tous les gens de l'équipe COAST, particulièrement Laurent Jeannin, pour sa générosité aussi bien dans la vie que dans la recherche et pour la qualité des discussions que nous avons pu avoir. Asuman Küçüközer, pour les innombrables discussions théoriques que nous avons pu avoir et pour la finesse de ses réflexions. Njoud Tachoua, pour sa bonne humeur, son ouverture d'esprit et la pertinence de ses remarques. Christianne Rolet pour m'avoir éclairé sur bien des domaines. Bernadette Pateyron pour sa sagesse. Arnauld Séjourné pour ses gasconnades et ses nombreux conseils.

Je tiens aussi à remercier Anne-Marie Miguet, pour m'avoir accueilli au sein de sa classe et pour les nombreuses discussions que nous avons pu partager. Ainsi que tous les enseignants du groupe outils, particulièrement Marie-Odile pour sa sympathie, Pierre Gaidioz pour sa passion des élèves et Jacques Vince pour sa rigueur en physique.

Je tiens à remercier tous les membres du groupe ICAR, particulièrement Sylvianne Rémi pour son aide précieuse sur la lexicologie, Michael Baker pour sa grande lucidité, son soutien et ses nombreux conseils sur le débat, Mathieu Quignard pour son aide sur la manière de faire débattre les élèves, Lorenza Mondada pour ses "datas sessions" sur l'analyse vidéos, Catherine Kerbrat-Orecchionni pour son aide sur la notion de contexte, Christian Plantin pour ses explications sur l'argumentation, Serge Heiden pour sa bonne humeur, son soutien et son aide sur la lexicologie, Robert Bouchard pour son aide sur les catégories de Kronos, Daniel

Valero pour son aide sur tous les problèmes informatiques, Robert Pléty pour son regard sur les élèves.

Merci à Martine Méheut pour la pertinence de ses remarques au cours de l'écriture de cette thèse.

Un grand MERCI à Dominique Serre pour son enthousiasme, ses conseils et ses corrections "ortaugrafique".

Je tiens à remercier Martine Méheut et Claudine Larcher pour la lecture de cette thèse qui s'est déroulée dans des conditions pas toujours très évidentes. Sylvianne Rémi pour le regard lexicologique qu'elle apporte sur ce travail et Nicolas Balacheff pour son travail sur la modélisation des connaissances.

Je tiens aussi à remercier tous les gens qui m'ont logé à Lyon durant ses trois années de thèse, particulièrement : Lolo et Peck, Chacha, Cécile, Guitou, Flo, Dédel, Christine, Chloé, Christophe et Karenne, Katy et Thierry, Nadia, Nono, Laurent, Michael, Alex et Estelle et tous les autres.

Un grand Merci à cette utopie qu'est la Villeneuve et dont je suis un pur produit. Merci à tous mes proches qui font ce que je suis :
Mes deux familles : les Feinstein, mon Palou et ma Nanette, ma p'tite maman, mes soeurs : Adeline et Léa, Alain, Sylvie et Mimi, Axel et Martin, Patricia et Jean, Grand loup.
les Givry, Mame, Papierre et Mamie, Monsieur Papa, Claire, Jacques, Gaëtan et Éléonore, Clément et Jeanne.
Mes Potes : Anouchka, Célinette, Adrien, Gille, David, Allan et Juliette, Brunch, Alex et Audrey, Alex et Estelle, Camille et Nordine, Bernard, les frères Milan, Javotte, Antonin, Marina, les collocs (Phil, Mumu, Dedel, Lulu, Pipou et Chacha, Dav et les autres), les chouquettes de Marseille (particulirèrement Yayou) tous les gens de Drogui Most et de la Bosnie (Lapie, Farouck, Allen et Yasco, Guerma, David et Caro, Didier, Murielle et tous les autres). Les Azaniens : Laurence, Karenne, Dj'ay, Dom-Dom, Petit Jean, Guitou, Valoche, Flo, Émilie, Areski. Le 93, les footballeurs de la Villeneuve, les Ribet : Nadia, Skad et Patrick et tous ceux que j'oublie MERCI.

Table des matières

Remerciements 5
Table des matières 7
Introduction générale 11
Chapitre 1. Cadre théorique 15
Introduction 15
1. Hypothèses sur l'apprentissage 15
Introduction 15
1.1 Hypothèses sur l'apprentissage bâties à partir de théories psychologiques 16
1.2 Éléments sur le fonctionnement du savoir en physique et dans l'enseignement 22
1.3 Hypothèses sur les raisonnements des élèves 28
Conclusion 36
2. Les courants du changement conceptuel 36
Introduction 36
2.1 Présentation des courants du changement conceptuel 36
2.2 Les types de modélisation de la connaissance 46
3. Les idées 57
Introduction 57
3.1 Qu'est-ce qu'une idée ? 57
3.2 Comment les idées évoluent-elles ? 67
3.3. Les facteurs de l'évolution des idées 73
Conclusion sur le modèle des idées 77
Conclusion sur notre cadre théorique 77
Chapitre 2. Problématique 79
Introduction 79
Questions de recherche 79
1. Comment évoluent les idées des élèves de seconde au cours d'une séquence d'enseignement sur les gaz ? 79
2. Quels rôles jouent les connaissances préalables dans l'évolution des idées ? 79

3. Quels rôles jouent les situations d'enseignement dans l'évolution des idées ?.....80
Conclusion 81
Chapitre 3. Méthodologie 83
Introduction 83
1. Justification de l'expérimentation retenue.....83
1.1. Choix d'une étude à plusieurs niveaux 83
1.2. Nécessité d'une étude de cas en continue sur une longue durée.....83
1.3. Une étude dans une classe réelle sans intervention de l'observateur 84
1.4. Nécessité de construire une séquence d'enseignement 84
1.5. Abandonner l'idée d'une étude comparative.....85
2. Organisation du recueil des données 86
2.1. Type de données utilisées.....86
2.2. Choix des échantillons 86
2.3. Condition de recueil des données 86
3. Analyse des données.....91
3.1. Choix des données analysées.....91
3.2. Traitement des données de l'étude "globale".....91
3.3. Traitement des données de l'étude "fine" 92
Conclusion 103
Chapitre 4. Analyse des connaissances préalables et de la séquence d'enseignement 105
Introduction.....105
1. Analyse des connaissances préalables des élèves en fonction du programme de Seconde 105
1.1.Connaissance sur le sens de certains mots issus du programme de Seconde.....105
1.2. Aspects particulaires des gaz.....113
1.3. Présence des gaz 113
1.4. Répartition des gaz.....114
1.5. Action des gaz.....114
1.6. Lourdeur 115
1.7. Propriétés des gaz 115
2. Analyse de la séquence d'enseignement sur les gaz 116

Introduction 116
2.1. Présentation du groupe "outils" 116
2.2 Élaboration des textes des modèles à partir du programme 117
2.3. L'analyse de la séquence d'enseignement sur les gaz 119
Conclusion 126
Chapitre 5. Analyse de l'évolution des élèves sur plusieurs classes 127
Introduction 127
1. Mise au point du questionnaire 127
2. Recueil des données 130
3. Analyses et Résultats 132
Introduction 132
3.1 Aspect particulaire des gaz 132
3.2 Répartition des gaz 135
3.3 Action du gaz 147
3.4 Masse d'un gaz 161
Conclusion 166
Chapitre 6. Analyse des idées de deux élèves avant et après l'enseignement 169
Introduction 169
1. Analyse d'Anne 170
1.1 Quelles sont les idées d'Anne avant l'enseignement sur les gaz ? 171
2.2 Quelles sont les idées d'Anne après l'enseignement sur les gaz ? 198
2.3. Comment évoluent les idées d'Anne au cours du temps ? 207
2. Analyse d'Ellen 215
2.1 Quelles sont les idées d'Ellen avant l'enseignement sur les gaz ? 215
2.2 Quelles sont les idées d'Ellen après l'enseignement sur les gaz ? 226
2.3 Comment évoluent les idées d'Ellen à la suite de l'enseignement sur les gaz ? 232
Conclusion sur l'évolution des idées d'Anne et Ellen avant et après l'enseignement 236
Chapitre 7. Analyse des idées de deux élèves pendant l'enseignement en classe 241
Introduction 241
1. Sens des mots 242
1.1. Sens des mots gaz et air 242

Tables des matières

1.2. Le(s) sens du mot pression. 245
1.3. Le(s) sens donné au mot macroscopique....252
2 Aspects particulaires....259
Introduction 259
2.1 Les idées d'Anne et Ellen pendant la première partie de l'enseignement sur les gaz259
2.2 Les idées d'Anne et Ellen pendant la seconde partie de l'enseignement sur les gaz.267
Conclusion générale sur les idées d'Anne et Ellen sur les molécules....275
3. Présence d'un gaz dans une enceinte 276
3.1. L'évolution des idées d'Ellen et Anne sur la présence de l'air dans une enceinte....276
3.2. L'évolution des idées d'Anne et Ellen sur la notion de quantité 286
4. Répartition....298
4.1. Évolution de la répartition des molécules durant l'activité 2....299
4.2. Répartition des molécules durant le mélange de deux gaz....302
4.3. Pour Anne les molécules sont collées aux parois 303
5. Action du gaz....305
5.1. Les idées d'Anne et Ellen sur l'action de l'air 305
5.2. Lien entre l'action du gaz et la pression 305
5.3. Les idées d'Anne et Ellen sur les différents aspects de la pression....306
6. Lourdeur....312
Conclusion sur l'évolution des idées d'Anne et Ellen au cours de l'enseignement....313
Conclusion sur le rôle des éléments du milieu....325
1. Le rôle des échanges entre les individus 325
2. Le rôle de l'expérience 327
3. Le rôle des supports didactiques....328
Conclusion 331
Résultats de l'analyse des élèves sur plusieurs classes 333
Résultat de l'analyse de l'évolution des idées d'Anne et Ellen avant/après....334
Résultats de l'évolution des idées d'Anne et Ellen au cours de l'enseignement 335
Comparaison des données avant/après avec les données pendant....340
Quelques perspectives....344
Référence bibliographique....347

Introduction générale

**"Au commencement était le verbe. Puis le sujet
et le complément vinrent à la rescousse
et tout cela prit un sens."
Bernard Lherbier.**

Au début des années 1970, la plupart des recherches en didactique des sciences se sont centrées sur les conceptions des élèves. Très vite, ces travaux ont identifié un certain nombre de conceptions d'élèves sur différents thèmes, notamment en France, à propos des circuits électriques (Tiberghien et Delacôte 1976, Closset 1983), de la mécanique (Viennot 1979), des gaz (Séré 1985 ; Chomat, Larcher & Méheut 1988) ou encore de la lumière (Kaminski 1989). Comme en témoigne l'importante bibliographie faite à l'IPN de Kiel par Duit (2002), ces nombreux travaux sur les conceptions ont produit un noyau de résultats extrêmement stables dans des domaines très variés de la physique. Les travaux didactiques sur les raisonnements des élèves se sont ensuite élargis en prenant en compte de nouveaux aspects, comme la motivation (Weinert & Kluwe 1987, Pintrich 1999, Osborne & al. 2003), la métacognition (Brown 1987, Gunstone 1992), les rôles de l'argumentation et de l'explication (Stinner 1993, Newton & al. 1999, Driver & al. 2000, Martin & al. 2001), ou encore le rôle de la représentation de la science des élèves et des professeurs (Solomon 1992, Désautels et Larochelle 1998). Ces différents travaux commencent à fournir un ensemble de résultats permettant de mieux cerner les multiples facteurs susceptibles de jouer un rôle dans l'apprentissage des élèves.

Cependant, l'ensemble des résultats accumulés sur les raisonnements des élèves soulève la question de savoir comment les utiliser dans le cadre de l'enseignement. Pour répondre à cette question Scott, Asoko & Driver (1992) présentent différentes stratégies utilisées dans l'enseignement afin de faire évoluer les conceptions des élèves. Ces stratégies sont regroupées selon deux pôles. Le premier se fonde sur le conflit socio-cognitif et le second sur le développement d'idées compatibles avec le point de vue scientifique. Pour illustrer ce deuxième point, on retiendra l'approche de Niedderer (1987), qui ne vise pas à

remplacer les théories des élèves (basées sur la pensée quotidienne) par une théorie scientifique et qui permet en revanche aux élèves de prendre conscience de ces deux théories et d'apprendre des concepts scientifiques. L'ensemble des stratégies proposées par Scott, Asoko & Driver (1992) se base essentiellement sur les conceptions des élèves et ne tienne quasiment pas compte des autres éléments susceptibles de jouer un rôle dans l'apprentissage des élèves (comme la motivation, la métacognition, l'argumentation...). On trouve essentiellement en France un certain nombre de travaux, qui tout en utilisant les résultats sur les conceptions, se basent entre autres sur l'activité de modélisation pour développer des séquences d'enseignement (Chomat, Larcher & Méheut 1988, Martinand & al. 1992, Tiberghien 1994, Méheut 1996, Guillaud 1998, Buty 2000, Vince 2000).

La prise en compte des résultats de recherche, aussi bien pour l'élaboration d'un enseignement, que pour l'étude du rôle que joue cet enseignement sur l'apprentissage effectif des élèves, nous paraît essentielle. Notre recherche s'inscrit dans cette perspective et porte sur l'évolution des élèves de Seconde au cours d'une séquence d'enseignement sur les gaz. Cette séquence a été construite lors d'un travail de recherche et développement auquel nous avons participé, ce qui nous permet de pouvoir aborder, dans de bonnes conditions, l'étude des facteurs responsables de l'évolution des élèves. Ainsi, la problématique de notre recherche porte sur le rôle que joue la séquence d'enseignement sur les gaz dans l'apprentissage des élèves de seconde.

Cette problématique d'ordre général guide le plan que nous allons suivre. Dans un premier temps (chapitres 1), nous allons définir notre cadre théorique et préciser ce que nous reprenons des travaux provenant :

- des courants psychologiques sur l'apprentissage,
- des réflexions épistémiques sur l'apprentissage,
- de la didactique des sciences sur les raisonnements des élèves et sur les différents types de modélisation de l'apprentissage issus des théories du changement conceptuel.

Cette première partie nous permettra, dans un second temps (chapitre 2), de formuler de façon plus précise nos questions de recherche, puis de spécifier la méthodologie adoptée pour les traiter (chapitre 3).

Nous présenterons les résultats de notre travail à propos de :

- l'analyse des connaissances préalables des élèves et de la séquence d'enseignement sur les gaz élaborée au sein du groupe de recherche-développement (chapitre 4),
- l'analyse de l'évolution des élèves sur plusieurs classes (chapitre 5),
- l'analyse de l'évolution des idées de deux élèves avant et après l'enseignement (chapitre 6),
- l'analyse de l'évolution des idées de deux élèves pendant l'enseignement (chapitre 7).

Chapitre 1. Cadre théorique

"Il y a ma vérité,
il y a ta vérité
et il y a la vérité."
(proverbe du Burkina Faso)

Introduction

La perspective de cette étude est de connaître le rôle d'un enseignement sur l'apprentissage des élèves. Pour rendre compte de ce rôle, cette recherche nécessite de prendre comme objet d'étude les relations entre les situations d'enseignement, le comportement des élèves et leurs acquisitions. Le cadre théorique que nous allons développer, va conditionner notre méthodologie pour analyser l'interaction de l'élève et de son environnement dans le cas d'un enseignement de physique sur les gaz. Nous proposons, dans un premier temps, de présenter les hypothèses sur l'apprentissage, que nous adoptons dans le cadre de cette étude. Dans un second temps, nous nous positionnerons par rapport aux principaux travaux sur les théories didactiques du changement conceptuel et nous étudierons les différents types de modélisations proposés afin de déterminer la plus adaptée pour mener à bien notre étude. Enfin, dans un troisième temps, nous présentons notre modèle *des idées,* en spécifiant notamment ce qu'est une idée, ainsi que comment elle évolue. Nous finissons en présentant comment l'utilisation de la notion de milieu issue de la théorique des situations didactiques de Brousseau (1998) permet d'étudier les facteurs responsables de l'évolution des idées.

1. Hypothèses sur l'apprentissage

Introduction

Cette partie présente notre point de vue sur l'apprentissage. Pour cela, nous précisons les hypothèses sur l'apprentissage que nous adoptons à partir des théories issues de la psychologie. Puis, nous présentons des hypothèses sur l'apprentissage liées aux spécificités du fonctionnement du savoir en physique. Pour finir, nous utiliserons les résultats de travaux en didactique pour bâtir des hypothèses sur les raisonnements des élèves.

1.1 Hypothèses sur l'apprentissage bâties à partir de théories psychologiques.

Le but de cette partie est de faire un rapide tour d'horizon des différentes théories psychologiques sur l'apprentissage, afin de définir les hypothèses de base que nous adoptons. La plupart des approches didactiques sur l'apprentissage se basent sur les travaux des psychologues. C'est pourquoi, nous pensons que ce rapide tour d'horizon, devrait nous permettre de situer notre approche didactique par rapport à ces différents courants.

Rapide aperçu des principaux courants théoriques de la psychologie

Depuis la naissance de la psychologie dans les années 1880 jusqu'à nos jours, de nombreuses théories ont été élaborées, leurs buts étaient de fournir des représentations permettant de comprendre les conduites humaines. Parmi les courants émergeant de l'entre deux guerres, on trouve le **béhaviorisme**. Pour ce courant, l'apprentissage consiste en une modification du comportement ; l'enjeu est alors d'étudier les modifications des conduites (directement observables) en relation avec des modifications de l'environnement. Ces études se centrent sur la caractérisation des entrées (stimuli) et des sorties (réponses) sans se préoccuper du fonctionnement interne de l'individu. À la même période se développe le courant du **gestaltisme** connu aussi sous le nom de psychologie de la forme. Ce courant, radicalement opposé au béhaviorisme, "développe l'idée que le tout n'est pas la somme des parties ;" car "ce qu'il y a en plus dans le tout, ce sont les relations entre les parties" (Sorsana 1999, p.17). De plus, il envisage que les activités "intelligentes" consistent seulement en l'appréhension des relations.

Le **cognitivisme** arrivera plus tard, dans les années 1950. Il "se caractérise par une focalisation sur l'intérieur du système cognitif, sa structure et son fonctionnement. Le postulat majeur d'une telle approche est que si on connaît le système, on pourra dire ce qu'il peut faire et pourquoi il le fait" (Weil-Barais 1993, p. 41). À l'intérieur de ce courant, on peut distinguer deux approches par leur représentation du système cognitif : le cognitivisme computationnel (représentant le système cognitif par des connaissances calculables et des règles de calcul) et le cognitivisme structural (représentant le système cognitif par des structures et des mécanismes de fonctionnement de ces structures).

Le **cognitivisme computationnel** se centre sur la représentation du flux informationnel qui entre dans le système cognitif et sur le traitement de celle-ci. L'esprit

humain est modélisé sous la forme d'un système de traitement de l'information. Ce courant théorique, en adoptant le postulat de base que penser c'est transformer l'information, donnera lieu au développement d'une psychologie dite du "traitement de l'information". Très vite, ce courant fera appel à l'informatique pour modéliser le traitement de l'information, faisant ainsi émerger le courant travaillant sur l'*intelligence artificielle* (I.A.).

Le **cognitivisme structural s**era porté par les travaux de Piaget, notamment sur l'épistémologie génétique, dont naîtra le courant du "constructivisme", qui défend l'idée que les connaissances ne sont pas acquises à la naissance, mais construites par l'individu au cours de sa vie. De plus, le structuralisme piagétien repose sur une idée fondamentale : le système cognitif est un système auto-organisé, c'est-à-dire que, étant donné ses caractéristiques initiales, il évolue nécessairement vers des états d'équilibre du fait même qu'il fonctionne. Il s'agit donc de décrire les caractéristiques initiales du système, les mécanismes de fonctionnement et les états d'équilibre.

Vingt ans après naîtra le courant du **connexionisme.** Il utilise les sciences du cerveau comme modèle de description de l'émergence des compétences cognitives. Le postulat essentiel du connexionisme pose que les états mentaux ne seraient pas descriptibles en termes de connaissances, d'intentions, de buts ou de croyances comme le fait la psychologie cognitive, mais que l'esprit humain pourrait être modélisé par un système constitué de grands réseaux d'entités très simples (appelés "processeurs", "neurones", ou encore "nœuds") interconnectées et opérant en parallèle.

Il faut remonter au début du 20ème siècle avec, notamment les travaux de Vygotski pour voir émerger une définition sociale de la cognition. Ces travaux seront à la base du développement du courant de la psychologie **socioculturelle**. L'idée centrale de cette approche est que le fonctionnement et le développement des fonctions psychologiques supérieures de l'individu (dont évidemment le maniement des connaissances conceptuelles scientifiques) dérivent des interactions sociales. De ce courant émergera dans les années 1980 la **cognition située**. Cette approche considère l'apprentissage comme une modification des pratiques sociales, apprendre revient à s'intégrer socialement dans les pratiques d'un milieu professionnel, ce qui nécessite de s'approprier l'héritage culturel, et d'être capable de tenir un discours avec ses pairs.

À la suite de une étude plus détaillée sur les théories psychologiques de l'apprentissage, Weil-Barais (1993, p. 483) précise qu'à "l'heure actuelle, il semble impossible de pouvoir rendre compte par une seule théorie de la multitude de données dont on dispose sur les différentes formes d'apprentissage". C'est pourquoi, nous faisons le choix de sélectionner parmi les différentes théories, les hypothèses sur l'apprentissage qui nous semblent les mieux adaptées pour mener à bien notre étude.

Nos hypothèses de base sur l'apprentissage

Cette partie propose de nous situer par rapport aux travaux de Piaget, de Vygotski, et ceux de la cognition située, en précisant les hypothèses de base que nous adoptons de ces différentes théories.

Hypothèses de base issues des travaux de Jean Piaget (1861-1980)

Les travaux de Piaget (1970) s'intéressent à l'épistémologie génétique, dont le but est "de chercher à dégager les racines des diverses variétés de connaissances dès leurs formes les plus élémentaires et de suivre leur développement " (p. 6). On trouve dans ces travaux, notamment l'idée que les connaissances sont construites par l'individu en s'adaptant à son milieu. Cette adaptation nécessite la modification de certains schèmes, définis comme des invariants au niveau des actions. Piaget décrit cette modification à l'aide de deux mécanismes : l'assimilation et l'accommodation. Pour Piaget, l'adaptation intellectuelle est "une mise en équilibre progressive entre un mécanisme assimilateur et une accommodation complémentaire" et "l'adaptation n'est achevée que lorsqu'elle aboutit à un système stable, c'est-à-dire lorsqu'il y a équilibre entre l'assimilation et l'accommodation" (Piaget 1963, p.13). Sans reprendre la notion de schème, ni les mécanismes d'adaptation, nous adoptons l'hypothèse que **l'individu construit ces connaissances en s'adaptant à son milieu et plus particulièrement en interagissant avec les objets du monde matériel.**

De plus, Piaget (1972) distingue dans le développement des structures de l'intelligence des individus, quatre stades : sensori-moteur, symbolique, concret et formel. Pour lui, les stades ont un caractère intégratif, ce qui signifie que les structures construites à un niveau donné sont intégrées dans les structures du niveau suivant. Nous adoptons l'hypothèse que **les nouvelles connaissances se construisent à partir des connaissances préalables de**

l'individu, sans pour autant adopter la structuration du développement de l'intelligence en termes de stades.

On reproche notamment à la théorie de Piaget d'être trop centrée sur l'action et de ne pas prendre assez en compte le rôle du langage et des interactions sociales. C'est pourquoi, nous allons adopter d'autres hypothèses issues du courant du socio-constructivisme.

Hypothèses de bases issues de Vygotski (1896-1934)

L'idée centrale de la psychologie socioculturelle est que le fonctionnement et le développement des fonctions psychologiques supérieures de l'individu dérivent des interactions sociales. Ce paradigme considère que l'apprentissage des concepts scientifiques passe par une internalisation au plan intrapsychique par le sujet, d'un discours partagé par d'autres personnes, se situant au plan interpsychique. Nous adoptons cette hypothèse que nous reformulons par **une connaissance avant d'être "internalisée" par un individu est externe et partagée par plusieurs personnes**.

Pour que cette internalisation ait lieu, l'individu doit être aidé. Selon la vigoureuse formule de Bruner (1985, p. 32) "il n'y a aucune façon, aucune, pour qu'un être humain puisse maîtriser ce monde sans l'aide et l'assistance des autres, parce qu'en fait ce monde c'est les autres". Pour nous, **l'internalisation d'une nouvelle connaissance passe forcément par le langage et plus généralement la médiation.** Toutefois à cette médiation s'ajoute une autre condition : celui qui aide doit se situer dans une zone où un développement est à la fois possible avec une assistance et impossible sans cette assistance, la Zone Proximale de Développement. Pour nous, **la construction de nouvelles connaissances par un individu nécessite qu'elles ne soient pas trop éloignées de ses connaissances initiales**.

Dans son travail Vygotski différencie les concepts spontanés, des concepts scientifiques. En effet, pour lui "le développement des concepts scientifiques doit immanquablement prendre appui sur un certain niveau de maturation des concepts spontanés" (Vygotski 1998, p.289-290). Nous adoptons l'hypothèse que **l'individu construit ses connaissances scientifiques à partir de ses connaissances quotidiennes.** Cependant, nous n'adhérons pas à l'idée, selon laquelle "les concepts scientifiques ne se développent pas du tout comme les concepts quotidiens" (Vygotski 1998, p.276), ni à une hiérarchisation entre les

concepts scientifiques qui seraient supérieurs aux concepts spontanés. Nous partons de l'hypothèse qu'il n'y a pas de différence fondamentale dans le développement de ces concepts. C'est pourquoi, dans le cadre de notre travail, nous ne cherchons pas à établir de hiérarchisation entre les concepts.

Pour étudier la relation qu'entretient la pensée avec le langage, Vygotski va choisir comme unité de base le mot, car pour lui "la pensée ne s'exprime pas dans le mot, mais s'y réalise" (Vygotski 1998, p. 493). Pour lui, la signification sert à faire le lien entre la pensée et l'expression verbale. À ce propos, nous adoptons, pour la suite de notre travail, la distinction faite entre sens et signification : le sens "représente l'ensemble de tous les faits psychologiques que ce mot fait apparaître dans notre conscience. Le sens d'un mot est ainsi une formation toujours dynamique, fluctuante, complexe, qui comporte plusieurs zones de stabilité différente. La signification n'est qu'une des zones du sens que le mot acquiert dans un certain contexte verbal, mais c'est la zone la plus stable, la plus unifiée, et la plus précise..." (Vygotski 1998, p. 480). En résumé, Vygotski place le langage au cœur de l'apprentissage et considère que l'étude de la pensée passe par l'analyse de la signification des mots.

Hypothèses de base issues de la cognition située

La théorie de la cognition située considère que les significations sont dans les pratiques sociales avant d'être dans "la tête" des individus. Le sens se construit dans les échanges en référence à des contextes particuliers. Aussi, au plan psychologique, les connaissances sont toujours situées. Le caractère décontextualisé de certaines connaissances, comme les connaissances scientifiques, n'est qu'une exception, et ceci n'est qu'un idéal spécifique à une culture auquel ne parvient qu'une minorité d'individus. Pour ce courant, devenir médecin, c'est rentrer dans une communauté de pratique, ce qui nécessite d'apprendre à tenir un discours "médical" pour pouvoir interagir avec les personnes avec lesquelles on travaille. Ce discours sera différent, s'il est tenu par la même personne dans un hôpital, dans une ambulance ou dans un cabinet médical. Les concepts sont donc des outils linguistiques, et plus exactement discursifs, permettant d'agir concrètement dans des dispositifs bien établis. C'est pourquoi, la signification des concepts n'est pas absolue, mais elle doit être cherchée dans les pratiques sociales qui entourent les concepts. Nous rejoignons complètement l'approche de la cognition située sur ce point.

Jean Lave est une représentante importante du courant de la cognition située. Comme le précise Annick Weil-Barais (1993, p. 513) : "Jean Lave défend l'idée que les connaissances se forment dans des activités ayant une finalité sociale. Elles prennent sens par rapport à la finalité des actions et non pas par rapport aux concepts scientifiques ni par rapport à des organisations conceptuelles extérieures au sujet, élaborées par des communautés d'experts qui en discutent et développent une épistémologie à leur propos". En d'autres termes, Jean Lave invite les psychologues de la cognition à abandonner l'étude du sujet épistémique pour aborder l'étude de l'homme situé socialement et historiquement. Le point de vue de Lave (1988) est qu'il n'existe pas d'invariants conceptuels et que toutes les connaissances sont situées. Pour elle, que les connaissances préalables ne sont pas pertinentes pour étudier la gestion d'une situation par le sujet.

Sans pour autant adopter une position aussi tranchée, nous préférons envisager que le discours est une action située s'adaptant sans cesse au contexte (Roth 1998) et que la même connaissance d'un individu pourra prendre des formes très différentes en fonction des situations. Nous adoptons l'hypothèse que **les connaissances sont internalisées par un individu dans les échanges en référence à des contextes particuliers**. Cette hypothèse n'empêche pas que les connaissances construites à travers des échanges entre des individus à propos de situations particulières soient réutilisées par un individu dans d'autres situations (jouant ainsi le rôle de connaissances préalables).

Conclusion sur nos hypothèses de base sur l'apprentissage

Voici un résumé des hypothèses de base que nous adoptons pour le reste de notre étude :

- L'individu est le propre architecte de ses connaissances, il doit être actif pour les construire.

- L'individu construit de nouvelles connaissances en interagissant avec les objets du monde matériel.

- L'individu construit de nouvelles connaissances à partir de ses connaissances préalables.

De manière plus spécifique :

-L'individu construit ses connaissances scientifiques à partir de ses connaissances quotidiennes et de ses connaissances scientifiques déjà acquises.

-La construction de nouvelles connaissances par un individu nécessite qu'elles ne soient pas trop éloignées de ses connaissances initiales.

-Une connaissance avant d'être "internalisée" par un individu est externe et partagée par plusieurs personnes (qui ne l'ont pas nécessairement internalisée).

-Cette internalisation passe forcément par le langage et plus largement par une médiation.

De plus,

-Les connaissances sont internalisées par un individu dans les échanges en référence à des contextes particuliers.

Nos hypothèses se basent essentiellement sur les travaux de Vygotski et Piaget. À ce propos, Vergnaud (2000) signale que "la plus grande différence au fond est que Piaget privilégie l'interaction de l'enfant avec le monde des objets physiques et prend comme première référence l'action matérielle sur et avec les objets, tandis que Vygotski privilégie l'interaction de l'enfant avec autrui et prend comme référence le langage" (p.88). De plus, "on ne peut pas opposer radicalement Piaget et Vygotski, sauf peut-être sur le dernier point : celui du langage" (Vergnaud 2000, p.87). Cependant, nous ne rejetons pas l'idée que les actions matérielles avec les objets jouent aussi un rôle important. Nous considérons simplement que le langage occupe une place centrale dans l'apprentissage.

1.2 Éléments sur le fonctionnement du savoir en physique et dans l'enseignement

Dans la partie précédente, nous avons adopté des hypothèses issues de travaux en psychologie. Ces travaux traitent de l'apprentissage en général et ne tiennent pas compte des spécificités liées aux contenus disciplinaires. Notre étude s'intéresse à l'apprentissage de la physique et plus particulièrement à celui des concepts relatifs aux gaz. C'est pourquoi, il nous faut tenir compte d'un certain nombre de spécificités liées à cette discipline. Dans un premier temps, nous nous appuyons sur des aspects épistémologiques en particulier sur la façon dont se construisent les concepts scientifiques, pour ensuite pouvoir tenir compte de certaines particularités de la physique liées à l'activité de modélisation. Dans un second temps, nous

étudions le rôle que peut jouer la représentation sémiotique des concepts. Dans un troisième temps, nous aborderons le rôle de la transposition didactique.

Un regard épistémique sur la formation des concepts

Dans le but de mieux cerner certaines spécificités du fonctionnement des sciences, il apparaît particulièrement intéressant de regarder comment est envisagée la formation des concepts scientifiques. Pour cela, nous nous sommes basés sur les travaux du philosophe Allemand Ernst, datant de 1910, proposant des éléments pour une théorie du concept. Son travail est parti de l'étude de la logique formelle en philosophie des mathématiques, pour ensuite s'élargir à des concepts de la physique et de la chimie, relevant de la "connaissance de la réalité" (Cassirer 1977, p.8). L'étude de ces concepts va l'amener à faire la distinction entre les concepts *catégoriels,* qui sont " la résultante de processus d'abstraction, c'est-à-dire (de) l'extraction d'une composante identique ou, au moins, semblable, extraite d'une pluralité de perceptions homogènes."(Cassirer 1977, p.225) et les concepts *relationnels,* qui sont définis par les relations qu'ils entretiennent avec d'autres concepts. En d'autres termes comme le signale Weil-Barais (1993, p. 441), le concept *catégoriel* revient à adopter une approche empiriste des concepts. Ainsi, le concept de CHIEN se forme après avoir rencontré de nombreux individus de cette espèce que l'entourage désigne par le mot "chien". Ce qui revient à envisager la formation du concept comme d'une association entre un ensemble d'attributs et un mot. Or cette approche se révèle inadaptée pour décrire des concepts *relationnels* mathématiques ou scientifiques. En effet, le concept d'ÉNERGIE en physique est un concept unificateur permettant de rendre compte d'un nombre considérable d'interactions mettant en jeu des phénoménologies diverses (mécaniques, électriques, lumineuses, thermiques...). L'énergie n'a de sens que reliée à d'autres grandeurs physiques, c'est en ce sens qu'il s'agit d'un concept relationnel. À partir de cette distinction, Cassirer proposera de développer *une psychologie des relations*. En partant de cette approche envisageant les concepts en termes de relations, nous proposons d'étendre ce point de vue, en considérant l'apprentissage comme l'établissement de nouveaux liens. Ces liens peuvent, bien entendu, être de natures différentes. En effet, il est possible d'envisager la formation d'un nouveau lien entre des concepts de la physique, mais aussi entre des mots ou encore entre un concept et une situation matérielle. Notons que cette position n'exclut pas les évolutions mettant en jeu la généralisation d'une notion, car là aussi de nouveaux liens entre le concept et son champ d'application sont en jeu.

En conclusion, nous partons du point de vue de Cassirer sur la formation des concepts scientifiques et nous l'élargissons en considérant qu'apprendre revient à établir des liens. Ces liens peuvent être de nature très différente et il nous importe autant que possible de pouvoir les spécifier.

L'activité de modélisation dans la construction des connaissances en physique

Après avoir envisagé la formation des concepts scientifiques à travers leurs aspects relationnels, nous proposons maintenant de nous intéresser plus spécifiquement à la construction des connaissances en physique par le biais de l'activité de modélisation. Un des buts de la physique est d'essayer de rendre compte du fonctionnement du monde qui nous entoure. Pour cela, les physiciens construisent des modèles permettant de décrire, voire de prédire, un certain nombre de phénomènes. Une importante recherche, menée au sein du LIREST (laboratoire didactique des sciences et techniques), a été effectuée sur l'utilisation de la modélisation dans l'enseignement (Martinand et al. 1992 & 1994). Cette recherche soulève la question du rôle de la modélisation dans l'apprentissage des élèves. En partant entre autres de travaux en épistémologie (Bunge 1973, Bachelard 1979, Giere 1988) sur l'activité de modélisation, Tiberghien (2000) propose des hypothèses sur la construction des connaissances en physiques. En effet, pour elle, cette construction passe par la mise en relation du monde des théories et des modèles avec le monde des objets et des événements. De plus, elle distinguera à l'intérieur du monde des théories et des modèles, les connaissances qui sont issues de la physique et celles provenant de la vie quotidienne (Figure 1.1).

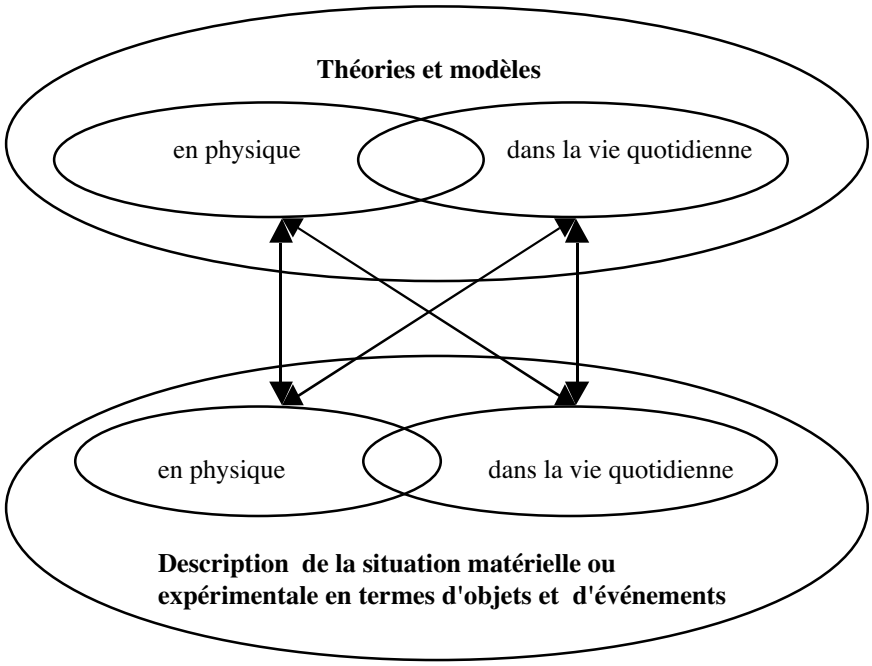


Figure 1.1 : Les liens entre le monde des objets/événements et celui des théories/modèles (Tiberghien & Vince à paraître 2004).

Cette approche permet d'envisager l'hypothèse que faire établir des liens entre le monde des objets/événements et celui des théories/modèles favorise la construction des connaissances physiques par les élèves et bien sûr des liens internes à chacun de ces mondes (Tiberghien 2000). Nous ajoutons que l'établissement de ces liens nécessite de faire la distinction entre ce qui relève du modèle et ce qui appartient au monde des objets et des événements. Il est important de préciser que le monde des objets et événements n'est pas la réalité mais ce que perçoit l'individu de cette réalité. Cette perception n'est accessible au chercheur qu'à travers les verbalisations des individus à propos des objets et des événements. Un autre aspect de ce travail est d'envisager un fonctionnement différent entre les théories de la physique et celles qui sont développées dans le quotidien.

Les registres sémiotiques

Le développement des théories en physique s'appuie en grande partie sur les mathématiques, ce qui nécessite d'envisager des spécificités dans l'apprentissage provenant de l'activité mathématique elle-même. Une des spécificités de cette discipline est de faire appel à différents systèmes sémiotiques (langage naturel, langues symboliques, graphes, figures géométriques...) pour représenter les concepts. Selon Duval (1995), les systèmes sémiotiques

servant à la représentation de connaissances doivent permettrent d'accomplir trois activités cognitives inhérentes à toute représentation. "Tout d'abord, constituer une trace ou un assemblage de traces perceptibles, qui soient identifiables comme *une représentation de quelque chose* dans un système déterminé. Ensuite, transformer les représentations par les seules règles propres au système de façon à obtenir d'autres représentations pouvant constituer un apport de connaissance par rapport aux représentations initiales. Enfin, convertir les représentations produites dans un système en représentations d'un autre système de telle façon que ces dernières permettent d'expliciter d'autres significations relatives à ce qui est représenté." (p. 21). Tout système sémiotique permettant ces trois activités est appelé **registre de représentation sémiotique** ou plus simplement registre sémiotique.

En physique, il est fréquent qu'un concept soit représenté dans des registres sémiotiques différents. Ceci conduit à prendre particulièrement en compte trois phénomènes étroitement liés (Duval 1995) :

- **la diversification des registres de représentation sémiotique**, c'est-à-dire la nécessité de distinguer les différents systèmes de représentation (le langage naturel, le langage symbolique, les schémas, les figures géométriques, les graphes cartésiens, les tableaux...), car ils posent chacun des questions d'apprentissage spécifiques ;

- la différenciation entre représentant et représenté. Cette distinction est généralement associée à la compréhension de ce qu'une représentation représente. Cette distinction peut permettre d'associer à un représenté d'autres représentations. Ceci semble n'être jamais acquis d'emblée quel que soit le registre de représentation et quel que soit le stade de développement.

- **la coordination entre les différents registres sémiotiques**, c'est-à-dire la connaissance de règles de correspondance entre les systèmes mobilisés et utilisés ensemble. Un obstacle majeur à une mise en place spontanée de cette coordination est l'importance des phénomènes de non-congruence entre les représentations produites dans des systèmes différents.

Chaque registre permet de mettre en oeuvre des aspects différents d'un même concept et la compréhension d'un concept passe par la mise en relation des différents registres sémiotiques qui le représentent. Par exemple pour le concept de force, on aura (figure 1.2) :

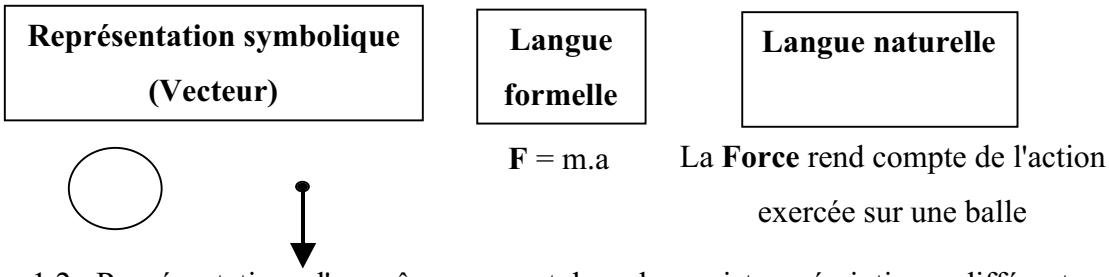


Figure 1.2 : Représentations d'un même concept dans des registres sémiotiques différents

Chacun de ces registres met en évidence des propriétés différentes du concept de force. Par exemple, la représentation vectorielle permet de préciser la direction et le sens de la force. La description en langue formelle de la force à l'aide de la formule F = m.a montre l'aspect relationnel de ce concept avec d'autre grandeur physique. La langue naturelle peut faire apparaître la distinction entre ce qui relève du modèle (la force) et ce qui relève des objets et des événements (l'action exercée sur une balle).

Ces différents exemples nous amènent à considérer que la compréhension d'un concept physique nécessite, d'une part d'être capable de représenter un concept dans différents registres sémiotiques et d'autre part de pouvoir mettre en relation les différentes représentations de ce concept.

La transposition didactique

Nous adoptons la distinction faite par Chevallard (1991) entre la connaissance, qui se place du point de vue d'un individu, et le savoir, qui se place du point de vue d'une institution. À ce propos, Chevallard précise qu'un savoir n'existe pas "in vacuo" dans un vide social : tout savoir apparaît, à un moment donné, dans une société donnée, comme ancré dans une ou des institutions. Pour qu'un savoir puisse "vivre" dans une institution, il faut qu'il se soumette à un certain nombre de *contraintes* que lui impose cette institution. Parmi ces contraintes, il y a la manipulation transpositive qui permet à un savoir de passer d'une institution à une autre. Chaque fois qu'un savoir est transposé, il subit un certain nombre de transformations afin qu'il puisse s'adapter à "sa" nouvelle institution. Le savoir scientifique ne peut pas être enseigné tel quel aux élèves et toute la difficulté de l'enseignement réside dans la transformation d'un savoir pour le rendre "enseignable". Pour cela, il doit d'abord être transposé de l'institution productrice de ce savoir à une institution transpositive qui va transformer l'objet de savoir en

objet à enseigner. Ensuite il doit être transposé dans une institution d'enseignement, qui transformera l'objet à enseigner en objet enseigné. Comme le précise Perrin-Glorian (1999) : si la théorie anthropologique "permet de pointer la conformité ou non aux rapports institutionnels de rapports personnels à des objets de savoir, puisqu'elle les distingue, elle n'a pas de moyen de décrire les conditions de leur émergence pour un sujet de l'institution en position d'élève" (P. 289). En clair, la faiblesse de cette théorie est qu'elle évite toute référence à une théorie de l'apprentissage (Rouchier 1996, cité par Perrin-Glorian 1999). Compte tenu du fait que notre étude se centre sur l'apprentissage des élèves, nous n'utilisons pas l'ensemble de la théorie anthropologique pour mener à bien cette étude. Cependant, nous reprenons un certain nombre d'éléments de cette théorie pour décrire la construction de la séquence d'enseignement sur les gaz, notamment les notions de savoir savant, savoir à enseigner et savoir enseigné.

En conclusion, voici les hypothèses que nous adoptons à propos du fonctionnement du savoir en physique. La plupart des concepts scientifiques se forment par une mise en relation avec d'autres concepts. C'est pourquoi, la nature relationnelle de ces concepts nous conduit à envisager l'apprentissage en termes de lien. Ces liens peuvent être de différentes natures. Compte tenu du fonctionnement spécifique de la modélisation, nous considérons que la mise en relation du monde des théories et des modèles avec celui des objets et des événements est nécessaire pour l'apprentissage de la physique. De plus, la représentation d'un même concept dans des registres sémiotiques différents nous conduit à poser que l'établissement de liens entre ces différents registres est nécessaire à l'apprentissage de ce concept. Pour finir, un savoir scientifique nécessite un certain nombre de transpositions avant de devenir "enseignable" et l'apprentissage d'un concept sera conditionné par ces transpositions. Toute la difficulté de l'enseignement réside dans la transformation des concepts afin de faciliter leur apprentissage par les élèves.

1.3 Hypothèses sur les raisonnements des élèves

Nous présentons dans un premier temps des résultats sur les élèves qui ne se limitent pas à un domaine particulier de la physique, pour dans un second temps, nous centrer sur les connaissances initiales des élèves sur les gaz.

Les raisonnements des élèves en termes de causalité

Un grand nombre de résultats issus de disciplines aussi variées que l'histoire des sciences (Kuhn 1971), la psychologie (Piaget 1974) ou encore la didactique des sciences (Tiberghien 1980 ; Anderson 1986 ; Viennot 1993) montre que la plupart du temps les individus raisonnent en utilisant la causalité. Ainsi, ils expliquent les phénomènes en identifiant une cause qui est associée à un effet : la pierre bouge (effet) parce qu'on l'a lancée (cause). Devant l'ampleur de l'utilisation de la causalité par les élèves pour interpréter les phénomènes du monde qui nous entourent, certains didacticiens (Viennot 1996, Tiberghien à paraître) insistent sur la nécessité de prendre en compte la causalité dans l'apprentissage des sciences. Nous proposons de dresser une typologie rapide des différentes causalités, en nous basant entre autres sur l'ouvrage "*les théories de la causalité*" de Bunge, Halbwachs, Kuhn, Piaget & Rosenfeld (1971).

Causalité simple

La causalité simple (Bunge 1971) comme son nom l'indique, représente la causalité sous sa forme la plus simple. Elle se définit par la phrase : à une cause donnée est associée un effet donné. Ce type de raisonnement est très fréquemment utilisé dans la vie quotidienne et se retrouve même en science. En effet, comme le précise Halbwachs (1971, p. 51) : "la causalité s'introduit dans la science en raison de son pouvoir d'explication au plan épistémique".

De plus, "il est une circonstance qui se rencontre si fréquemment qu'on peut se demander si on n'atteint pas là une règle générale, c'est la connexion de *réciprocité des relations causales"*. (Halbwachs 1971, p. 72). C'est-à-dire que dans le cas d'une causalité simple (**A→A'**) à un moment donné et sous certaines conditions, il vient toujours un moment où l'on peut observer des phénomènes correspondant à la relation inverse (**A'→A**) (idem, p.72).

Deux fonctionnements de la causalité simple

De plus comme le signale Tiberghien (à paraître) on retrouve fréquemment chez les élèves deux fonctionnements de la causalité simple :

- la causalité matérielle d'Aristote présentée par Kuhn (1971) : le matériau ou plus généralement ce qui est "interne" à l'objet est la cause des propriétés ou des actions de l'objet. Par exemple, lorsqu'on tape dans un punching-ball rempli de plumes, il monte plus haut qu'un punching-ball rempli de sable ; les plumes qui constituent le punching-ball étant la cause.

- le raisonnement plus-plus décrit par diSessa (1987) : "plus d'effort implique plus de résultat" (p. 12). Par exemple, plus on va lancer une pierre fort et plus elle va aller loin.

Pluralité au sein des rapports causaux

Comme le précise Bunge (1971) il peut y avoir une pluralité au sein des rapports causaux, c'est-à-dire qu'à une cause est associée plusieurs effets ou qu'à un effet sont associées plusieurs causes. Cette pluralité est fréquente en physique, par exemple l'endroit (effet) où va tomber une pierre que l'on a lancée dépend de plusieurs causes : l'action initiale exercée sur la pierre, les frottements avec l'air, l'attraction terrestre... Cependant, une grande partie des élèves interprète les phénomènes à l'aide de la causalité simple (Tiberghien 1980, Anderson 1986, Viennot 1993). En effet, il est très rare de rencontrer des raisonnements envisageant une pluralité des causes ou des effets, et cela même chez les enseignants (Givry 2003).

Causalité linéaire

Prenons le cas d'une pile (A) dans un circuit (qui fait circuler du courant dans des fils (B)), qui font eux-même tourner un moteur (C) faisant du vent (D). Cette succession d'événements peut être décrite par la chaîne causale : A→B→C→D. Et bien, la causalité linéaire peut être considérée comme une chaîne causale dont chaque maillon est constitué par une relation de causalité simple. (Halbwachs 1971, p. 54).

Causalité retardée ou simultanée

La compréhension de raisonnements, utilisant une chaîne de causalité linéaire passe par l'analyse de chacune des relations de causalité simple qui la composent. Il est particulièrement intéressant de regarder le lien entre la causalité simple et son déroulement dans le temps. Halbwachs (1971, p.55-56) précise que la causalité simple se caractérise par une "relation d'ordre" entre la cause qui précède l'effet. Cependant cette relation d'ordre doit être distinguée de l'ordre temporel. En effet, pour lui il y a des moments où la cause et l'effet se déroulent simultanément (causalité simultanée) et des moments où la cause se produit avant

l'effet (causalité retardée). Ces deux définitions de la causalité proviennent d'une réflexion d'Halbwachs sur le fonctionnement de la physique. Il est intéressant de voir que cette distinction est particulièrement adaptée pour rendre compte de certaines difficultés des élèves. Comme le montre Viennot (1993), le temps est une variable privilégiée pour les élèves et il n'est pas rare de les voir séquentialiser dans le temps des événements qui se déroulent simultanément. Par exemple, ils interpréteront à l'aide de la formule PV = nRT, le fait qu'un ballon contenant de l'air se gonfle, en expliquant que dans un premier temps la température augmente, ce qui va entraîner une augmentation de la pression, qui aura pour conséquence de faire augmenter le volume du ballon, alors que du point de vue de la physique ces trois grandeurs varient simultanément. Nous pensons que les élèves auront tendance à utiliser la causalité retardée, là où la physique utilisera la causalité simultanée, particulièrement pour les relations mettant en jeu plusieurs variables comme F=ma, U=RI, PV=nRT...

En conclusion, cette partie montre l'importance de la causalité dans les raisonnements des individus. La causalité peut prendre des formes assez différentes (simple, linéaire, retardée...) et il est important de savoir utiliser la bonne pour interpréter correctement les situations. En effet, il apparaît que les élèves utilisent couramment la causalité retardée, là où la physique utilise la causalité simultanée. Nous faisons le choix d'adopter l'hypothèse que la plupart des élèves raisonnent en utilisant la causalité simple.

Les conceptions des élèves sur les gaz

L'approche socio-constructiviste considère que les connaissances initiales jouent un rôle important dans la construction de nouvelles connaissances. C'est pourquoi, l'étude de l'apprentissage des concepts relatifs aux gaz par des élèves de seconde nécessite de connaître leurs connaissances préalables sur ce sujet. Dans ce but, nous proposons de faire, dans un premier temps, un tour d'horizon des travaux didactiques sur les conceptions des élèves sur les gaz ; dans un second temps, nous proposons des hypothèses sur les raisonnements des élèves de seconde sur les gaz. Ces hypothèses sont susceptibles d'être modifiées au cours de notre travail, notamment à la suite de l'analyse des réponses des élèves.

1-Rapide tour d'horizon des travaux didactiques sur les conceptions des élèves sur les gaz

Pour présenter ce tour d'horizon, nous avons regroupé les résultats en fonction d'un certain nombre de thèmes. Nous avons fait le choix de ne pas trop expliciter les conceptions, car nous reviendrons sur certaines plus en détail dans le reste de cette recherche.

Matérialité du gaz

La plupart des élèves de 6ème savent que l'air est présent dans un bocal ouvert et qu'il occupe tout l'espace dont il dispose (Séré 1985). Cependant, pour ces élèves, l'air ne semble exister que lorsqu'il est en mouvement (Séré 1985), ce résultat est retrouvé chez de jeunes élèves italiens âgés de 6-7 ans par Borghi et al. (1988). De plus, on constate une certaine difficulté pour les élèves à considérer l'air comme étant de la matière (Plé 1997).

Masse d'un gaz

Un des principaux aspects de la matérialité des gaz est qu'ils possèdent une masse. Cependant, pour la plupart des élèves âgés de 11 à 13 ans l'air ne pèse pas et une petite partie d'entre eux considère qu'il allège les objets (Séré 1985). Ces résultats sont retrouvés pour des élèves israéliens du même âge (Stavy 1988). Cependant, les réponses des élèves varient en fonction du type de situations proposées par la question. Cette étude montre aussi que des élèves plus âgés (14-15 ans) vont considérer que l'air a une masse. (Stavy 1988).

Quantité de gaz

Un travail sur des élèves de CM2 montre que la quantité de gaz n'est pas conservée dans la plupart des situations faisant intervenir la compression, la dilatation, le transvasement (Weil-Barais, Séré & Landier 1986). Une autre étude effectuée sur des élèves de 6ème-5ème montre que, pour un petit nombre d'entre eux, l'air se faufile partout, même à travers les parois des objets. Cependant, à la suite de l'enseignement sur les gaz, la conservation de la quantité d'air semble être acquise pour les situations de compression et de transvasement. En revanche ce n'est pas le cas pour les situations où la température varie (Séré 1985). D'autres travaux menés sur des élèves de 4ème montrent que très peu d'entre eux tiennent compte de la conservation de la quantité pour décrire une compression (Chomat, Larcher, Méheut 1988)

L'action du gaz

Pour le physicien, les gaz agissent sur tous les objets avec lesquels ils sont en contact. Ceci est loin d'être une évidence pour les élèves de 6ème-5ème. En effet, ils considèrent que les gaz n'agissent que lorsqu'ils sont en mouvement, et cela aussi bien pour des gaz se trouvant dans une enceinte fermée (par exemple une seringue) que "libre" (par exemple l'air atmosphérique) (Séré 1985). Il semble que pour les élèves anglais âgés 17-18 ans, l'air enfermé dans une pipette remplie d'eau a des propriétés différentes de celles de l'air libre (De Berg 1992). De plus, selon une autre étude Anglaise sur les effets de l'air atmosphérique, il apparaît que pour la plupart des élèves âgés respectivement de 12, 14 et 16 ans, l'air atmosphérique n'agit pas dans la plupart des situations proposées (Clough et Driver 1986). Ces résultats rejoignent ceux de Séré (1985) montrant que pour la plupart des élèves l'air immobile n'agit pas et l'air en mouvement agit. De plus, les élèves considèrent qu'un gaz qui est "simplement" enfermé dans une enceinte n'agit pas. En effet, ils envisagent que le gaz ne peut agir que si l'on exerce une action dessus, particulièrement si on le compresse ou si on le chauffe. De plus, pour la plupart des élèves interrogés dans cette étude, les gaz dans une enceinte n'exercent de forces que dans une seule direction :

-lorsque le gaz est compressé, il agit particulièrement dans la direction du mouvement du piston ou de la force exercée,

-lorsque le gaz est chauffé, les élèves utilisent la connaissance quotidienne "l'air chaud monte", ce qui favorise l'action du gaz dans la direction verticale ascendante, ou encore celle qui s'éloigne le plus du point où l'on chauffe (Séré 1985).

Répartition du gaz

Les gaz n'ont pas de forme propre, et adoptent la forme du récipient qui les contient. Ils ont la propriété d'être expansibles, ce qui signifie qu'ils se répartissent de manière homogène dans le récipient qui les contient. La plupart des élèves de 6ème-5ème interrogés par Séré (1985) considèrent que si l'on met un petit peu d'air dans une grande boîte vide d'air, il va occuper toute la boîte. Cependant, ces mêmes élèves ne réinvestissent pas cette propriété d'expansibilité dans les situations de chauffage. Une autre étude réalisée sur des étudiants de DEUG à l'université montre que la plupart d'entre eux considèrent que deux gaz mis dans la même enceinte ne se mélangent pas et chacun occupe une partie du volume (Barlet & Plouin

1997). D'autres travaux réalisés aux État-Unis sur plus de 600 élèves allant du niveau grade 2 (7-8ans) jusqu'à l'université, montre que jusqu'au grade 12 (c'est-à-dire juste avant l'université), la plupart des élèves représentent l'air comme n'étant pas réparti de manière homogène (c'est-à-dire répartie à un endroit spécifique) lorsque l'on vide une bouteille d'air à moitié (Benson, Wittrock & Baur 1993). De plus, cette étude montre que l'air est dessiné comme un ensemble continu par la plupart des élèves de grade 10 (16-17ans) et qu'il faut attendre le grade 11 (17-18ans) pour que la majorité utilise une représentation particulaire de l'air. Une étude plus récente menée au Venezuela, montre que les trois quarts des étudiants interrogés pensent que la répartition d'un gaz que l'on refroidit ne sera pas homogène (Niaz 2000). D'autres travaux que nous ne détaillerons pas retrouvent ce type de répartition localisée des gaz (Novick et Nussbaum 1978 ; Chomat, Larcher & Méheut 1988 ; Noh et Scharmann 1997). En conclusion, nous retiendrons que la plupart des élèves ne considèrent pas que les gaz se répartissent de manière homogène.

Aspect particulaire des gaz

Le modèle microscopique du gaz est particulièrement utile pour rendre compte du comportement des gaz. Cependant, plusieurs travaux illustrent les difficultés qu'éprouvent les élèves à réinvestir ce modèle (Novick et Nusbaum 1981, Chomat, Larcher & Méheut 1988, Séré & Moppert 1989) et il semble que les élèves de quatrième font appel plus facilement aux molécules dans leurs dessins que dans leurs explications (Barboux, Chomat, Larcher Méheut 1987). D'autres travaux menés aux États-Unis sur des élèves de différentes classes allant du grade 4 jusqu'à l'université (Benson, Wittrock & Baur 1993), montrent que ce n'est qu'à partir du grade 11 (17-18ans) que plus de la moitié des élèves utilise des représentations microscopiques de l'air. De nombreux travaux semblent montrer que les élèves attribuent des propriétés macroscopiques à des objets microscopiques, par exemple les molécules d'un gaz gonflent quand on le chauffe. (Novick & Nussbaum 1978, Brook, Briggs & Driver 1984, Gabel, Samuel & Hunn 1987, Séré & Moppert 1989, Méheut & Chomat 1990, Méheut 1994). Un petit nombre de travaux se sont intéressés à l'utilisation de simulation dynamique pour décrire le modèle microscopique des gaz. Ces travaux montrent que les élèves de 4ème ont du mal à percevoir les chocs des molécules sur les parois et qu'un certain nombre relie la variation de la pression à la densité des molécules (Méheut 1996).

Approche systémique

Beaucoup d'élèves ont des difficultés pour raisonner en termes de différence de pression. En effet, il semble qu'ils ne prennent en compte qu'un seul système (Séré 1985, Clought & Driver 1986, Méheut 1990, de Berg 1992). Ceci a pour conséquence que les élèves attribuent au vide la propriété d'agir et notamment d'aspirer les objets comme une ventouse, ou un liquide avec une paille (Séré 1985, Clought & Driver 1986, Rollnick & Rutherford 1990).

2-Hypothèses sur les raisonnements des élèves en Seconde

Les travaux sur les conceptions que nous avons présentés, concernent des élèves de pays et de niveau différents. À partir de ces travaux, nous avons élaboré les hypothèses suivantes sur les raisonnements des élèves de seconde à propos des gaz :

- Pour la plupart des élèves de seconde les gaz existent même lorsqu'ils sont immobiles.

- La plupart des élèves de seconde considère que le gaz n'a pas de masse et une petite partie considère que le gaz allège les objets qui les contient.

- Pour la plupart des élèves de seconde la quantité d'un gaz n'est pas conservée dans les situations de chauffage.

- La plupart des élèves de seconde considère qu'un gaz enfermé dans une enceinte n'agit que lorsqu'une action extérieure est exercée dessus

- La plupart des élèves de seconde considère que l'action du gaz se fait dans une direction privilégiée (vers le haut quand on le chauffe et dans la direction du mouvement lorsqu'on le compresse).

- Pour la plupart des élèves de seconde les gaz ne se répartissent pas de manière homogène dans une enceinte.

- La plupart des élèves de seconde n'utilise pas un modèle microscopique.

- La plupart des élèves de seconde attribue des propriétés macroscopiques aux molécules.

- La plupart des élèves de seconde ne raisonne pas en comparant plusieurs systèmes et n'utilise pas la différence de pression pour interpréter les situations.

Conclusion

Dans cette partie, nous avons précisé les hypothèses sur l'apprentissage que nous avons adoptées pour mener à bien notre étude. Tout d'abord, en nous basant sur les différents travaux psychologiques sur l'apprentissage, nous avons adopté un certain nombre d'hypothèses se situant dans le courant du socio-constructivisme. Ensuite, en nous appuyant sur certaines considérations à propos du fonctionnement du savoir en physique, nous avons décidé d'envisager l'apprentissage en termes de lien. Ceci nous a permis de faire émerger deux hypothèses d'apprentissage de la physique. La première porte sur la nécessité d'établir des relations entre le monde des théories/modèles et le monde des objets/événements et la seconde sur celle d'établir des liens entre les différents registres sémiotiques qui représentent un concept. Pour finir, nous avons regardé des travaux didactiques sur les raisonnements des élèves. Ces travaux nous ont permis d'adopter l'hypothèse que les élèves raisonnent essentiellement à l'aide de la causalité et qu'ils utilisent un certain nombre de raisonnements particuliers sur le comportement des gaz.

2. Les courants du changement conceptuel

Introduction

Le but de notre étude est de regarder les effets d'une séquence d'enseignement sur l'apprentissage des élèves. Les différents travaux en didactique sur le changement conceptuel s'intéressent aux étapes de l'évolution et/ou aux facteurs responsables de l'évolution des connaissances initiales des élèves. Nous proposons de présenter les principaux travaux de ce courant, tout en nous situant par rapport à eux. Le but de cette présentation est de choisir parmi les différents types de modélisation proposés, celle qui sera la plus pertinente pour mener à bien notre étude.

2.1 Présentation des courants du changement conceptuel

Après avoir fait un rapide rappel des travaux sur les conceptions, nous présenterons les principaux travaux du changement conceptuel.

2.1.1 Les conceptions

Comme le signale Tiberghien (2002) dans la synthèse des connaissances naïves au savoir scientifique, les premiers travaux sur les conceptions en didactique des sciences se sont déroulés dans les années 1970. Leur but était de mieux connaître les connaissances préalables des élèves, leurs difficultés pendant l'apprentissage et les acquis après enseignement. Malgré l'utilisation d'approches théoriques peu élaborées et assez différentes, il est apparu que ces travaux "ont produit un noyau de résultats extrêmement stables, d'un chercheur à un autre, d'un pays à un autre au moins dans les pays de culture occidentale, et d'un élève à un autre." (Tiberghien 2002, p.25-26). En effet, il est apparu rapidement que les "erreurs" des élèves n'étaient pas le fruit du hasard ou de l'inattention, mais qu'elles provenaient de raisonnements cohérents pour les élèves. Ces raisonnements d'élèves ont été baptisés de différentes façons suivant les courants théoriques : représentation, conception, misconception, alternative framework...

Selon Clément (1994), le terme "représentation" aurait été utilisé dès le 18ème siècle et se serait imposé en sciences sociales avec le concept de "représentations sociales". Cependant, il précise que c'est surtout en psychologie cognitive qu'il sera le plus repris et que son utilisation soulève la question des liens avec la mémoire. À ce sujet, Richard (1990) établit à propos des "représentations" une distinction entre les structures de connaissances stabilisées en mémoire à long terme et les structures transitoires liées à la mémoire de travail. En se basant sur cette distinction, tout en trouvant que la définition de représentation n'est pas stabilisée chez les psychologues, Clément (1994) distingue : les conceptions, qui sont associées à la mémoire à long terme et les conceptions conjoncturelles, qui sont mobilisées (en mémoire de travail) dans une situation précise (dialogue, apprentissage réalisation d'une tâche) (Clément 1994, p.20-21).

L'utilisation du terme "misconception" d'un côté et celui de "conception" ou "alternative framework" de l'autre renvoie à un débat qui a eu lieu au sein de la communauté des didacticiens. En effet, les connaissances des élèves qui ne sont pas en accord avec la physique peuvent être considérées par le chercheur : soit comme des connaissances fausses (paradigme des misconceptions de Confrey 1987), soit comme des connaissances qui peuvent être pertinentes, mais qui se révèlent inadaptées à la situation (paradigme de l'erreur de

Brousseau 1976). Nous pensons que le paradigme des misconceptions revient à donner un statut épistémologique particulier aux connaissances erronées. Nous ne partageons pas ce choix car nous n'avons trouvé aucun résultat de recherche attestant que les élèves utilisent leurs connaissances "erronées" de façon différente des connaissances "correctes" du point de vue de la physique.

Comme en témoigne l'énorme bibliographie établie par Duit (2002) contenant plus de 7000 références sur les conceptions des élèves et des enseignants, le courant de la recherche en didactique s'est fortement intéressé aux conceptions. Comme le soulignent Buty & Cornuéjols (2002), la plupart de ces études mettent en avant l'incorrection des conceptions initiales vis-à-vis de la physique et seul un petit nombre attribue l'origine de ces conceptions à des pseudo-théorisations de la vie quotidienne. Dans tous les cas, la plupart de ces études s'accorde sur la persistance des conceptions initiales même après enseignement. Cette forte persistance a amené certains travaux à s'interroger sur les facteurs responsables de l'évolution des conceptions initiales vers des connaissances scientifiques.

2.1.2. Les théories du changement conceptuel

Des travaux essayant de découvrir les mécanismes responsables de l'évolution des connaissances ont contribué à l'élaboration d'une théorie didactique de l'apprentissage des sciences nommée *changement conceptuel* (conceptual change en Anglais). Posner et ses coauteurs posèrent la base de ce courant en 1982. En partant des travaux traitant des changements théoriques dans l'histoire des sciences (Kuhn 1970, Lakatos 1970 & Toulmin 1972), ils établirent un parallèle entre les changements historiques et les changements se déroulant au sein des individus. Ceci leur permit de proposer quatre conditions nécessaires au changement conceptuel (Posner & al. 1982) :

1. Les conceptions actuellement utilisées par l'apprenant doivent être de son point de vue insatisfaisantes.
2. Une nouvelle conception doit être intelligible.
3. Une nouvelle conception doit apparaître a priori plausible.
4. Une nouvelle conception doit pouvoir suggérer la possibilité de recherches fructueuses.

Nouveaux facteurs pour le changement conceptuel

À la suite de ces premiers travaux, le terme changement conceptuel, prendra des sens extrêmement divers dans les recherches en didactique (Duit 1999). La théorie du changement conceptuel a été révisée par Strike & Posner (1992) dans le sens d'une plus grande prise en compte des divers facteurs d'une "écologie conceptuelle". Ceci signifie que le changement conceptuel ne se limite plus à des conditions portant uniquement sur le contenu, mais qu'il doit tenir compte des facteurs motivationnels (Pintrich 1999), ainsi que du rôle que peut jouer la vision de la science ou de l'enseignement, aussi bien chez l'apprenant que chez l'enseignant. De plus, de nombreux travaux venant de la didactique (White & Gunstone 1989, Chi 1992, Adey 1999, Aufschnaiter 2001), montrent l'importance du rôle de "la métacognition" dans le changement conceptuel. On peut définir la métacognition comme étant les connaissances qu'ont les individus de leur capacité, de leur fonctionnement et de leurs connaissances elles-mêmes. Son importance a d'abord été soulignée par Flavell, en 1977, à propos d'études sur la mémoire chez l'enfant, en montrant que la capacité de mobiliser des stratégies de mémorisation efficaces était corrélée avec la capacité qu'avaient les enfants à s'exprimer à propos des ces stratégies. Actuellement de nombreux travaux se développent sur la métacognition (Brown 1987, Weinert & Kluwe 1987, Gunstone 1992, Chin & Brown 2000), mais sans nier leur importance, nous faisons le choix de ne pas aborder pas cet aspect dans notre recherche.

Critique du terme "changement conceptuel"

Dans les premières publications, Posner et ses coauteurs (1982), posent la question : "sous quelles conditions un concept central va-t-il être remplacé par un autre ?" (p.213) et associent ainsi le terme changement conceptuel au fait de remplacer une connaissance par une autre. Comme le signale Duit (1999, p. 270) "on doit insister sur le fait qu'il n'y a pas une seule étude recensée dans les deux grandes bibliographies de recherche sur les conceptions des étudiants (Carmichael et al., 1990 ; Pfundt et Duit, 1999) dans laquelle une conception particulière de l'espèce profondément enracinée disparaisse complètement pour être remplacée par une idée nouvelle". De plus, Buty & Cornuéjols (2002, p. 53) insistent sur le fait que le mieux qu'on obtient est un remplacement "périphérique" d'une conception et donc que le changement conceptuel observé se présente non comme un remplacement mais comme le développement de nouvelles idées, valables au moins au début dans d'autres contextes, les anciennes gardant leur validité dans les contextes de la vie quotidienne.

Un changement progressif décrit de plusieurs façons

Au début de son développement, la théorie du changement conceptuel défendait l'idée d'un changement en profondeur des structures cognitives, rejoignant ainsi l'accommodation de Piaget. Cependant, il est difficile d'obtenir des résultats montrant des changements radicaux. En effet, la plupart des travaux montre des changements progressifs. Vosniadou (1994) envisage que la radicalité du changement sur un temps assez long provient de microchangements progressifs distribués tout au long de ce temps.

D'autres travaux se basant sur les conditions de Posner & al. (1982) envisagent le changement conceptuel en termes de statut (Hewson & Hewson 1992, Petri & Niedderer 1998, Hewson & Lamberger 2000). Le statut d'une conception est déterminé par le degré d'importance relatif aux conditions de Posner & al. (1982) : *intelligible, plausible fructueuse*. Le statut peut être envisagé comme la puissance intellectuelle accordée par l'apprenant à ses conceptions. Cette définition permet d'envisager un changement progressif : la conception scientifique gagnant en statut ce que la conception initiale perd. En résumé, le statut permet de faire une description du changement conceptuel en fonction de l'importance accordée aux conditions de Posner.

Une autre manière de procéder pour décrire le changement conceptuel est de regarder, pour une conception donnée, l'ensemble des situations dans laquelle l'élève l'utilise. Thagard (1992, p. 248) propose un ensemble de critères permettant de rendre compte de la "cohérence exploratoire" d'une hypothèse (hypothèse est à prendre dans le sens d'une conception d'élève) :

- How much does the hypothesis explain?
- Are its explanations economical?
- Is the hypothesis similar to ones that explain similar phenomena?
- Is there an explanation of why the hypothesis might be true?

Ces critères permettent aussi d'évaluer la pertinence d'une hypothèse face à une autre. Thagard insiste sur le premier critère : la "largeur" exploratoire d'une nouvelle théorie (the explanatory breadth of the new theory, dans le texte), qu'il considère comme le facteur le plus important. Cette notion "de largeur exploratoire" d'une théorie rejoint la notion de domaine de

validité d'une conception (Minstrell 1992, Balacheff 1999). En effet, le domaine de validité d'une conception est "l'ensemble des situations qui appellent la mise en oeuvre de la conception considérée". (Balacheff 1999, p. 227). L'abandon de l'utilisation d'une conception "quotidienne" au profit d'une autre plus "scientifique" sera interprété par une diminution du domaine de validité de la conception "quotidienne" et d'une augmentation du domaine de validité de la conception "scientifique".

Le courant de l'étude des "processus d'apprentissage" (learning processes)

Parmi les nombreux travaux sur le changement conceptuel, une petite partie s'est orientée vers l'étude des processus cognitifs de l'apprentissage. Ce nouveau courant en didactique porte le nom de *Learning process*. Il regroupe un petit nombre de travaux issus de la didactique de la physique dont la plupart viennent d'Allemagne. L'originalité de cette orientation est d'essayer d'inférer à partir de phénomènes observés empiriquement, des processus du fonctionnement cognitif à l'aide de théories issues de la psychologie cognitive. Niedderer, Goldberg & Duit, (1991) décrivent les différentes méthodologies pouvant être utilisées pour suivre l'apprentissage et précisent que l'étude des processus ne peut se faire que par la prise continue de données durant l'apprentissage. Ceci place la prise de données par la vidéo au cœur de leurs dispositifs. À l'intérieur de ce courant, il est intéressant de remarquer que la description des processus d'apprentissage se base, suivant les auteurs, sur des éléments théoriques différents, notamment :

- sur les modèles de la mémoire pour décrire les éléments stables et les éléments en cours de construction (Niedderer & Schecker 1992, Niedderer 2001),
- sur la théorie des raisonnements par analogie en utilisant la notion de source et de cible, pour décrire la mobilisation des connaissances (Wilbers & Duit 2001)
- sur la neurobiologie pour décrire la connaissance en termes de complexité des liaisons (Fischer & Aufschnaiter 1992, Aufschnaiter 2001).

Nous proposons maintenant de nous arrêter sur certains aspects des travaux de Niedderer (1) et de von Aufschnaiter (2), car ils vont nous permettre, par la suite, de nous situer par rapport aux travaux de didactique sur les processus d'apprentissage.

1. Niedderer (2001)

En se basant sur des données empiriques relatives au comportement des apprenants en situation de classe, Niedderer (2001) conclut que pour envisager la connaissance en termes de structure cognitive il faut utiliser certains modèles de la mémoire (figure 1.3).

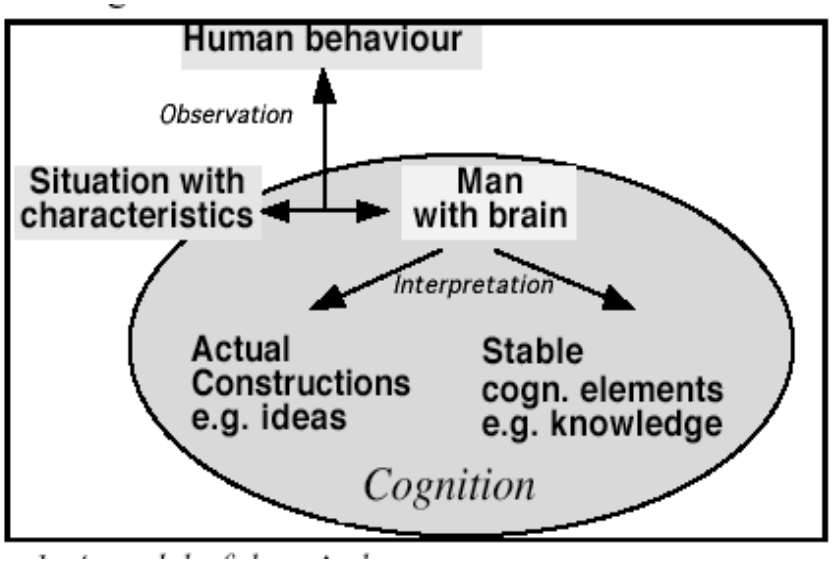


Figure 1.3 : Un modèle de la mémoire (Niedderer 2001, p. 3)

À partir de ces modèles de la mémoire, Niedderer propose de distinguer les éléments cognitifs *en cours de construction* (de l'ordre de la seconde) et les éléments cognitifs *stables*, dont la "stabilisation" est envisagée sur des durées allant de l'heure au mois, voire à l'année. À partir de cette distinction, il envisage l'apprentissage comme étant la modification des éléments stables.

2. Von Aufschnaiter (2001)

Von Aufschnaiter adopte une approche similaire, qui distingue les processus des structures. Il utilise cette distinction pour situer son travail par rapport à d'autres approches, qu'il résume dans le tableau suivant :

	Processes	**Structures**	**Structural Changes**
Piaget	assimilation	schema	accommodation
Adey	construction of knowledge	schema	metaconstruction of new schema
diSessa & Sherin	reading out information	coordination class (p-prim)	development of "new" coordination classes
Marton & Booth	experience the world	ways of understanding	development of new ways of understanding
von Aufschnaiter & al.	construction of meaning	cognitive tool	development of cognitive tools

Tableau 1.1 : différents positionnements par rapport au processus d'apprentissage

Il précise notamment que :

-en accord avec Marton et Booth (1997), il considère que le monde "interne" et le monde "externe" ne peuvent pas être envisagés comme séparés durant les processus cognitifs.

-comme Adey (1999), il envisage le développement des structures cognitives en termes de "méta" processus.

-le développement du sens se déroule dans des intervalles allant de la seconde à la minute alors que le développement d'outils cognitifs est considérablement plus long (allant de l'heure au mois).

-dans son modèle, les différentes classes de coordinations (diSessa & Sherin 1998) ainsi que les différentes façons de comprendre (ways of undersanding) les phénomènes spécifiques (Marton & Booth, 1997) peuvent être assignées aux différents niveaux de complexité.

Dans son approche, Aufschnaiter envisage la construction du sens par rapport à trois variables : le contenu (physique, biologie...), la complexité et le temps (figure 1.4).

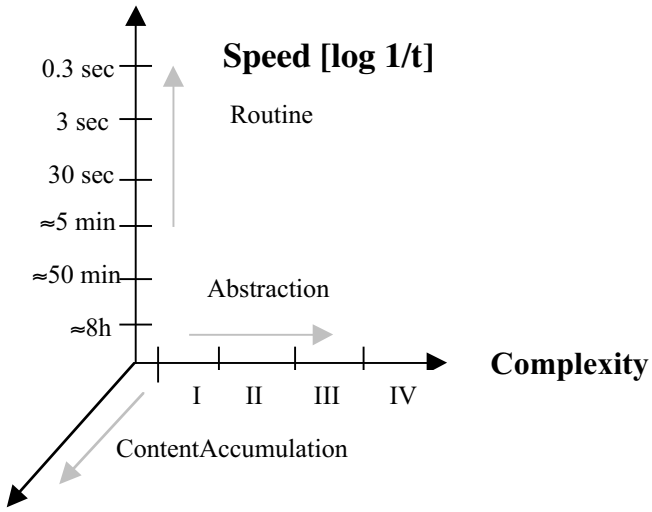


Figure 1.4 : Développement dans un espace à trois dimensions (Aufschnaiter 2001, p. 200)

Dans cette figure, la construction du sens est envisagée selon plusieurs niveaux de complexité. À partir de travaux basés sur des vidéos d'élèves en classe, Aufschnaiter distingue quatre niveaux différents :

I Construction du sens par rapport à des objets concrets (objets, aspects, opérations)

II Construction du sens par rapport à une propriété invariante parmi plusieurs objets ou situations (propriétés et événements)

III Construction du sens à propos d'une variable simple ou de la co-variation entre deux variables (programmes et principes)

IV Construction du sens à propos des co-variations entre plus de deux variables (connections, systems)

Maintenant que nous avons fait un rapide tour d'horizon des travaux sur le changement conceptuel, nous proposons de préciser la position que nous adoptons pour la suite de notre étude.

2.1.3. Quels sont nos choix par rapport aux théories du changement conceptuel ?

Compte tenu du nombre important de résultats montrant qu'une connaissance n'était pas remplacée par une autre, mais que les deux cohabitaient chez un même individu, nous préférons utiliser le terme "évolution de connaissance" plutôt que celui de changement

conceptuel. De plus, en accord avec Vosniadou (1994), nous pensons que la radicalité de l'évolution des connaissances à long terme dépend de microchangements intervenus dans le court terme. Nous faisons le choix de décrire ces microchangements en termes de domaine de validité (Minstrell 1992, Balacheff 1999) plutôt qu'en termes de statut (Hewson & Hewson 1992). C'est pourquoi, nous envisageons que l'évolution d'une connaissance quotidienne vers une connaissance scientifique du point de vue du chercheur, passe simultanément par la diminution du domaine de validité de la connaissance quotidienne et l'augmentation de celui de la connaissance scientifique. Cette évolution des domaines de validité passe par l'utilisation de la connaissance scientifique à la place de la connaissance quotidienne dans chacune des situations où la connaissance scientifique est pertinente. Dans ce cas, nous parlerons "*d'évolution situationnelle*". Les connaissances quotidiennes des élèves possèdent un très grand domaine de validité, qui s'est développé au cours d'expériences personnelles dans des situations variées. L'utilisation d'autres connaissances nécessite qu'un changement s'opère sur un grand nombre de ces situations. Ceci pourrait expliquer en partie la grande résistance au changement des connaissances quotidiennes.

Comme le précisent Strike & Posner (1992), les facteurs du changement conceptuel ne se limitent pas au seul contenu, ils dépendent aussi de la métacognition, de la motivation, ainsi que de la vision de ce que doit être la science. Nous sommes convaincus de l'importance que peuvent jouer ces différents aspects. Cependant, dans le cadre de notre étude, nous faisons le choix de ne pas traiter les facteurs liés à ces aspects (métacognition, motivation...). En effet, nous nous limiterons à l'étude des éléments avec lesquels l'élève interagit durant l'enseignement.

Nous nous considérons comme très proches du courant de l'étude des processus d'apprentissage. En effet, nous utilisons des méthodologies poursuivant les mêmes objectifs : analyser finement les raisonnements des élèves en situation de classe. La différence essentielle est que nous nous limitons à la description du fonctionnement des élèves sans chercher à le rattacher à des processus cognitifs, même si dans certains cas nous les utilisons dans nos interprétations.

2.2 Les types de modélisation de la connaissance

Dans la partie précédente, nous avons choisi d'utiliser la notion de domaine de validité pour rendre compte de l'évolution des connaissances des élèves. Nous allons maintenant nous situer par rapport à différents modèles sur le fonctionnement des connaissances des élèves. Le but étant de sélectionner le modèle le plus adapté à cette étude.

2.2.1. Changement d'ontologies

Plutôt que de refaire une description du changement de catégorie ontologique de Chi, nous nous appuyons sur la synthèse faite par Buty & Cornuéjols (2002 p.51) à ce sujet, qui présente de façon axiomatique la construction théorique élaborée par Chi (1992) par les énoncés suivants :

-Toute entité est classable dans une catégorie ontologique. Il y a trois grandes classes ontologiques : les entités (objets/substances), les processus (événements/*complex dynamic systems*), et les états mentaux (les états émotionnels/les états cognitifs).

-Une catégorie ontologique est pourvue d'attributs ; par exemple la catégorie « événements » a cinq attributs principaux : il peut y avoir des sous-événements distincts ; un événement est limité dans le temps ; une suite d'événements peut présenter un ordre chronologique ou séquentiel ; il peut y avoir des liens de causalité entre événements ; un événement peut être déterminé par ses buts.

-Face à une situation donnée, les attributs donnés par l'apprenant à l'entité qui est en jeu peuvent être repérés dans son discours et classés dans une catégorie ontologique. L'entité ou le concept hérite de tous les attributs de la catégorie.

-Les concepts scientifiques appartiennent à des catégories ontologiques particulières.

-Le particularisme de la catégorie des concepts scientifiques fait que l'apprenant a du mal à les acquérir, parce qu'il les catégorise la plupart du temps comme des événements.

-Chi en conclut qu'il faut donner aux élèves une méta-instruction explicite en même temps qu'on leur enseigne le concept en jeu.

Cette théorisation se fonde essentiellement sur le processus de catégorisation. En effet, elle envisage le fonctionnement des connaissances de l'élève par la catégorisation d'une entité dans une catégorie ontologique donnant ainsi à l'entité l'ensemble des attributs de la catégorie. Ce modèle offre l'avantage de pouvoir suivre l'évolution d'un concept d'une catégorie ontologique à une autre (changement conceptuel fort) ou d'une sous-catégorie à une autre (changement conceptuel moins fort). Cependant, il soulève un certain nombre de critiques :

- à propos du choix des catégories ontologiques : pourquoi choisir matière, processus et états mentaux comme catégories ontologiques et pas d'autres ? Comment être sûr que ces trois catégories sont à même de décrire l'apprentissage dans sa globalité ? (Duit 1999).

- Ce modèle ne prend pas en compte la différenciation entre certains concepts, par exemple comment expliquer la différentiation entre champ magnétique et excitation magnétique alors que ces deux entités sont classées dans la même catégorie (Duit 1999).

- On reste toujours dans le changement conceptuel sans tenir compte des aspects affectifs et sociaux.

- Et surtout, le problème de ces classifications ontologiques est "qu'à un niveau fin, elles supposent une monosémie des termes désignant les concepts qui ne peut être demandée qu'aux concepts scientifiques, alors même qu'elles prétendent expliquer l'activité langagière d'acteurs qui s'expriment en général en langue naturelle." (Buty & Cornuéjols 2002, p.52).

2.2.2. Cohérence partielle ou totale du fonctionnement cognitif d'un individu

Au sein du courant du changement conceptuel, deux approches distinctes se sont développées à propos de la cohérence du fonctionnement cognitif des individus. D'un côté, Vosniadou insiste sur la grande cohérence du fonctionnement des élèves en décrivant les connaissances des élèves comme des théories, c'est-à-dire des structures relationnelles et explicatives. La grande cohérence de ces théories peut être envisagée comme une raison de la résistance au changement visé par l'enseignement. De l'autre, diSessa suppose une non-cohérence du système cognitif de l'individu, en le décrivant par des "connaissances en pièces", c'est-à-dire un ensemble de "p-prims" (*phenomenological primitives*), qu'il considère comme étant toutes équivalentes et qui sont activables suivant les situations. Un des enjeux du changement conceptuel serait de rendre plus cohérentes les p-prims entre elles.

Dans le but de nous situer par rapport à ces deux approches, nous allons détailler un peu plus ces deux points de vue.

La cohérence des individus de Vosniadou (1994)

Vosniadou (1994) considère que, dès le début de l'activité cognitive d'un individu, les concepts et les connaissances sont incorporés dans des structures théoriques assez larges. En effet, les premières expériences de la vie courante créent chez l'enfant un *cadre théorique* qui impose des contraintes sur le comportement des objets physiques (continuité, solidité, pas d'action à distance, gravité, inertie) ; ce *cadre théorique* permet des explications et joue un rôle analogue à celui des paradigmes en science. À l'intérieur de ce *cadre théorique* et sous ses contraintes, se développent des *théories spécifiques* adaptées à des domaines phénoménologiques restreints et particuliers. Chaque *théorie spécifique* s'applique à des situations réelles par le moyen de *modèles mentaux*, des représentations analogiques de la situation, qui incorporent des mécanismes explicatifs de la *théorie spécifique* et des contraintes du *cadre théorique*. Vosniadou distingue deux types de *modèles mentaux* : ceux créés sur-le-champ, spécifiques à la situation et au contexte, qu'elle désigne par *tokens* ; et ceux qui ont été suffisamment efficaces dans des situations passées pour êtres stockés et réutilisés ; elle les désigne par *types de modèles mentaux*, ou *modèles mentaux génériques*.

Il y a des moments dans le développement d'un individu où un certain modèle mental relatif à une classe de phénomènes est fixé ; pendant ces phases, l'individu répond de façon cohérente aux questions qu'on peut lui poser sur le champ phénoménologique ou conceptuel en jeu. Exemple : à 4 ans, un enfant utilise en général un modèle de « force interne » (associée au poids d'un objet) ; à 12 ans il utilisera plutôt un modèle de « force acquise » (associée au mouvement de l'objet).

Il y a d'autres phases de transition où l'individu utilise des modèles mixtes : à un ensemble de questions il peut alors, fournir des réponses incohérentes entre elles, parce qu'il utilise à la fois des critères appartenant au modèle « force interne » et au modèle « force acquise ». Le contexte de l'utilisation peut alors changer le modèle utilisé, et même la fréquence avec laquelle on associe telle situation à tel modèle.

Buty & Cornuéjols (2002) précisent dans leur synthèse que les travaux de Vosniadou (1994, 1999) insistent sur l'idée que l'incohérence de surface observée chez les élèves résulte en grande partie de leur manque de conscience métaconceptuelle (ils n'ont pas conscience de la nature hypothétique de leurs connaissances).

La connaissance en pièces de diSessa (1993)

diSessa (1993) considère qu'un individu possède un très grand nombre de *p-prims,* dont la plupart ont été acquises pendant l'enfance. Chaque *p-prim* est une petite structure de connaissance, qui est activable dans un ensemble de situation donné. Par exemple, on parlera de la *p-prim* "équilibre"*,* qui dans le domaine de la mécanique implique l'existence de deux efforts opposés qui s'annulent. Une situation peut mobiliser plusieurs *p-prims* et diSessa s'intéresse aux liens entre les *p-prims*. Comme le précisent Buty & Cornuéjols (2002) "Les *classes de coordination* sont des ensembles de *p-prims* assez larges ; ce sont des moyens, connectés systématiquement, de recueillir certaines classes d'information sur le monde. *Coordination* renvoie à la fois à la nécessité de recueillir de multiples aspects de l'information pour qu'elle ait un sens (intégration), et à la nécessité de trouver ce qui est semblable dans cet ensemble d'aspects (invariance). Deux composants obligatoires des *classes de coordination* sont les stratégies de lecture et le réseau causal."

Des situations différentes, ou des sollicitations différentes du milieu dans la même situation, vont provoquer chez l'apprenant l'activation de *p-prims* différentes. diSessa donne l'exemple suivant : une élève est questionnée sur la trajectoire d'une balle de tennis qu'on tient dans la main et qu'on jette verticalement ; on lui demande d'abord quelles forces s'exercent sur la balle quand elle monte puis descend ; elle répond conformément à la physique enseignée que seule la gravité s'exerce sur la balle : diSessa interprète cette réponse en disant qu'elle fait intervenir la *p-prim* « gravité ». On pose alors à l'élève une deuxième question : que se passe-t-il au point où la balle rebrousse chemin ? Elle répond en disant que deux forces s'exercent, la gravité et la résistance de l'air, et que ces deux forces s'équilibrent momentanément, c'est ce qui explique que la balle s'arrête un bref instant avant de redescendre : diSessa interprète ce revirement en disant que la deuxième question a activé la *p-prim* « équilibre ».

Il est intéressant de remarquer que ces approches très différentes envisagent toute les deux que les connaissances d'un élève puissent êtres contradictoires entre-elles du point de vue du chercheur, mais pas forcément du point de vue de l'élève. Ceci semble être confirmé par un certain nombre de travaux (diSessa 1987, 1988 et 1993, Vosniadou 1994, Warren & al. 2001, Taber 2001, Balacheff & Gaudin 2002). En effet, on a d'un côté, Vosniadou qui postule une grande cohérence des théories des élèves tout en envisageant que certains modèles mentaux puissent être contradictoires (modèles mixtes) et de l'autre diSessa qui postule une non-cohérence des p-prims, mais envisage qu'elles puissent devenir cohérentes.

Cependant, est-ce que la différence de ces deux approches ne viendrait pas de l'âge des élèves étudiés ? En effet, Vosniadou travaille surtout sur des jeunes enfants (de 6 à 10 ans) possédant un petit nombre de connaissances sur les thèmes scientifiques, alors que diSessa étudie des étudiants à l'université possédant un nombre beaucoup plus important de connaissances scientifiques. Ceci nous conduit à supposer que la théorie de diSessa correspond plus directement aux comportements des individus possédant un grand nombre de connaissances pouvant êtres contradictoires et fluctuants, alors que celle de Vosniadou correspondrait plus à ceux des individus avec un petit nombre de connaissances cohérentes et stables. Le problème est que nous étudions des élèves de Seconde, âgés de 15-16 ans et que ces deux types de connaissances risquent d'apparaître. C'est pourquoi, il nous faut utiliser un modèle permettant de décrire à la fois des connaissances cohérentes et stables ainsi que des connaissances contradictoires et fluctuantes.

2.2.3. Domaine de validité

Les modèles développés par Minstrell (1992) et Balacheff (1999) offrent l'avantage de considérer qu'un individu possède un ensemble de connaissances (que Balacheff nomme "*conceptions*" et que Minstrell appelle "*facettes*") pouvant êtres contradictoires entre elles ou non et dont chacune possède un domaine de validité. Ces modèles permettent d'envisager chez un même individu des connaissances cohérentes entre elles ou non et de déterminer la stabilité d'une connaissance par rapport à son domaine de validité (plus le domaine de validité est grand et plus la connaissance sera stable).

Ainsi, les *théories* des enfants de Vosniadou peuvent êtres décrites par des connaissances ayant un très large domaine de validité. Par exemple, le domaine de validité du

modèle mental considérant que la "Terre est plate" concerne toutes les situations où le sol est plat, c'est-à-dire presque toutes les situations que nous rencontrons dans le quotidien. De même, le modèle de "force interne" sera appliqué dans toutes les situations faisant intervenir des objets ayant un poids, ce qui là encore englobe un très grand nombre de situations. La grande résistance au changement de ces connaissances peut être expliquée à l'aide de la notion "*d'évolution situationnelle*" exposée ci-dessus. En effet, pour passer du modèle de la "Terre est plate" au modèle de la "Terre est sphérique" il faut que pour chacune des situations où ces deux modèles sont en concurrence, l'élève arrive à utiliser le modèle de la "Terre est sphérique" au lieu de celui de la "Terre est plate".

De même, les *p-prims* des étudiants de diSessa peuvent être envisagées comme des connaissances contradictoires sur certaines situations et non-contradictoires sur d'autres. Par exemple la *p-prim* "gravité" et la *p-prim* "équilibre" peuvent s'appliquer à l'ensemble des situations où les objets sont immobiles.

Nous pensons que les *modèles mentaux* de Vosniadou ou les *p-prims* de diSessa peuvent être très pertinent pour décrire certaines connaissances. Cependant, nous considérons que pour notre étude, le fait d'attribuer un domaine de validité à une connaissance est la solution la plus pertinente pour étudier l'évolution des élèves. De plus, il permet de rendre compte du fonctionnement des élèves sans préjuger de la cohérence ou de la non-cohérence de leurs connaissances. Ce qui est important puisque, à l'heure actuelle, il n'existe pas à notre connaissance de travaux sur le sujet permettant de trancher.

2.2.4. Comparaison entre le modèle de Minstrell et celui de Balacheff

Avant de commencer notre comparaison, il nous semble important de préciser que les travaux de Balacheff ne s'inscrivent pas dans le courant du changement conceptuel, puisqu'ils se situent dans le cadre de la didactique des mathématiques. Son modèle des conceptions a été conçu à la base pour rendre compte des connaissances des élèves en mathématiques. Cependant, nous considérons que ce modèle est assez large pour décrire des connaissances dans d'autres disciplines, notamment en physique. Cette précision étant donnée, nous proposons maintenant de regarder plus en détail les points communs et les différences de chacun des modèles proposés par Minstrell (1992) et par Balacheff (1999).

Le paradigme de l'erreur

Tout d'abord, il est intéressant de voir que la vision de Minstrell sur la connaissance se rapproche très fortement de celle de Balacheff, qui refuse le paradigme des misconceptions (Confrey 1986) et adopte le paradigme de l'erreur.

Cependant Balacheff part de la citation de Bachelard (1938, p.13) "Le réel n'est jamais 'ce qu'on pourrait croire' mais il est toujours ce qu'on aurait dû penser", qui exprime que la connaissance est toujours en devenir. Pour conclure que l'originalité du paradigme de l'erreur énoncé par Brousseau (1976, p.171), est d'avoir su articuler le point de vue constructiviste avec le postulat Bachelardien : " l'erreur n'est pas seulement l'effet de l'ignorance, de l'incertitude, du hasard que l'on croit dans les théories empiristes ou béhavioristes de l'apprentissage, mais l'effet d'une connaissance antérieure, qui avait son intérêt, ses succès, mais qui maintenant se révèle fausse ou simplement inadaptée." "l'erreur n'est pas seulement l'effet de l'ignorance, de l'incertitude, du hasard que l'on croit dans les théories empiristes ou béhavioristes de l'apprentissage, mais l'effet d'une connaissance antérieure, qui avait son intérêt, ses succès, mais qui maintenant se révèle fausse ou simplement inadaptée." (Balacheff 1999, p. 222). Cette définition sera complétée par le travail de Salin (1976), mettant en évidence les caractéristiques cognitives de l'erreur : d'une part, "l'erreur est un point de vue d'une connaissance sur une autre connaissance (éventuellement chez un même sujet, d'une connaissance nouvelle sur une connaissance ancienne)," d'autre part, "l'existence d'une erreur ne peut être perçue que si le feedback de l'environnement peut être lu comme témoignage d'un échec (une attente non satisfaite)." (Balacheff 1999, p. 223)

La position de Minstrell va dans le même sens. En effet, pour lui "la plupart des connaissances des élèves sont pertinentes, elles peuvent avoir besoin de modification, de limitation ou d'élaboration, mais elles sont utiles "(Minstrell 1992. p.112). De plus, Minstrell choisit d'utiliser le terme facette afin d'éviter l'association avec les termes comme les "mauvaises"conceptions ("mis" conception dans le texte). Pour lui, beaucoup de "mauvaises" conceptions sont des idées qui sont sur-appliquées ou sous-appliquées par rapport au contexte. Par exemple, si on considère la facette "le plus lourd tombe le plus vite". La validité de cette idée dépend du contexte d'application." (Minstrell 1992. p.112-113).

Le formalisme des *conceptions* de Balacheff (1999)

Balacheff (1999, p. 224-225) propose de passer par une formalisation du concept de *conception*, afin de résoudre le problème de modélisation posé par la coexistence chez un sujet de structures mentales contradictoires du point de vue d'un observateur, et cependant cohérentes lorsqu'elles sont replacées dans le contexte d'une mise en oeuvre particulière dans le référentiel du sujet. Cette formalisation est la suivante :

"Nous appelons conception C, un quadruplet (P, R, L, Σ) dans lequel :

- P est un ensemble de problèmes sur lequel C est opératoire ;
- R est un ensemble d'opérateurs ;
- L est un système de représentation, il permet d'exprimer les éléments de P et R ;
- Σ est une structure de contrôle, elle assure la non contradiction de C.

En particulier, un problème p de P est résolu s'il existe r de R et s de Σ tel que s(r(p)) = vrai" (Balacheff 1999, p. 225)

Pour caractériser une conception, il faut déterminer :

-l'ensemble des problèmes P, qui décrit le domaine de validité de la conception. Il existe deux approches possibles pour le définir :

-la première se base sur la théorie des champs conceptuels de Vergnaud (1990) et consiste à prendre "l'ensemble des situations" qui appellent à la mise en oeuvre de la conception.

-la seconde utilise la théorie des situations de Brousseau (1986) et essaie de réduire cet ensemble à un nombre fini de problèmes spécifiques.

-L'ensemble des opérateurs R, qui permet la manipulation des éléments de L, et donc la transformation des problèmes, ils sont attestés par des productions et des comportements.

-Le système de représentation L, peut être un complexe de systèmes de représentations langagières ou non-langagières dont la caractéristique fonctionnelle est de permettre l'expression des éléments de P et de R.

-La structure de contrôle S, a pour rôle d'assurer la non-contradiction de la conception, elle contient sous forme d'oracles les outils de décision sur la légitimité de l'emploi d'un opérateur ou sur l'état (résolu ou non) d'un problème." (l'ensemble de ces définitions est tiré du site http://conception.imag.fr/)

Cette formalisation donne une définition précise d'une conception. Les différents éléments qui la composent peuvent servir de base pour la comparer avec d'autres conceptions. Il est possible par exemple de comparer le domaine de validité de deux conceptions ou bien les opérateurs qu'elles mobilisent. Ce formalisme permet entre autres de définir une conception partielle : "une conception C est partielle relativement à une conception C' si et seulement si C est équivalente à C' sur une partie stricte de P'." (Balacheff 1999, p.236).

La connaissance d'un individu est définie comme un ensemble de conceptions ayant le même μ-objet (μ-objet décrit dans ce cas un objet mathématique). Ceci permet à la fois de parler de son domaine de validité (union des domaines de validité des conceptions qui la constituent) tout en reconnaissant son caractère contradictoire (l'une des conceptions qui la constituent est fausse au sens d'une autre). Avec cette définition de la connaissance, il est possible de décrire la cohérence de l'ensemble des conceptions qui la constituent (cet ensemble est appelé Q), ainsi que son domaine de validité (appelé π).

À partir de cette définition, Balacheff propose de décrire l'évolution des états de connaissances d'un sujet à un moment donné. Il précise :"Un état de connaissance (Q, π) d'un μ-objet M peut évoluer en conséquence de l'évolution de ses constituants Q ou π, ou des deux simultanément.

Une modification de Q peut être le résultat de l'ajout ou au contraire du retrait d'une conception, ou encore la substitution d'une conception à une autre ou à un sous-ensemble d'autres conceptions. De même π peut être modifié en supprimant ou en ajoutant des problèmes ou en substituant un problème à un sous-ensemble de problèmes.

Une évolution simple est celle qui rend compte de la modification du domaine de validité d'une conception.

Une évolution particulièrement intéressante d'un état de connaissance est celle qui conduit à éliminer les contradictions actuelles dans Q" (Balacheff 1999, p.240).

Les aspects pratiques des *facettes* de Minstrell

Minstrell dans son article de 1992, propose d'identifier et de cataloguer des éléments de connaissance ou de raisonnement qu'il appelle des facettes. Pour lui, les facettes de

connaissance sont des unités de pensée "commodes", des éléments de connaissance ou des stratégies utilisées par l'élève dans une situation particulière. Minstrell utilise le langage des élèves en essayant de capturer l'intention de l'idée exprimée. "La "vérité" ou la pertinence d'une facette dépend du contexte de la situation."(Minstrell 1992, p.112). Pour lui, les facettes fausses du point de vue de la physique, possèdent quand même un certain nombre d'aspects utiles.

Concernant la cohérence des facettes entre elles, Minstrell considère que lorsque l'apprenant tente de rendre compatibles certaines facettes, cela a pour conséquence de rendre "l'ensemble de ses connaissances[1]" incohérent. Il explique que ce manque de cohérence provient du fait qu'en général, les élèves font un amalgame des idées proches en ne les différenciant pas entre elles, qu'ils n'élaborent pas de relation entre les différentes grappes (clusters dans le texte) de connaissance et qu'ils n'essaient pas de délimiter le contexte d'application de ces connaissances." (Minstrell 1992, p.117)

Le fonctionnement d'une ou plusieurs facettes qu'un élève met en oeuvre dans un problème particulier dépend : des facettes que l'élève a acquises lors d'expériences préalables, des caractéristiques du problème que l'élève identifie et de l'association faite par l'élève entre ces caractéristiques et ces facettes. Pour Minstrell :

"1. L'élève aborde la situation d'apprentissage avec des éléments de connaissances existants, appelés facettes. Les facettes peuvent être spécifiques ou générales. On peut en rendre compte par le contenu, les stratégies, ou le raisonnement.

2. L'application d'une facette dépend des facettes que l'élève a de disponible, des caractéristiques de la situation, de la perception qu'en à l'élève ou des liens entre les caractéristiques et les facettes

3. Le nombre de facettes utilisées par un élève dépend, de son souhait à répondre simplement à la question ou plutôt de satisfaire sa curiosité. Ce postulat implique une autre série de facettes pour décrire les croyances des élèves à propos de la nature de la science et de l'épistémologie. Cette nouvelle série commence seulement à être explorée.

[1] en Anglais le mot connaissance (knowledge) n'existe pas au pluriel, dans le texte Minstrell parle de : learner's knowledge, que nous traduisons par les connaissances de l'apprenant.

4. L'ordre d'application des facettes va du spécifique au générique. Lorsque l'élève a des connaissances spécifiques à propos d'une situation problématique, les facettes spécifiques sont appliquées. Lorsque les connaissances spécifiques des facettes ne complètent pas la solution du problème, une ou plusieurs facettes génériques peuvent être utilisées." (notre traduction de Minstrell 1992, p. 119-120).

Partant de cela, plusieurs changements dans les facettes peuvent se produire :

-le premier consiste à ajouter une nouvelle facette à l'ensemble des facettes que l'individu à déjà,

-la seconde envisage la modification d'une facette en élargissant ou en limitant son contexte d'application,

-le troisième revient à élaborer un nouveau réseau de relations entre les facettes.

Conclusion sur ces deux modèles

Le modèle des conceptions de Balacheff permet de caractériser la connaissance de manière beaucoup plus précise que les facettes de Minstrell, notamment grâce au formalisme mis en place pour décrire les conceptions. Concernant l'évolution, ces deux modèles envisagent une augmentation ou une diminution du domaine de validité, ainsi que l'ajout de nouvelles conceptions (ou facettes). Cependant, le modèle de Minstrell envisage en plus la possibilité que les facettes établissent des liens entre elles, ce qui rejoint notre approche de l'apprentissage en termes de lien. En revanche, le modèle de Balacheff propose qu'une conception puisse être substituée à une autre, ce qui ne correspond pas au fonctionnement des connaissances des élèves décrit par les travaux du changement conceptuel (voir partie critique du terme changement conceptuel). Notre étude se centre beaucoup plus sur l'évolution que sur la caractérisation des connaissances. C'est pourquoi, nous faisons le choix de ne pas adopter le formalisme proposé par Balacheff et de décrire l'évolution en adoptant une vision proche des critères proposés par Minstrell (notamment les liens). Bien que nous n'adoptons aucun de ces deux modèles, nous nous en inspirons fortement pour développer notre propre modèle : **les idées**.

3. Les idées

Introduction

Cette partie propose de présenter le modèle que nous avons construit pour essayer de suivre l'évolution des connaissances des élèves durant un enseignement sur les gaz. L'élaboration de ce modèle se base sur deux notions reprises des travaux de Minstrell (1992) et Balacheff (1999) : (1) la notion de domaine de validité d'une connaissance et (2) la notion de connaissances contradictoires, c'est-à-dire qu'une même personne peut avoir des connaissances qui sont contradictoires entre elles du point de vue d'un observateur extérieur.

Dans un premier temps, nous définissons ce qu'est une idée à partir d'un certain nombre de considérations, puis dans un second temps nous discutons des différents types d'évolutions envisagées en termes de liens. Nous montrons dans un dernier temps, comment est utilisée la notion de milieu pour étudier les facteurs responsables de l'évolution des idées.

3.1 Qu'est-ce qu'une idée ?

Pour répondre à cette question, nous justifions le choix du mot idée, puis nous préciserons comment les idées sont reconstruites, ainsi que le grain d'analyse choisi pour les étudier. Nous montrons ensuite, que les idées peuvent être éventuellement contradictoires et qu'elles possèdent un domaine d'application. Enfin nous présentons des critères permettant de définir la stabilité d'une idée dans le temps et à travers les situations.

3.1.1. Le choix du mot "idée" guidé par le paradigme de l'erreur

Notre étude essaie d'adopter le point de vue de l'élève afin de suivre l'évolution de ses connaissances au cours d'une séquence d'enseignement sur les gaz. Le but de cette étude n'est pas d'évaluer ses connaissances (en juste ou faux), mais plutôt d'essayer de comprendre comment elles émergent. Cette recherche s'inscrit dans le paradigme de l'erreur (Brousseau 1986), qui considère qu'une erreur du point de vue de la physique, est une connaissance qui avait son intérêt, ses succès et qui se révèle inadaptée lorsqu'elle est utilisée hors de son domaine de validité. C'est pourquoi, nous avons essayé de trouver un terme qui soit en rupture avec les termes utilisés par le paradigme des misconceptions (Confrey 1986). Le terme conception nous semble ambigu, car il peut être employé pour désigner les réponses fausses

des élèves. En effet, on parlera de connaissance pour des réponses justes du point de vue de la physique et de conception pour les réponses fausses.

On trouve dans la littérature du changement conceptuel un certain nombre de termes : les facettes (Minstrell 1992), les p-prims (diSessa 1993), la construction du sens (Aufschnaiter 2001), les modèles mentaux (Vosniadou 1994, Schnotz 1996), les idées (Aufschnaiter & Welzel 1997). Nous avons fait le choix d'utiliser le terme idée pour décrire finement les connaissances des élèves. Une idée est définie dans le dictionnaire de la langue française (1989) comme une "conception de l'esprit, une pensée, une manière de concevoir une action ou de représenter la réalité". De plus, elle peut être : bonne ou mauvaise, juste ou fausse, précise ou floue... Le terme idée permet de décrire le point de vue d'une personne sans pour autant porter un quelconque jugement. On dira l'élève Alfred utilise l'idée que l'air chaud monte pour expliquer la dilatation d'un gaz.

Maintenant que nous avons choisi le terme, il nous faut le définir : **une idée est un élément de connaissance permettant de rendre compte d'une ou plusieurs situations. Chaque individu possède un ensemble d'idées, qu'il a construit tout au long de sa vie, en interagissant avec de nombreuses situations.**

Dans cette définition, nous utilisons le terme "situation". Compte tenu que ce terme est employé avec de multiples significations en sciences humaines, nous proposons d'en donner une définition qui sera adoptée pour la suite de notre étude.

3.1.2. Qu'est-ce qu'on entend par "situations" ?

Ce paragraphe propose de définir les termes : situation d'enseignement, situation et situation matérielle, afin de clarifier leur utilisation dans la suite de ce travail. Au préalable, il nous faut préciser que chacune de ces situations peut être envisagée soit du point de vue du chercheur soit du point de vue de l'élève. Ces points de vue peuvent être très différents, par exemple une bouteille vide sera considérée par le chercheur comme étant pleine d'air alors que pour certains élèves, elle sera perçue comme ne contenant rien.

Tout d'abord, une situation est définie dans le dictionnaire de la langue française (1989) par "l'ensemble des conditions dans lesquelles se trouve quelqu'un à un moment donné". Comme nous allons le voir par la suite, c'est précisément la prise en compte de ces

conditions à des échelles différentes qui donnera lieu aux différentes acceptions du terme situation que nous adoptons. En effet, "la situation d'enseignement" peut éventuellement englober "la situation", qui englobe elle-même "la situation matérielle".

Situation d'enseignement

La *situation d'enseignement* peut être définie par l'ensemble des conditions dans lesquelles se trouve un élève lorsqu'il est en classe. Parmi toutes les conditions possibles, nous avons choisi les suivantes, qui peuvent être décrites par :

-**le cadre spatio-temporel**. Il s'agit des caractéristiques du lieu où se déroule la situation (salle de cours, de TP, la taille de la classe, la disposition des tables, matériels...). Ainsi, que les caractéristiques relatives au temps, comme le moment où cette situation se déroule (jour de la semaine, matin ou après midi, heures...) ou bien le déroulement de l'enseignement (si c'est le début de l'enseignement ou la fin par exemple).

-**les personnes et leurs statuts**, c'est-à-dire les personnes présentes dans la classe (enseignant, élèves...) et le statut qu'elles occupent au sein de la classe (bon élève, élève sympathique...).

-**les tâches** réalisées durant l'enseignement, il est important de séparer les tâches de l'enseignant (gestion de la classe, correction, explication des consignes...) des tâches que doivent réaliser les élèves (expliquer une expérience, manipuler...), dictées la plupart du temps par les questions de l'enseignant ou des consignes écrites.

-**les éléments matériels**, qui sont à la disposition des élèves pour la réalisation d'une ou plusieurs tâches. Ces éléments sont décrits en termes d'objets (seringue, pressiomètre, ballon, ordinateur...) et d'événements (gonfler un ballon, chauffer une seringue...).

Maintenant que les différents éléments qui composent une situation d'enseignement sont définis, nous allons pouvoir spécifier ce que nous entendons par une situation.

Situation

La définition d'une *situation* s'appuie sur le travail de Vergnaud (1990), qui considère que "le concept de situation n'a pas ici le sens de situation didactique mais plutôt celui de tâche, l'idée étant que toute situation complexe peut-être analysée comme une combinaison de tâches dont il est important de connaître la nature et la difficulté propres. La difficulté d'une tâche n'est ni la somme ni le produit de la difficulté des différentes sous-tâches, mais il est clair que l'échec dans une sous-tâche entraîne l'échec global." (p. 146). Ce qui nous permet de

spécifier une *situation* par : une **tâche** à réaliser et **des éléments matériels** pouvant éventuellement y contribuer. Dans le cadre de cette définition, si l'on change la tâche ou si l'on modifie un des éléments matériels (c'est-à-dire un objet ou un événement), cela a pour conséquence de définir une autre situation. De plus, dans le cadre de notre étude, la plupart des tâches demandées à l'élève nécessite de répondre à des questions. Donc la plupart des situations pourra être définie par les questions posées à l'élève et les éléments matériels associés. Il est cependant important de préciser qu'une *situation* ne se limite pas à la classe. En effet, la définition que nous proposons envisage aussi la description de scènes comme celles de la vie quotidienne. Par exemple, le fait de gonfler un pneu de vélo est une *situation* : la **tâche** est de gonfler le pneu, les **objets** sont le vélo et la pompe et les **événements** sont de relier la pompe au pneu et de faire rentrer de l'air dans le pneu.

Situation matérielle

La *situation matérielle* est définie par les objets et les événements qui la composent. Le changement d'un objet ou d'un événement entraînera la "création" d'une autre situation. Par exemple, lancer (événement) un ballon de foot (objet) et lancer (événement) un ballon de rugby (objet) représentent deux situations matérielles différentes. De même, gonfler (événement) un pneu de voiture (objet) et dégonfler (événement) un pneu de voiture (objet) correspondent à deux situations matérielles distinctes.

3.1.3. Reconstruction des idées

Une idée est toujours rattachée à une situation et nous proposons dans ce paragraphe de décrire la manière dont se déroule la reconstruction des idées d'un élève par le chercheur. L'étude du langage et plus particulièrement de la signification des mots permet d'avoir accès à ce que pensent les gens (Vygotski 1998). Cependant, le discours des gens n'est pas uniquement une sorte de « fenêtre sur l'esprit », mais c'est plutôt une fenêtre sale, car le discours dépend du contexte et des pratiques discursives (Edwards 1993). De plus, "nous parlons avec nos organes vocaux, mais c'est avec tout le corps que nous conversons" (Abercrombie cité par Kerbrat-Orecchionni 1996). C'est pourquoi, nous faisons le choix de reconstruire les idées des élèves à partir des productions verbales et gestuelles (geste de la communication non-verbale et geste manipulatoire). Concrètement, une idée est reconstruite à partir de la plus petite unité observable par le chercheur permettant d'attribuer un sens aux

productions de l'élève. Ces plus petite unités "sémantiques" sont appelées des "unités de contexte" par Ghiglione & Matalon (1970). Nous préférons les appeler des *unités de sens,* afin de pouvoir préciser que ces unités de sens dépendent de la situation. En effet, l'unité de sens "cet air est léger", n'aura pas la même signification si l'élève parle de l'air qui se trouve dans un ballon, de l'air atmosphérique ou encore s'il parle d'un morceau de musique. Les unités de sens ayant la même signification seront regroupées sous la même idée. Par exemple les unités de sens, "l'air pousse sur la paroi" "l'air exerce une pression sur un ballon" et "il y a de l'air qui (l'élève fait le geste de pousser) sur la casserole" seront regroupées sous la même idée : *l'air agit sur les objets* (par convention nous notons les idées en italique). Les détails sur la reconstruction des idées à partir des unités de sens en tenant compte de la situation seront donnés dans la partie méthodologie.

3.1.4. Grains d'analyse des idées

La reconstruction des idées par le chercheur se base sur les productions verbales et gestuelles des élèves. Comme le montre le tableau 1.2, il est possible d'analyser les productions des élèves à des échelles de temps différentes.

Activité	*Temps* (en seconde)	Autres unités de temps	Exemple
Articulation vocale	10^{-1}		son
Paroles	1-10 secondes		mot, phrase, court monologue
Échange	$2\text{-}10^{2}$	seconde à la minute	conversation,
Épisode	10^{3}	o(15minutes)	thème, discussion
Cours, TP	10^{3} - 10^{4}	heure	cours : physique, français...
Demi journée en classe	10^{4}	environ 2,75 heures	plusieurs cours de disciplines différentes
Une journée en classe	10^{5}	jour	

Tableau 1.1 : Échelle de temps de l'activité humaine (adapté de Lemke 2000)

Ce tableau montre qu'il est possible d'analyser une discussion d'élèves en faisant une analyse des thèmes qui y sont abordés. L'analyse du sens des productions des élèves nécessite de mettre en relation plusieurs mots, et donc de se situer au niveau de la phrase. Ceci signifie que la reconstruction des idées s'appuie sur des productions d'élèves allant de 1 à 10 secondes. Le grain d'analyse des idées est donc de l'ordre de quelques secondes.

Certains travaux didactiques s'intéressant à l'étude des processus d'apprentissage, font la différence entre le développement des éléments *en cours de construction* allant de la seconde à la minute et le développement des éléments *cognitifs stables* allant de l'heure au mois (Niedderer 2001 et Aufschnaiter 2001). Plusieurs travaux s'intéressant aux éléments *en cours de construction* (Niedderer & Scheker 1992, Schnotz 1996, von Aufschnaiter & Welzel 1997, Adey 1999) se situent à un grain d'analyse équivalent à celui que nous adoptons pour les idées (1 à 10 secondes).

3.1.5. Le fonctionnement d'une idée ou plusieurs idées

Pour interpréter une situation, l'élève peut mobiliser une ou plusieurs idées. Dans le cas de la mobilisation de plusieurs idées, elles peuvent être indépendantes ou reliées entre elles (on parlera alors d'un réseau ou d'une grappe d'idées). Compte tenu de nos hypothèses de

base sur l'apprentissage et des facettes de Minstrell (1992), nous considérons que la mobilisation d'une idée dépend : (1) des idées préalables de l'élève, (2) des caractéristiques de la situation que l'élève perçoit et (3) de la relation entre ces caractéristiques et les idées. Partant de cette définition, il est intéressant d'essayer de déterminer les éléments de la situation que l'élève perçoit, afin d'essayer d'établir les liens qu'entretiennent les idées avec ces éléments.

Cette description du fonctionnement de l'élève, par un ensemble d'idées, permet d'envisager que chaque idée possède un domaine d'application et que les idées peuvent être contradictoires entre elles.

3.1.6. Caractère contradictoire des idées

Ce caractère contradictoire peut être abordé de deux points de vue.

1. Du point de vue de l'élève, une idée est en contradiction par rapport à une autre, si l'élève reconnaît le caractère contradictoire entre ces deux idées. De plus, une idée peut aussi être en contradiction avec la réalité empirique perçue par l'élève. Pour cela, il faut que l'élève puisse percevoir au moins un élément de la situation montrant cette contradiction.

2. Du point de vue d'un observateur, les idées d'un élève sont en contradiction, si l'observateur reconnaît le caractère contradictoire des idées entre elles. De plus, une idée d'un élève est en contradiction avec la réalité empirique, si l'observateur connaît un ou plusieurs éléments de la situation montrant la contradiction avec cette idée.

En résumé "les états contradictoires ainsi mis en évidence ne sont reconnus comme tels que par un observateur qui a la capacité de mettre en relation des situations qui sont, par ailleurs, vécues comme distinctes et autonomes par le sujet lui-même." (Balacheff 1999, p. 220). Dans la suite de ce travail, sauf précisions de notre part, nous utiliserons le terme idées contradictoires en adoptant le point de vue du chercheur.

3.1.7. Domaine de validité ou domaine d'application ?

Nous avons vu que chaque idée possédait un domaine de validité. Ce qui nous conduit à préciser que, pour la suite de cette étude, nous préférons parler du domaine d'application

d'une idée, plutôt que de son domaine de validité. En effet, nous faisons la distinction entre ces deux domaines, car pour nous ces deux définitions adoptent des points de vue différents :

-**le domaine d'application** d'une idée est l'ensemble des situations où l'élève utilise cette idée.

-**le domaine de validité** d'une idée est l'ensemble des situations où cette idée est valide du point de vue de la physique.

Cette définition du domaine d'application adopte le point de vue de l'élève, et offre l'avantage de considérer que chaque fois que l'élève utilise une idée, elle est pertinente pour lui. De plus, cette définition ne cherche pas à juger de la validité de cette utilisation et ne prend pas en compte le fait que cette idée puisse être complètement fausse du point de vue de la physique. Le seul élément qu'elle prend en compte est de savoir si oui ou non, l'élève utilise une idée dans une situation.

3.1.8. Stabilité des idées

Cette distinction étant faite, nous pouvons nous intéresser à la stabilité des idées. La description de cette stabilité peut être envisagée dans un espace à deux dimensions : la première dépendant du temps et la seconde des situations.

1. Stabilité temporelle d'une idée pour des situations équivalentes

En nous basant sur la définition de Niedderer (2001) : "The stability of an (intermediate) conception is empirically tested with the question wether this conception is used (reconstructed) again and again during a certain period of time in similar contexte" (p. 400), nous définissons la stabilité dans le temps d'une idée, par le nombre de fois dans le temps que cette idée est utilisée dans des situations similaires. Plus une idée sera utilisée pour rendre compte de la même situation à des moments différents, plus elle sera considérée comme stable (figure 1.5).

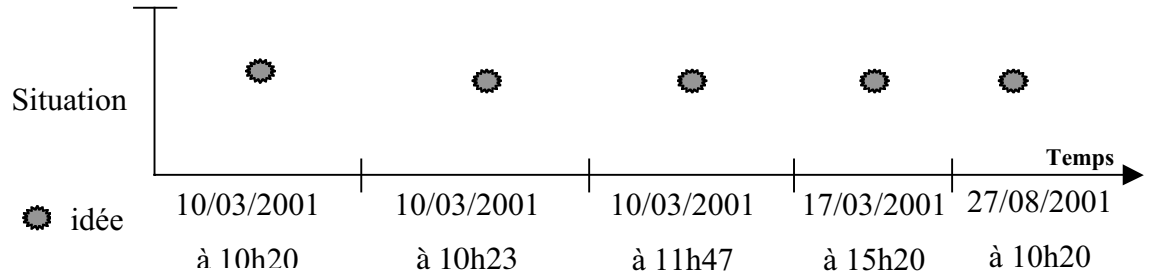


Figure 1.5 : Stabilité d'une idée dans le temps

Cependant, ce n'est pas le nombre de fois qu'une idée est mobilisée dans des situations similaires qui est important, mais plutôt l'intervalle de temps entre son utilisation dans des situations similaires. Par exemple, si un élève hésite entre deux idées pour expliquer une situation. Il est possible que, pour cette situation, il mobilise de nombreuse fois ces deux idées dans un laps de temps assez court. Ce n'est pas pour autant que ces deux idées seront stabilisées, bien au contraire ces nombreuses mobilisations témoignent plutôt d'une forte hésitation. En revanche, si l'élève utilise la même idée à un mois d'intervalle pour rendre compte de la même situation, nous considérons que cette idée est stable (figure 1.5).

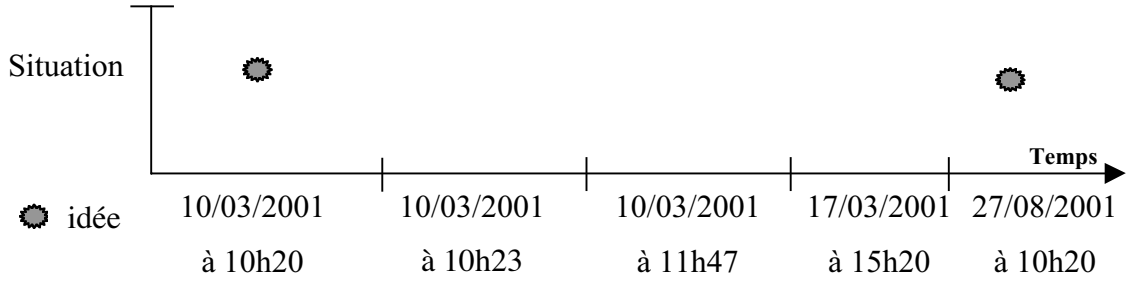


Figure 1.5 : Exemple d'un grand intervalle de temps entre l'utilisation d'une idée dans la même situation.

En résumé, plus l'intervalle de temps entre l'utilisation de la même idée dans des situations similaires est grand, plus cette idée sera stable

2. Stabilité "situationnelle" d'une idée à travers plusieurs situations

La deuxième dimension de la stabilité d'une idée dépend des situations. Plus une idée sera mobilisée dans un nombre différent de situations, plus elle sera considérée comme stable. Là encore ce n'est pas vraiment le nombre de situations qui compte, mais plutôt le type de situations qui va jouer. Par exemple, si l'élève utilise l'idée que l'air agit pour chaque situation où l'on gonfle un ballon (pour un ballon de foot, un ballon de baudruche, un ballon de basket...), cela représente un nombre important de situations, mais qui possèdent des traits de surfaces similaires. En revanche, si l'élève utilise aussi cette idée pour dire que l'air agit sur les parois d'une bouteille ouverte (situation ayant des traits de surfaces très différents de celles utilisant des ballons), cela témoigne pour nous d'une plus grande stabilité, car nous considérons qu'il est plus difficile d'utiliser une idée dans des situations ayant des très de surface différents. En résumé, plus une idée sera utilisée dans des situations ayant des traits de surfaces différents, plus elle pourra être considérée comme stable.

Cette stabilité que nous qualifions de "situationnelle" est décrite par le domaine d'application d'une idée. Plus une idée aura un domaine d'application important, plus nous la considérerons comme stable (voir figure 1.6).

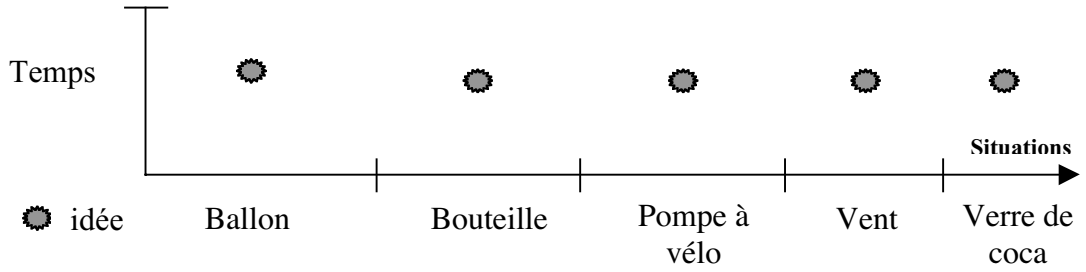


Figure 1.6 : Stabilité "situationnelle" d'une idée

Ces définitions de stabilité soulèvent des questions. En effet, jusqu'à quel point des situations peuvent-elles être considérées comme similaires ? Et inversement, jusqu'à quel point deux situations peuvent-elles être considérées comme différentes ? sur quels critères ?

Parmi les nombreux critères possibles, nous en choisissons trois pour comparer les situations entre elles :

-les objets matériels mis en jeu dans la situation (par exemple : un ballon, une planche...)

-les événements mis en jeu dans la situation (gonfler, chauffer...)

-la nature de la tâche proposée par la situation (décrire, expliquer...)

Ces critères seront utilisés pour comparer les situations dans la suite de notre recherche.

3.2 Comment les idées évoluent-elles ?

Maintenant que nous avons défini ce qu'était une idée, nous proposons de présenter comment l'évolution des idées peut être utilisée pour décrire l'apprentissage des élèves. Nous proposons de présenter différents types d'évolutions que nous envisageons en termes de liens.

3.2.1. Addition d'une nouvelle idée à l'ensemble des idées que possède un individu.

Cette addition peut se faire de deux façons :

Soit l'élève établit un nouveau lien entre une nouvelle idée (N) et une situation. Par exemple, l'élève peut, en pesant avec une balance un ballon plein d'air, construire la nouvelle idée que l'air pèse.

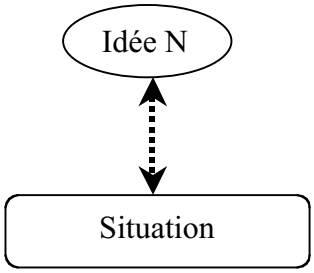


Figure 1.7 : Nouveau lien entre une nouvelle idée est une situation

Soit l'élève établit un nouveau lien entre une idée déjà acquise (1) et une nouvelle idée (N). L'idée (N) établit par la même occasion un nouveau lien (en gris) avec la situation. Par exemple, dans la situation, où l'on gonfle un pneu de vélo, l'élève peut relier l'idée (1) : *la quantité d'air augmente* avec la nouvelle idée (N) : *le nombre de molécules augmente*, établissant par la même occasion une nouvelle interprétation de la situation.

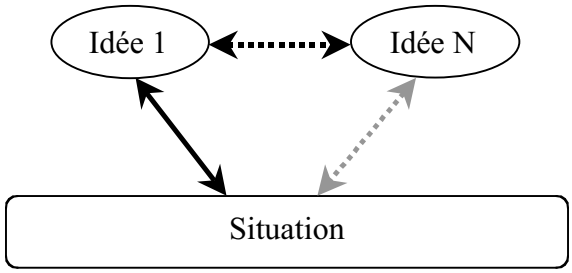


Figure 1.8 : Nouveau lien entre une ancienne idée et une nouvelle idée établissant un nouveau lien avec la situation (en gris)

3.2.2. Nouveau lien entre les idées pouvant constituer un réseau d'idées.

Ce type d'évolution envisage la mise en relation d'idées que l'élève a déjà acquises. Cette mise en relation est envisagée de plusieurs façons soit par l'élaboration d'un nouveau lien entre des idées, soit par une distinction entre les idées, soit par un regroupement entre les idées.

1. Nouveau lien entre les idées

Il est possible qu'un nouveau lien entre deux idées (1 & 2) déjà acquises par l'élève soit établi, ce qui constitue le début d'un réseau d'idées. Par exemple, dans la situation, où l'on chauffe une bouteille pleine d'air avec un ballon dessus et où le ballon se gonfle, l'élève peut relier l'idée (1) : l'air devient plus chaud avec l'idée (2) l'air monte, l'association de ces deux idées donnera un réseau d'idées qui sera que lorsque l'air est chaud, il monte.

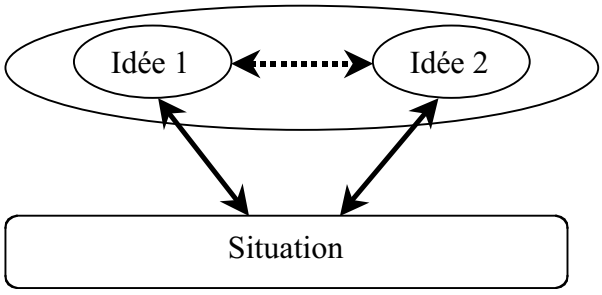


Figure 1.9 : Nouveau lien entre deux idées déjà acquise par l'élève

Il est possible qu'un nouveau lien soit établi entre un réseau d'idées et une idée (1). Par exemple, lorsque l'on comprime de l'air dans une seringue, l'élève peut faire le lien entre le

réseau d'idées : *le volume d'air diminue ↔ la quantité d'air reste la même ↔ le nombre de molécules reste le même* et l'idée (1) *plus de chocs des molécules sur les parois.*

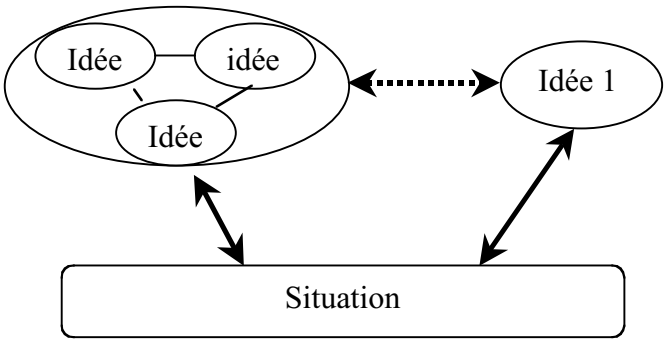


Figure 1.10 : Nouveau lien entre un réseau d'idées et une idée

2. Distinction entre les idées

Il est très courant que les élèves utilisent plusieurs mots pour désigner la même chose, par exemple les mots masse et poids peuvent désigner le caractère pesant d'un objet. Une évolution particulièrement intéressante dans l'apprentissage de la physique correspond au moment où l'élève fait la distinction entre les deux concepts rattachés à ces mots. La distinction des concepts semble être un aspect particulièrement important dans l'apprentissage de la physique (Dykstra 1992). Par exemple, la notion de mouvement peut être décrite de manière plus fine par la vitesse et l'accélération. Pour les gaz, l'idée (0) qu'il y a de l'air dans une bouteille fermée, peut être "raffinée" en utilisant la quantité d'air (idée 1) et le volume de l'air (idée 2), ce "raffinement" nécessite de faire la distinction entre ces deux grandeurs.

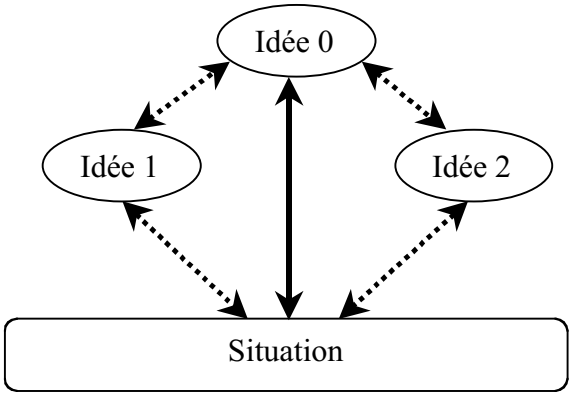


Figure 1.11 : Raffinement d'une idée (0) par deux nouvelles idées (1 & 2) nécessitant d'être distinguées entre elles.

Un autre type de distinction est envisageable (figure 1.12). Pour cela, imaginons qu'un élève utilise de façon indifférenciée les termes quantité d'air et volume d'air pour désigner l'air qui est contenu dans un récipient (Idée 0). S'il arrive à faire la différence entre ces deux termes, il pourra décrire l'air contenu dans un récipient par le terme quantité d'air (idée 0) qu'il différenciera du terme volume d'air (idée 1). Dans ce cas-là, la distinction ne donne lieu à l'apparition que d'une seule nouvelle idée contrairement au cas précédent du "raffinement" (figure 1.11) qui fait "naître" deux nouvelles idées.

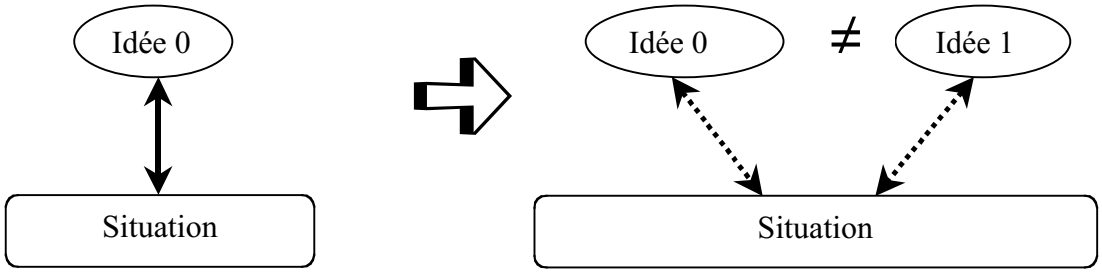


Figure 1.12 : Distinction entre deux idées

3. Regroupement des idées

Deux idées distinctes se regroupent pour devenir une seule et même idée. Par exemple, l'élève utilise le mot air pour désigner l'air atmosphérique (idée 1) et le mot gaz (idée 2) pour designer le gaz de ville, une évolution consiste à utiliser le mot gaz pour désigner l'air atmosphérique et le gaz de ville.

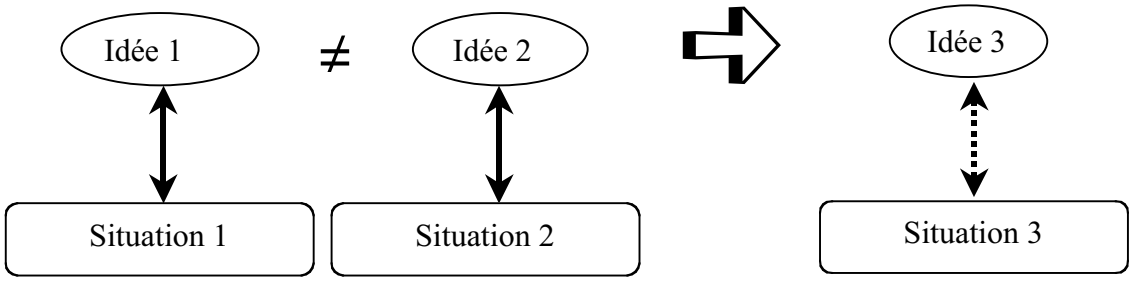


Figure 1.13 : Regroupement des idées

3.2.3. L'augmentation ou la diminution du domaine d'application d'une idée ou d'un ensemble d'idées.

Cette augmentation est décrite sur les schémas par un nouveau lien avec la situation 2 et la diminution par la suppression d'un lien avec la situation 3. Prenons l'exemple des trois situations suivantes : un ballon de baudruche que l'on gonfle (situation 1), un pneu de vélo qui chauffe au soleil (situation 2) et une bouteille remplie d'air (situation 3). Supposons que l'élève utilise couramment l'idée : *l'air agit sur les objets* pour expliquer le fait que le ballon se gonfle (situation 1). Maintenant, s'il utilise cette idée pour interpréter une nouvelle situation, par exemple que *l'air agit* sur un pneu de vélo qui est chauffé par le soleil (situation 2). Nous considérons qu'il augmente le domaine d'application de cette idée (en établissant un nouveau lien avec la situation 2).

Il peut aussi considérer qu'une idée qu'il utilisait n'est plus adaptée à une situation, par exemple ne plus utiliser l'idée *l'air agit* dans la situation d'une bouteille remplie d'air (situation 3). Ce qui revient à diminuer le domaine d'application en supprimant le lien avec la situation 3 (figure 1.14).

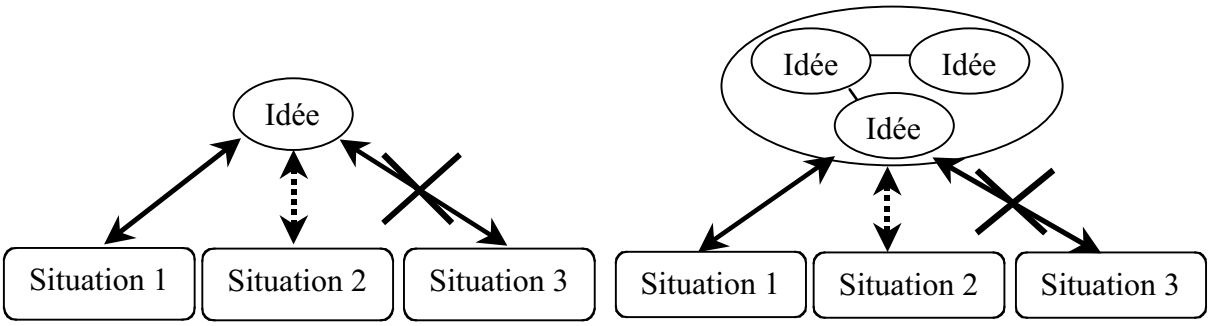


Figure 1.14 : Augmentation ou diminution du domaine d'application d'une ou plusieurs idées

3.2.4. Sélection d'une idée face à une autre pour une même situation.

Lorsque deux idées contradictoires du point de vue de l'observateur sont utilisées pour expliquer la même situation, il est probable que l'élève choisira celle qu'il estime la mieux adaptée à la situation. Cette sélection revient à diminuer le domaine d'application de l'idée en supprimant son lien avec la situation. Par exemple, dans la situation mettant en jeu une bouteille en plastique fermée remplie d'air, l'élève peut utiliser simultanément l'idée 1 : *l'air n'agit pas sur les parois intérieures de la bouteille* et l'idée 2 : *les molécules agissent sur les parois intérieures de la bouteille*. À la suite de des considérations perceptibles (notamment que rien ne semble agir sur la bouteille), l'élève décide que l'idée 2 n'est pas adaptée à la situation, puisque si les molécules agissaient sur les parois intérieures, la bouteille se déformerait. Cette situation ne sera donc interprétée que par l'idée : *l'air n'agit pas sur les parois de la bouteille*. (figure 1.15)

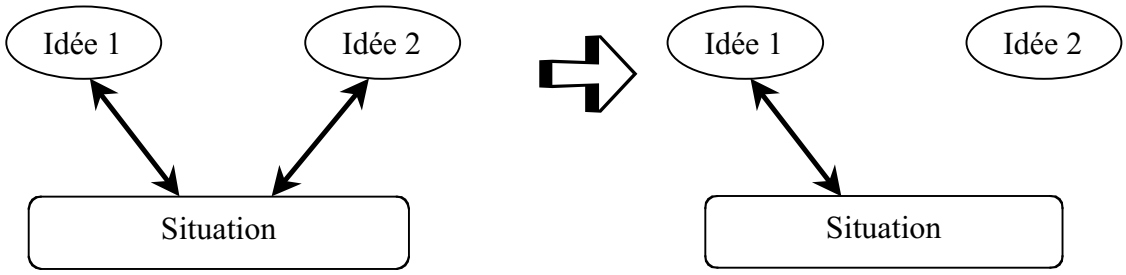


Figure 1.15 : Sélection entre deux idées contradictoires pour une même situation

De manière plus générale, la sélection entre deux idées n'est qu'un cas particulier de la diminution du domaine d'application d'une idée. Cependant, ce cas reste particulièrement intéressant à étudier, puisqu'il ouvre des pistes sur les facteurs pouvant être responsables de l'évolution des idées.

En conclusion, à partir du modèle des idées que nous avons développé, nous avons décrit comment une nouvelle idée pouvait être ajoutée aux anciennes, ainsi que comment un nouveau lien pouvait être établi entre plusieurs idées. Nous avons aussi décrit la variation du domaine d'application d'une idée, ainsi que la distinction des idées, qui nous semble particulièrement importante dans le cadre de l'apprentissage de la physique. La dernière description que nous avons faite concerne la sélection entre deux idées pour une même situation. Ces différentes évolutions décrites en termes de liens permettent de rendre compte de certains types d'apprentissages. Il serait dérisoire de penser que ce modèle couvre l'ensemble des apprentissages qu'un élève peut faire durant un enseignement en classe. C'est pourquoi, nous considérons ce modèle comme un outil permettant d'étudier un certain nombre de mises en relations durant l'apprentissage de l'élève.

3.3. Les facteurs de l'évolution des idées

La liste des différents types d'évolutions des idées que nous proposons permet de décrire une partie de l'apprentissage grâce aux liens. Cependant, cette description ne donne aucune information sur les raisons de l'établissement de ces liens. C'est pourquoi, dans cette partie nous proposons d'utiliser la notion de milieu pour étudier durant l'enseignement les facteurs responsables de l'évolution des idées des élèves.

3.3.1. La notion de milieu

Lorsque l'élève est en classe, c'est-à-dire dans une situation d'enseignement, il se retrouve placé dans un environnement, dont le but est de lui faire apprendre de nouvelles connaissances. La description de cet environnement peut être faite à travers la notion de milieu.

Milieu antagoniste ou allié ?

Dans la théorie des situations, Brousseau se base sur les travaux de Piaget où : "l'élève apprend en s'adaptant à un milieu qui est facteur de contradictions, de difficultés, de déséquilibres, un peu comme le fait la société humaine. Ce savoir, fruit de l'adaptation de l'élève, se manifeste par des réponses nouvelles qui sont la preuve de l'apprentissage" (Brousseau 1986, p.48 - 49). Cependant, il précisera qu'un "milieu sans intentions didactiques est manifestement insuffisant à induire chez l'élève toutes les connaissances culturelles que

l'on souhaite qu'il acquière" (Brousseau 1986, p.49). C'est pourquoi, l'enseignant doit provoquer chez l'élève les adaptations souhaitées par un choix judicieux des problèmes qu'il lui propose. Ainsi l'élève est face à un milieu qui par ces rétroactions va permettre la construction de la nouvelle connaissance visée (figure 1.16).

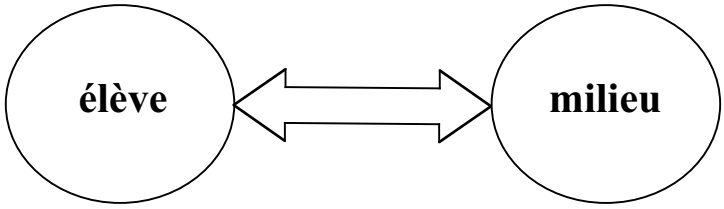


Figure 1.16 : L'élève apprend en s'adaptant à un milieu défini comme un système antagoniste.

Ce milieu est défini comme un système antagoniste à l'élève (Brousseau 1986, p. 89), la construction d'une nouvelle connaissance se fait "contre" le milieu, qui sanctionne les choix inadaptés de l'élève.

Cependant, en partant d'une réflexion sur l'articulation des cadres théoriques à propos du concept de milieu, Perrin-Glorian (1999, p. 299) montre qu'il est possible d'envisager la notion de milieu à partir d'une approche anthropologique (Chevallard, 1991). Elle cite notamment les travaux de Julien & Tonnelle (1999) ainsi que ceux d'Artaud (1999) où le milieu est considéré comme "allié" plutôt qu'antagoniste à l'élève. Cependant, comme nous l'avons déjà signalé la théorie anthropologique évite toute référence à une théorie de l'apprentissage. C'est pourquoi, nous proposons d'utiliser une notion de milieu qui serait intermédiaire entre le point de vue de Brousseau et celui de la théorie anthropologique. Pour nous, le milieu est composé d'éléments avec lesquels l'élève va interagir pour construire de nouvelles connaissances, c'est-à-dire que **l'élève apprend en interagissant avec les éléments du milieu.**

3.3.2. Caractérisation du milieu

Pour nous, le milieu est une reconstruction du chercheur dans lequel il choisit de mettre les éléments de la situation d'enseignement qu'il estime pertinents pour rendre compte de l'apprentissage de l'élève (Veillard 2000). Le choix des éléments sélectionnés par le chercheur pour reconstruire le milieu est conditionné par les hypothèses qu'il adopte sur

l'apprentissage. Pour choisir les éléments, nous sommes partis, des différents types d'interaction que l'élève pouvait avoir au cours d'une situation d'enseignement :

1. **les interactions sociales avec les individus**, à travers les discussions que l'élève peut avoir avec les autres personnes de la classe ;
2. **les interactions avec les expériences,** c'est-à-dire lorsque l'élève manipule des objets expérimentaux. ;
3. **Les interactions avec les supports didactiques**, mis à la disposition de l'élève durant l'enseignement (textes du modèle, énoncés, logiciel de simulation, correction au tableau...).

Nous considérons qu'il y a interaction entre l'élève et les éléments du milieu, puisque le milieu rétroagit aux actions de l'élève, qui va du coup modifier ses actions. À partir de ces différents types d'interactions et des hypothèses que nous adoptons sur l'apprentissage, nous avons déterminé les éléments du milieu que nous estimons pertinents pour rendre compte de l'apprentissage des élèves (figure 1.16).

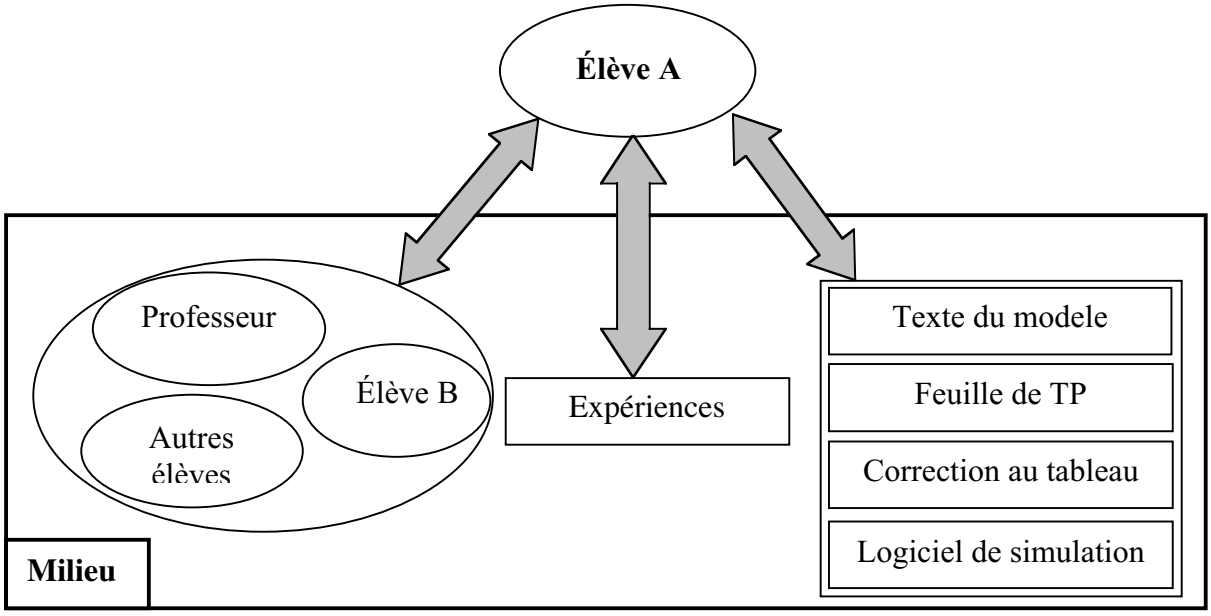


Figure 1.16 : Éléments du milieu avec lesquels l'élève interagit pour construire ses connaissances

Le choix de ces éléments a été guidé par les hypothèses que nous adoptons sur l'apprentissage. Nous rappelons que nous accordons un rôle primordial au langage (Vygotski

1998) et que pour nous les connaissances sont internalisées par un individu dans les échanges en référence à des contextes particuliers. Ces échanges seront de natures différentes si l'élève discute avec son binôme ou bien avec d'autres élèves de la classe ou encore avec le professeur.

Malgré la place centrale accordée au langage, nous considérons que les actions matérielles avec les objets jouent aussi un rôle important (Piaget 1972) et notamment que l'élève construit de nouvelles connaissances en interagissant avec les objets du monde matériel.

Le choix des éléments liés aux supports didactiques s'appuie sur plusieurs approches sur l'apprentissage. Le texte du modèle s'inspire directement des hypothèses issues de la modélisation (Tiberghien 2000) qui considèrent qu'il est important d'établir des relations entre les éléments du monde des théories et des modèles et le monde des objets et des événements. Dans la continuité de cette approche, Buty (2000) considère que les logiciels de simulation peuvent être envisagés comme étant des modèles "matérialisés". La séquence d'enseignement sur les gaz utilise un logiciel de simulation du modèle microscopique des gaz (Chauvet, Duprez & Rouzé 2001). C'est pourquoi, nous l'avons sélectionné parmi les éléments du milieu. Établir des liens entre différents registres sémiotiques (Duval 1995) nécessite de passer par un support écrit. Durant l'enseignement, ce support peut être la feuille de TP de l'élève, le texte du modèle ou encore la correction au tableau. Le rôle de ces différents éléments est bien plus large que les registres sémiotiques. Par exemple, la feuille de TP sert aussi de support aux consignes, qui définissent en partie ce que les élèves vont avoir à charge de gérer. Nous considérons que les consignes contribuent en partie à établir le contrat didactique entre les élèves et le professeur (Brousseau 1998). De plus, la signification donnée aux mots dans les consignes, risque d'influencer le sens que les élèves vont leur donner.

En résumé, nous nous sommes servis de la notion de milieu pour définir les éléments des situations d'enseignement que nous estimons pertinents pour étudier l'apprentissage des élèves. Le choix de ces éléments a été guidé par nos hypothèses sur l'apprentissage.

Conclusion sur le modèle des idées

Dans cette partie, nous avons défini le modèle *des idées,* en spécifiant entre autres son grain d'analyse et les critères de stabilité d'une idée. Nous avons ensuite envisagé une description de l'évolution des idées en termes de liens, qui nous a conduit à définir plusieurs types d'évolution. Pour finir, nous avons spécifié les éléments du milieu, que nous adoptons pour étudier les facteurs responsables de ces évolutions. Le choix de ces éléments s'est basé sur certaines de nos hypothèses sur l'apprentissage.

Conclusion sur notre cadre théorique

Pour bâtir ce cadre théorique, nous avons, dans un premier temps, adopté des hypothèses sur l'apprentissage en nous basant sur les différents courants de la psychologie, sur des éléments concernant le fonctionnement du savoir physique et sur les travaux didactiques sur les raisonnements des élèves. Dans un second temps, nous nous sommes positionnés par rapport aux principaux travaux de la théorie didactique du changement conceptuel et nous avons étudié les différents types de modélisations proposés afin d'adopter le plus adapté pour mener à bien notre étude. Finalement, nous avons élaboré un modèle : *les idées,* en nous inspirant des modèles de Minstrell (1992) et de Balacheff (1999). Au cours de cette élaboration, nous avons proposé plusieurs types d'évolutions pour les idées. Pour finir, nous avons utilisé la notion de milieu, afin d'étudier les facteurs responsables de l'évolution des idées.

Chapitre 2. Problématique

**"Des chercheurs, on en trouve,
mais des trouveurs, on en cherche."
Charle de Gaulle**

Introduction

Notre étude s'intéresse au rôle d'une séquence d'enseignement sur l'apprentissage des élèves. Ce questionnement d'ordre général va être spécifié par nos questions de recherche, qui s'appuient sur notre cadre théorique. Nous allons dans un premier temps, préciser les questions traitant de l'évolution des idées des élèves, pour dans un second temps, nous intéresser aux facteurs responsables de cette évolution.

Questions de recherche

1. Comment évoluent les idées des élèves de seconde au cours d'une séquence d'enseignement sur les gaz ?

Cette question sur l'évolution conduit à deux sous questions. La première est relative à la comparaison des idées des élèves avant et après l'enseignement. La seconde porte sur l'évolution tout au long de la séquence d'enseignement.

Parmi les nombreux facteurs susceptibles de jouer un rôle dans cette évolution, nous proposons de nous centrer sur les connaissances préalables des élèves et les différents éléments du milieu.

2. Quels rôles jouent les connaissances préalables dans l'évolution des idées ?

Pour nous, les connaissances préalables jouent un rôle important dans l'apprentissage. Parmi les nombreuses connaissances préalables susceptibles d'intervenir, nous faisons le choix de nous centrer sur :

1. Les connaissances des élèves d'ordre lexical, ce qui nous amène à la question : quelles sont les significations des mots que les élèves sont amenés à utiliser au cours de la séquence d'enseignement ?

2. Les connaissances quotidiennes des élèves sur les gaz, ce qui conduit à poser la question : quelles sont les connaissances quotidiennes qui sont utilisées dans les situations proposées par l'enseignement ?

3. Les connaissances physiques des élèves sur les gaz. Ceci soulève d'une part la question de leurs connaissances sur les objets et événements relatives aux gaz et d'autre part la question des connaissances d'ordre théorique nécessaires pour traiter les questions proposées par l'enseignement.

3. Quels rôles jouent les situations d'enseignement dans l'évolution des idées ?

Nous avons postulé que l'élève apprend en interagissant avec son environnement. Dans le cadre spécifique d'un enseignement sur les gaz, ceci nous conduit à nous interroger sur le rôle des situations proposées par l'enseignement. Pour rendre compte de ces situations, nous utilisons la notion de milieu, qui, comme nous l'avons présenté dans notre cadre théorique est caractérisée à partir d'un certain nombre d'éléments jugés pertinents du point de vue de l'apprentissage (voir figure 2.13 du cadre théorique). Cette approche vise à savoir **quel est le rôle des différents éléments du milieu dans l'évolution des idées des élèves ?**

Cette question nous conduit à nous interroger sur le rôle spécifique que jouent les individus, les expériences et les supports didactiques sur cette évolution.

3.1 Quels rôles jouent les échanges entre les individus dans l'évolution des idées d'un élève ?

Durant la séquence d'enseignement sur les gaz, les élèves travaillent en petits groupes de deux pour les TP et de quatre pour les cours en classe entière. Le professeur a établi clairement la règle de travail suivante : les élèves doivent se mettre d'accord avant de rédiger leur réponse et au cours de ce travail, ils peuvent demander des explications au professeur, mais aussi aux autres élèves de la classe. Cette manière de fonctionner conduit à s'interroger sur le rôle que jouent les différentes personnes sur l'évolution des idées d'un élève. Nous nous

intéressons notamment au rôle de ces personnes sur la signification que l'élève va donner aux mots et à celui des idées émises par les autres personnes que l'élève va réutiliser dans ses explications ou plus largement dans ses activités.

3.2 Quels rôles jouent les expériences dans l'évolution des idées ?

Les élèves sont amenés à réaliser différentes expériences au cours de la séquence d'enseignement sur les gaz et nous nous interrogeons sur le rôle qu'elles peuvent jouer sur l'évolution des idées. De manière plus précise, nous nous demandons d'une part quel rôle jouent les expériences simples (c'est-à-dire n'utilisant pas d'appareil de mesure), notamment l'apport du toucher dans la construction des phénomènes utilisant les gaz et d'autres part quel rôle jouent les expériences utilisant des appareils de mesure, dans le cas d'une approche qualitative ou d'une approche quantitative.

3.3 Quels rôles jouent les supports didactiques (modèles, énoncés, simulateurs...) sur l'évolution des idées ?

Au cours de l'enseignement sur les gaz, les élèves vont utiliser les énoncés des questions, la correction au tableau, les modèles et un simulateur sur les gaz. Nous nous interrogeons sur le rôle de chacun de ces supports sur l'évolution des idées des élèves. L'utilisation des énoncés par les élèves soulève notamment les questions de leur influence sur la signification que les élèves vont donner aux mots du savoir physique, ainsi que sur les liens entre les registres sémiotiques que les élèves peuvent établir. Nous avons le même type d'interrogations concernant la correction au tableau. Concernant les modèles sur les gaz, nous nous demandons si les élèves vont les utiliser lorsque ce n'est pas demandé dans l'énoncé et dans ce cas-là, quels sont les éléments du modèle utilisés. Nos interrogations sur le simulateur sont du même ordre puisqu'elles portent sur les propriétés du simulateur utilisées par les élèves, notamment dans leurs explications du mécanisme des chocs.

Conclusion

Maintenant que nous avons spécifié notre problématique à l'aide de nos questions de recherche, nous proposons de présenter la méthodologie que nous avons mise en place pour répondre à ces questions.

Chapitre 3. Méthodologie

**"L'homme n'est pas fait pour travailler,
la preuve ça le fatigue."
Jean-Jacques Rousseau**

Introduction

Nous allons présenter et justifier nos choix à propos de l'expérimentation retenue, la récolte des données, ainsi que la méthode adoptée pour traiter ces données.

1. Justification de l'expérimentation retenue

L'expérimentation que nous avons choisie pour mener à bien notre étude se justifie par les considérations suivantes.

1.1. Choix d'une étude à plusieurs niveaux

Notre étude s'intéresse à l'évolution des connaissances des élèves durant une séquence d'enseignement sur les gaz. Afin de bien cerner cette évolution, nous avons décidé de traiter cette question en utilisant des approches se situant à des niveaux différents. Il s'agit d'une part de faire une étude "globale" sur un grand nombre d'élèves provenant de classes différentes et d'autre part d'étudier "finement" un nombre restreint d'élèves appartenant à la même classe.

Ces deux niveaux d'étude s'intéressent aux idées des élèves **avant** et **après** la séquence d'enseignement sur les gaz. Seule l'étude "fine" permet de suivre l'évolution des idées **pendant** l'enseignement.

Cette étude à des niveaux différents devrait nous permettre de situer l'évolution des élèves suivis finement par rapport aux autres élèves de leur classe et aussi par rapport à ceux des autres classes.

1.2. Nécessité d'une étude de cas en continue sur une longue durée

Nos hypothèses d'apprentissages supposent que l'évolution des connaissances à long terme dépend de microchangements intervenus à courts termes. Pour décrire ces

microchangements en termes d'idées, il est nécessaire de faire une étude de cas, qui englobe la totalité de la séquence d'enseignement sur les gaz.

Méthodologiquement, ces études de cas de longue durée peuvent être envisagées de plusieurs façons (Niedderer, Goldberg & Duit 1991) :

1. Les données sont recueillies en continu durant l'enseignement, afin de décrire la totalité du cheminement de l'élève,

2. Les données sont recueillies à des moments différents tout au long de la séquence, dans le but de décrire les points importants la progression de l'élève.

Nous avons choisi de recueillir nos données en continue durant l'enseignement, ce qui nous rapproche des travaux antérieurs menés, par Tiberghien (1980) sur le concept de chaleur et de température, Séré (1980) sur l'air et les gaz, Fischer & Aufschnaiter (1991) en électrostatique et Buty (2000) sur l'optique géométrique.

1.3. Une étude dans une classe réelle sans intervention de l'observateur

À partir du moment où l'on se fixe comme objectif l'étude de l'évolution des idées des élèves en relation avec les différents éléments des situations de l'enseignement, il apparaît indispensable que ce travail se déroule dans une classe réelle.

De plus, nous avons fait le choix méthodologique, que l'observateur n'intervienne pas durant le déroulement de la séquence d'enseignement et qu'il se fasse le plus discret possible, afin d'essayer de ne pas perturber la classe. Nous avons parfaitement conscience que la présence d'un observateur et de plusieurs caméras, modifie le fonctionnement habituel de la classe. Cependant, nous pensons que cette perturbation n'est pas très importante et que l'écart entre le fonctionnement "habituel" de la classe et le fonctionnement avec un observateur reste relativement faible.

1.4. Nécessité de construire une séquence d'enseignement

La construction d'une séquence d'enseignement sur les gaz nous est apparue comme indispensable dans le cadre de notre étude. Cette condition a pu être réalisée grâce à un projet de recherche et développement, dans lequel enseignants et chercheurs ont travaillé ensemble

pour concevoir cette séquence. Notre étude s'est faite en collaboration avec les participants de ce projet.

L'élaboration de cette séquence est en accord avec les hypothèses d'apprentissage que nous adoptons sur le rôle de la modélisation et des registres sémiotiques. Elle conduit à l'utilisation par les élèves d'un ou plusieurs modèles durant l'enseignement, ainsi que l'emploi dans les énoncés de la séquence d'enseignement de différents registres sémiotiques représentant les concepts.

En deuxième lieu, cette élaboration a bénéficié de l'apport des précédents travaux en didactique sur les conceptions des élèves (voir cadre théorique), ainsi que sur les séquences élaborées dans le cadre d'un enseignement sur les gaz (particulièrement les travaux de Chomat, Larcher & Méheut (1988) et Méheut (1996)).

En dernier lieu, outre le fait de tenir compte des précédents travaux en didactique, la progression a tennu compte des différents aspects du concept de pression. Au cours de cette progression, les contraintes du programme ont dû être respectées, afin de s'inscrire dans le cadre d'une classe réelle. Ceci a conduit à introduire toute une gamme de limitations qui seront traitées ultérieurement dans le chapitre suivant sur la séquence d'enseignement sur les gaz.

1.5. Abandonner l'idée d'une étude comparative

Nous pensons que l'essentiel des résultats d'une étude comparative entre des enseignements réside dans le choix des situations utilisées pour effectuer cette comparaison et donc que certaines situations avantageront certains types d'enseignement. Ceci nous conduit à nous interroger sur le rôle des situations proposées sur les résultats obtenus. Plutôt que de nous lancer dans cette entreprise délicate, nous partons du principe que des enseignements différents jouent des rôles différents sur l'apprentissage des élèves. C'est pourquoi, nous choisissons de partir du principe qu'il est plus pertinent d'essayer d'identifier le rôle que joue l'enseignement plutôt que de comparer l'efficacité de deux enseignements produisant des effets différents.

2. Organisation du recueil des données

2.1. Type de données utilisées

Afin de pouvoir mener une étude "globale" sur un nombre important d'élèves, nous avons décidé d'utiliser un questionnaire écrit, comportant des situations de la vie quotidienne, demandant soit des explications soit de faire des schémas.

Notre étude "fine" sur un nombre restreint d'élèves fait appel à plusieurs types de données, afin de multiplier les informations récoltées sur chacun des élèves. Pour affiner les informations récoltées à partir du questionnaire, nous avons décidé d'utiliser un entretien filmé, comportant des situations expérimentales, demandant aux élèves de faire des prédictions, de manipuler, puis de donner des explications. Pour compléter ces données nous avons décidé de filmer les élèves et de récolter leurs productions écrites durant l'enseignement sur les gaz.

2.2. Choix des échantillons

Ayant abandonné l'idée de faire une étude comparative, nous avons fait passer le questionnaire a uniquement dans des classes ayant suivi notre enseignement sur les gaz. Afin de minimiser les écarts entre l'enseignement dans ces classes, nous avons décidé de n'étudier que les classes dont les enseignants ont participé à l'élaboration de la séquence. Le détail de ces classes sera donné lors de l'analyse des questionnaires.

L'étude "fine" des élèves durant l'enseignement nécessite qu'ils participent au cours et discutent entre eux. Nous avons choisi les élèves sur cette base en concertation avec l'enseignante. De plus, pour avoir un aperçu de la classe, nous avons sélectionné un groupe de bons élèves, deux groupes d'élèves moyens et un groupe d'élèves faibles du point de vue de l'enseignante.

2.3. Condition de recueil des données

Questionnaires

Nous avons fait passer un questionnaire de trente minutes, dans trois classes de seconde. En tout, nous avons interrogé **95** élèves avant l'enseignement et **86** élèves après. La

différence du nombre d'élèves provient de l'absence de certains élèves. Le questionnaire s'est déroulé de manière anonyme de façon à ce que les élèves répondent le plus librement possible. Cependant, nous avons attribué un numéro à chacun des élèves, afin de pouvoir suivre précisément leur évolution. Nous avons précisé aux élèves que le questionnaire ne serait pas noté et que toutes leurs justifications étaient importantes pour nous.

Entretiens

Nous avons fait passer un entretien filmé de trente minutes à **8** élèves de la même classe, avant et après l'enseignement sur les gaz. Durant cet entretien, les élèves sont amenés à prédire ce qui va se passer, à manipuler des objets provenant du quotidien et à donner des explications. Parmi l'ensemble des situations proposées dans l'entretien, nous avons choisi volontairement que certaines d'entre elles soient très proches des situations proposées par le questionnaire. Ce choix nous permet de tester si les élèves répondent de la même façon dans des situations proches. Durant l'entretien, nous avons utilisé des situations issues du quotidien, ou qui du moins utilisent des objets du quotidien, afin de ne pas favoriser les réponses utilisant des connaissances physiques. Comme pour le questionnaire, nous avons précisé aux élèves que toutes leurs justifications nous intéressaient et qu'ils n'hésitent pas à dire tous ce qui leur passe par la tête. Pour limiter l'influence de l'intervieweur sur les réponses des élèves, nous avons fait le choix d'essayer, autant que possible, de réutiliser les mots des élèves, ainsi que dans certains cas de leur faire définir les mots qu'ils utilisent, afin de pouvoir les utiliser avec la même signification qu'eux.

Vidéos de classe et productions écrites

Nous avons filmé et recueilli les productions écrites des huit élèves, ayant passé l'entretien, durant la totalité de l'enseignement sur les gaz. Rappelons que les élèves travaillent en groupe de deux pendant les TP et en groupe de 4 durant les cours (figure 3.1).

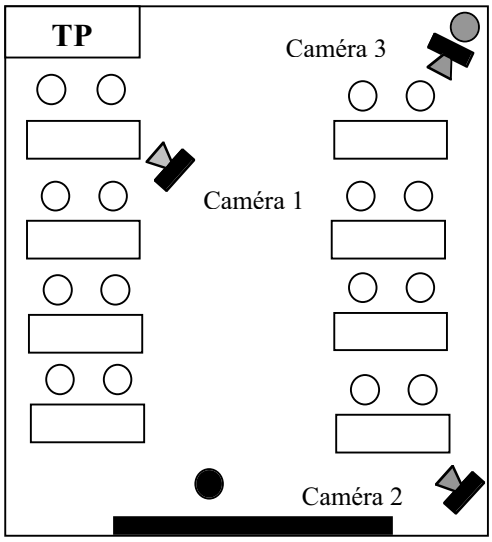


Schéma 1 : caméras durant un TP

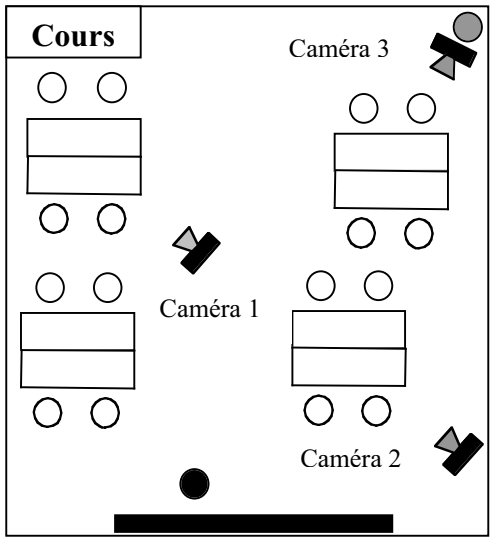


Schéma 2 : caméras durant un cours

Figure 3.1 : Disposition des caméras dans la classe (rond blanc=élève, rond noir=professeur, rond gris=observateur).

Nous avons choisi de filmer les élèves en plan fixe (c'est-à-dire sans mouvement de la caméra), ce qui évite qu'une personne reste derrière la caméra, permettant que les élèves oublient plus facilement qu'ils sont filmés. En complément, nous avons filmé l'enseignante, afin d'avoir des informations sur le déroulement du cours dans la classe (figure 3.2).



Figure 3.1 : Exemple de vidéo de deux élèves en classe (l'observateur est derrière en train de filmer l'enseignante)

Résumé des données recueillies

En tout, nous avons recueilli environ 180 questionnaires, 8 heures de vidéos d'entretiens, 28 heures de vidéos d'élèves en classe et 80 pages des feuilles de TP. La figure 3.3 présente ces données en fonction du temps.

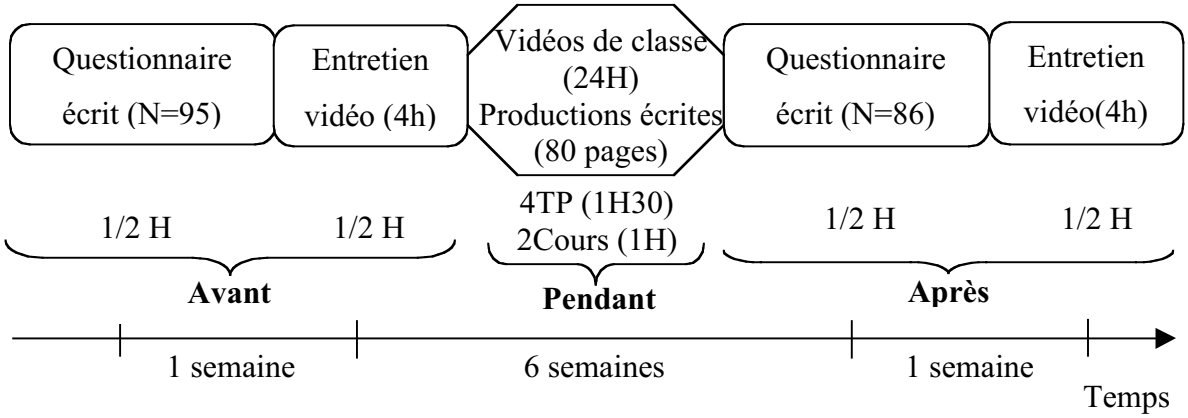


Figure 3.3 : Quantité de données recueillies avec leurs durées spécifiques (en heures) ainsi que l'intervalle de temps entre chaque prise de données (en semaines).

L'enseignement sur les gaz était prévu à initialement pour une durée de trois semaines. Cependant, la classe que nous avons suivie a alterné toutes les semaines les cours de physique avec ceux de chimie, c'est pourquoi la séquence d'enseignement s'est déroulée sur une période de six semaines. De plus, le déroulement de cette séquence a été le suivant : TP1, TP2, cours 1, cours 2, TP3, TP4.

Incident de parcours

À la fin de notre expérimentation, nous nous sommes fait voler un sac contenant entre autres les vidéos de classe du cours 3 et les entretiens finaux. Notre expérimentation s'étant déroulée à la fin de l'année scolaire, il nous a fallu attendre la rentrée pour recontacter les élèves. Certains avaient changé de lycée, mais nous avons quand même réussi à refaire passer l'entretien final à cinq d'entre eux. Entre temps, un délai de 5 mois s'est écoulé entre le questionnaire final et ce nouvel entretien.

À la suite de cette première expérimentation, nous avons modifié la séquence d'enseignement en tenant compte d'un certain nombre d'éléments observés au cours d'une analyse partielle de nos données. Nous avons ensuite mené une seconde expérimentation sur cette nouvelle séquence. Cette fois-ci, nous avons suivi quatre classes (environ 200 questionnaires avant/après) et étudié finement huit élèves (8 heures de vidéos d'entretien avant/après, 24 heures de vidéos de classe et 80 pages de productions écrites).

3. Analyse des données

3.1. Choix des données analysées

Nous avons accumulé une masse importante de données au cours des deux expérimentations. La totalité de ces données ont été regardées, cependant il nous est impossible pour des raisons de temps de traiter ce corpus dans sa globalité. C'est pourquoi, nous avons décidé de nous centrer sur la première expérimentation en analysant la totalité des questionnaires des trois classes, ainsi que les données recueillies sur deux élèves (que nous nommerons Anne et Ellen). Du fait du vol d'une partie de nos données, il nous manque la vidéo de classe du TP3, ainsi que l'entretien final d'Ellen. Parmi les quatre groupes que nous avons filmés, nous avons choisi d'analyser Anne et Ellen, car c'est le groupe qui a le plus participer à la séquence d'enseignement. De plus, l'enseignante considère que ces deux élèves sont de niveau moyen, ce qui les rend représentative d'une partie des élèves de la classe.

3.2. Traitement des données de l'étude "globale"

Le grain d'analyse des idées étant trop fin pour pouvoir traiter un grand nombre de questionnaires, nous avons fait le choix de ne pas les utiliser dans le cadre de l'étude "globale". Concrètement, pour traiter les questionnaires des élèves des trois classes, nous avons mis au point une grille d'analyse, regroupant différentes catégories de réponse définies *a priori* pour chaque question. Ces catégories ont été enrichies par l'analyse *a posteriori*. Pour bâtir ces catégories, nous nous sommes basés sur des travaux sur les conceptions des élèves sur les gaz (voir cadre théorique) tout en essayant de définir pour chaque catégorie des critères lexicaux. Par exemple, pour catégoriser les réponses se situant au niveau microscopique, nous avons choisi de prendre comme critère lexical, les mots molécule, particule et atome. Nous donnons le détail de nos catégories dans la partie "analyse de l'évolution des élèves sur plusieurs classes".

Tous les questionnaires ont été analysés une première fois, nous avons en suite refait la même analyse à partir de nos catégories. Nous avons retrouvé les mêmes résultats à environ 4 % près, pour la quasi-totalité des questions. Les résultats des questions qui ont été retrouvés avec une marge supérieure à 10 % ne sont pas présentés dans cette recherche.

La catégorisation des réponses des élèves des trois classes, nous a permis dans un premier temps, de situer brièvement l'évolution de la classe suivie finement par rapport aux deux autres classes. Puis dans un second temps de situer l'évolution d'Anne et d'Ellen par rapport aux autres élèves de leur classe. Le détail de ces comparaisons sera donné dans la partie "analyse de l'évolution des élèves sur plusieurs classes".

3.3. Traitement des données de l'étude "fine"

Le traitement des données de l'étude "fine" se base sur le modèle des idées pour suivre l'évolution des idées. Cette partie propose de justifier nos choix concernant le traitement des différentes données que nous avons recueillies.

3.3.1. Traitement des données

Nous avons fait le choix méthodologique d'analyser dans un premier temps chaque donnée de manière indépendante. Pour cela nous reconstruisons les idées de chaque élève pour chacune des données suivantes : questionnaire avant, entretien avant, vidéos de classe pendant, questionnaire après, entretien après (figure 3.4). Au cours de cette reconstruction, nous essayons d'expliciter au maximum nos critères, afin que cette analyse puisse être reproduite par un autre chercheur.

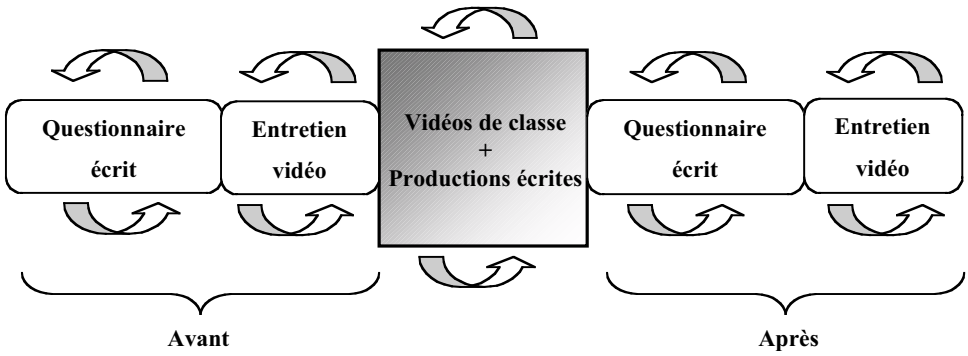


Figure 3.4 : Analyses indépendantes de chacune des données

Une fois la reconstruction des idées terminée, nous comparons dans un second temps, les idées entre elles, afin de voir si on retrouve les mêmes à travers nos différentes données. Cette comparaison permet de tester la stabilité des idées dans le temps, car chaque donnée a été prise à des instants différents, mais aussi de tester la stabilité des idées à travers les différentes situations mises en jeu.

3.3.2. Traitement du questionnaire et de l'entretien avant et après la séquence d'enseignement

Nous proposons de décrire rapidement comment les idées sont reconstruites à partir du questionnaire, puis de l'entretien filmé. À la suite de cette reconstruction, nous illustrons comment la comparaison de ces idées permet de suivre leur évolution, ainsi que de faire des hypothèses sur les situations de l'enseignement qui sont responsables de cette évolution.

3.3.2.1. Reconstruction des idées à partir du questionnaire

Le questionnaire demande aux élèves de répondre soit en donnant des explications écrites en langue naturelle, soit en représentant les gaz sur des dessins. Nous reconstruisons les idées des élèves à partir de ces deux types de réponses en explicitant les critères que nous avons sélectionnés, de manière à ce qu'une autre personne puisse reproduire notre analyse.

Il est très fréquent qu'une réponse permette de reconstruire plusieurs idées. Par exemple, la figure 3.5, représentant un ballon rempli d'air, nous permet de reconstruire l'idée 1 *l'air est composé de molécules* et l'idée 2 *les molécules se répartissent partout* (par convention nous notons les idées en italique).

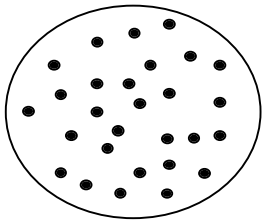


Figure 3.5 : Dessin d'un ballon rempli d'air

La première idée ne peut pas être reconstruite directement à partir de ce dessin. En effet, il est nécessaire de s'appuyer sur l'énoncé de la question, qui précise que c'est de l'air qu'il faut représenter. Lorsque nous avons besoin d'un élément de l'énoncé, pour reconstruire une idée, nous le signalons. Nous reconstruisons chaque idée en signalant la ou les situations qui lui sont associées. L'ensemble des situations dans lesquelles une idée apparaît représente le domaine d'application de cette idée, nous le signalons en donnant le nom abrégé des situations entre parenthèses : *molécules se répartissent partout* (ballon de foot, pompe à vélo). Ceci signifie que l'idée les molécules se répartissent partout a été utilisée dans les situations du ballon de football et de la pompe à vélo.

Dans le cas d'une explication écrite, nous procédons de la même façon. Par exemple, pour la phrase d'élève "*les molécules vont **agir** sur les paroi de la pompe à vélo parce qu'elles sont **concentrée** sur les parois*" (par convention nous notons les productions d'élèves en italique et entre guillemets, sans corriger l'orthographe), nous reconstruisons les idées : (1) *les molécules agissent sur les parois* et (2) *les molécules sont concentrées sur les parois.* Le terme "parce que" relie ces deux idées par un lien de causalité simple. En effet, les molécules agissent (effet) parce qu'elles sont concentrées (cause). Nous notons ces deux idées reliées par le lien de causalité simple : *les molécules sont concentrées sur les parois* → *les molécules agissent sur les parois* (le → signifie lien de causalité simple). Nous présenterons plus en détail la reconstruction des idées dans le chapitre 6.

3.3.2.2. Reconstruction des idées à partir de la vidéo de l'entretien

Toutes nos données vidéos ont été numérisées, afin de pouvoir les traiter par le biais de l'informatique. Nous faisons le choix méthodologique de reconstruire les idées des élèves directement à partir de la vidéo numérisée. C'est pourquoi, nous proposons d'expliciter les critères que nous utilisons pour faire cette reconstruction.

La reconstruction des idées se base essentiellement sur le discours oral des élèves. Comme le signale Kerbrat-Orecchioni (1996, p. 27), "la communication orale est **multicanale** et **plurisémiotique** : Nous parlons avec nos organes vocaux, mais c'est avec tout le corps que nous conversons". L'étude de la communication non-verbale prend en compte différents éléments passant par le canal visuel : les regards, les mimiques, la posture, les gestes... (Cosnier & Brossard 1984). Dans notre cas, nous faisons le choix de nous limiter aux gestes des bras. Parmi les différents types de gestes : déictiques, iconiques, métaphoriques, battements... (Scherer 1984, McNeil 1992), nous faisons le choix de nous centrer sur les gestes iconiques (qui décrivent les objets matériels) et métaphoriques (qui décrivent des objets conceptuels, comme par exemple le temps). Ce choix a été guidé par les travaux de Roth (1999), qui montre l'importance de ces gestes dans la conceptualisation des élèves.

Cependant, comme nous l'avons présenté dans notre cadre théorique, le discours ne permet pas d'avoir accès directement à la pensée des élèves, car il est conditionné par le contexte et les pratiques discursives (Edwards 1993). Pour pouvoir reconstruire adéquatement les idées à partir des productions (verbales et gestuelles) d'un élève, il faudrait théoriquement

que nous disposions de l'ensemble des éléments contextuels qu'utilise cet élève. Cette situation idéale n'est évidemment jamais réalisée, et l'entreprise de reconstitution du contexte "total" est toujours désespérée. C'est pourquoi, nous utilisons la notion de **contexte pertinent** (Kerbrat-Orrechionni 1996, P. 21), qui consiste à sélectionner parmi les différents éléments contextuels, ceux qui nous semblent pertinents pour analyser le sens des productions des élèves. Nous utilisons cette notion uniquement comme un outil méthodologique servant à analyser les productions des élèves. Pour notre étude, le contexte pertinent se compose des éléments suivants : le temps, les énoncés des questions de l'entretien, et les actions de l'élève, lorsqu'ils manipulent les objets des situations proposées par l'entretien (nous désignons ce type d'actions par le terme "gestes manipulatoires").

Concrètement, lorsqu'une idée apparaît sur un extrait de la vidéo, nous faisons la transcription des productions (verbales, non-verbales et de ses gestes manipulatoires) sur la totalité de la question (Tableau 3.1). Pour rendre plus explicite notre méthode, nous avons essayé de déterminer une liste de mots (air, gaz, molécule, pression, presser...) qui permette de justifier les questions que nous retranscrivons (nous donnons la totalité de cette liste dans le chapitre 6).

Temps	**Question 6.1.**- Peux-tu attraper de l'air avec une bouteille ? explique comment ?	
13m10s	A : là dedans (*A montre la bouteille*) D :ouais A : en faisant comme ça (*A bouche la bouteille*) D : d'accord et alors comment tu peux être sûr qu'il y a de l'air dedans ? A : ben parc'que forcément il y a de **l'air** qui rentre **(*A pointe avec son doigt vers l'intérieur de la bouteille*)/ y'en a tout le temps dedans**/ donc dès que j'bouche y'en aura encore (*A bouche la bouteille*)	*l'air est présent dans la bouteille*

Tableau 3.1 : Transcription des productions d'un élève (les gestes sont mis entre parenthèses dans la transcription, A représente l'élève et D l'intervieweur).

Pour reconstruire, l'idée *l'air est présent dans la bouteille*, nous avons utilisé les mots qui sont en gras dans le texte, ces mots représentent une unité de sens (voir cadre théorique partie reconstruction des idées). Les idées sont reconstruites en se basant sur les plus petites unités de sens définies à partir des productions des élèves. Les unités de sens dépendent du contexte, que nous définissons à partir l'ensemble des éléments de la situation que nous estimons pertinents pour comprendre les productions des élèves.

3.3.2.3. Comparaison des idées issues de l'entretien et du questionnaire

Après avoir reconstruit de manière indépendante les idées issues du questionnaire (passé avant puis après l'enseignement) et de l'entretien (passé avant puis après l'enseignement), nous effectuons, dans un premier temps, une comparaison entre les idées du questionnaire et de l'entretien passé avant l'enseignement (étape 1 de la figure 3.6). Le but de cette comparaison est de voir si les élèves utilisent les mêmes idées pour traiter les situations.

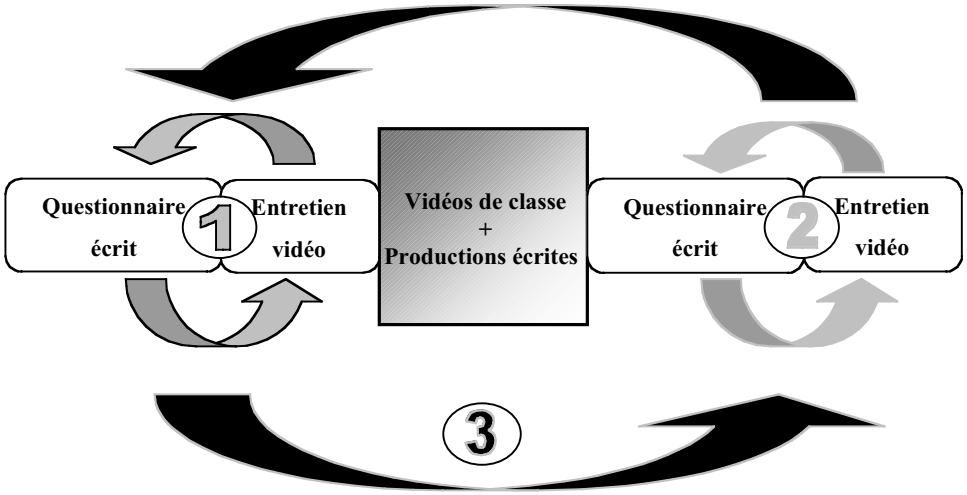


Figure 3.6 : étapes de la comparaison des idées issues de l'entretien et du questionnaire

Dans cette première comparaison, deux paramètres nous semblent importants, (1) le temps qui s'est écoulé entre le recueil du questionnaire et de l'entretien, et (2) le fait que les conditions de passages de ces deux types de données sont différentes. L'intervalle de temps entre le recueil du questionnaire et de l'entretien est relativement court (de l'ordre d'une semaine), c'est pourquoi, nous pensons que ce sont plutôt les conditions de passages différentes qui vont jouer un rôle pour tester la stabilité des idées. Dans un deuxième temps, nous comparons les idées issues des données recueillies après l'enseignement dans les entretiens et les questionnaires (étape 2 de la figure 3.6). Cette deuxième comparaison nous permet d'établir les idées qui sont stables après l'enseignement. Dans un troisième temps, nous comparons les idées avant l'enseignement avec celles après l'enseignement, afin de voir si elles ont évolué à la suite de l'enseignement (étape 3 de la figure 3.6). La séquence

d'enseignement a duré 6 semaines, donc c'est surtout la stabilité dans le temps qui est testée dans cette comparaison entre les idées.

3.3.3. Traitement des données pendant la séquence d'enseignement

Pour reconstruire les idées d'un élève durant la séquence d'enseignement sur les gaz, nous procédons de la même manière que pour l'entretien, c'est-à-dire que nous nous basons sur les productions verbales, non-verbales et gestuelles de l'élève en contexte. Cependant, les éléments pertinents sélectionnés pour rendre compte du contexte sont différents et nous choisissons de définir le contexte par :

-la question, que les élèves traitent,

-les personnes participant à la discussion (élèves du groupe, élèves extérieur au groupe, professeur),

-les actions qu'ils font durant la question (lire, écrire, parler, manipuler).

L'analyse de la vidéo nécessite de reconstruire dans un premier temps l'activité des élèves, pour pouvoir dans un second temps reconstruire leurs idées en tenant compte du contexte. Nous présentons les étapes de traitement de la vidéo que nous effectuons, pour pouvoir reconstruire les idées des élèves pendant la séquence d'enseignement.

3.3.3.1. Reconstruction de l'activité de l'élève à l'aide du logiciel Kronos

Nous reconstruisons l'activité de l'élève à l'aide du logiciel Kronos (Kerguelen 2001). Ce logiciel permet d'effectuer un codage en temps réel de la vidéo des événements observables, en marquant leur durée.

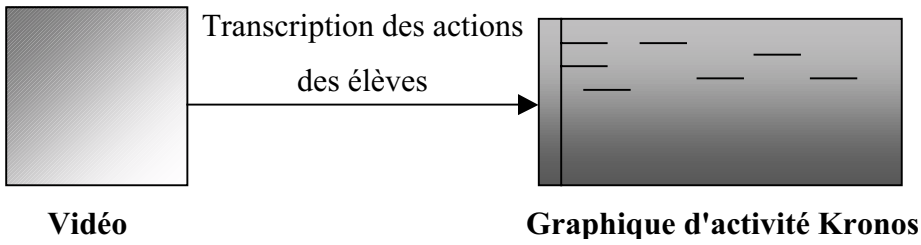


Figure 3.7 : Reconstruction de l'activité de l'élève à l'aide du logiciel Kronos

À partir de ce logiciel, nous avons codé en fonction du temps, les questions que l'élève est en train de traiter. Pour réaliser ce codage, nous avons utilisé les observables suivantes :

-lorsque l'élève lit la question à voix haute,

-lorsque l'élève discute de la question.

En nous inspirant de la méthodologie développée par Jeannin (2001), nous avons codé les actions des élèves et de l'enseignante durant le déroulement de la séquence :

-lorsque l'enseignante parle, en précisant si elle s'adresse à la classe ou à un élève en particulier,

-lorsque les élèves discutent, en précisant s'ils discutent entre eux, avec d'autres élèves ou avec l'enseignante,

-lorsque les élèves manipulent, en précisant qui manipule,

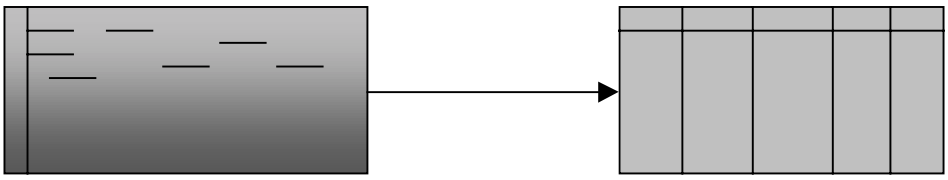
-lorsque les élèves lisent, en précisant s'ils lisent la feuille de TP, le texte du modèle ou le cahier de l'autre élève. Nous avons aussi spécifié lorsqu'ils lisaient à voix haute.

-lorsque les élèves écrivent ou effacent.

Une fois ce codage réalisé nous obtenons un graphique donnant la durée des actions des élèves, ainsi que les questions qu'ils traitent. Nous donnons un exemple d'un graphique donnant l'activité de deux élèves durant le premier TP de la séquence d'enseignement (voir le graphique Kronos intitulé "graphique d'activité du TP1" dans l'annexe de l'analyse fine pendant).

3.3.3.2. Changement du format des informations contenues dans Kronos

La seconde étape consiste à changer le format des informations contenues dans Kronos (figure 3.8).



Graphique d'activité Kronos **Tableau de l'activité**

Figure 3.8 : Changement des informations contenues dans Kronos

Les informations contenues dans Kronos sont ensuite présentées sous forme d'un tableau présentant : le temps, les questions traitées par les deux élèves, ainsi que leurs actions (Tableau 3.2).

Temps	Question	Description
00:13:20:00	P1 A1 Q3 macro	A lit la consigne sur sa feuille de TP
00:13:22:24		A & E parlent de ce qui change au niveau macroscopique A manipule la seringue
00:13:51:00	P1 A1 Q3 micro	A & E parlent de ce qui change au niveau microscopique
00:14:56:00	P1 A1 Q3 macro	A & E parlent de ce qui ne change pas au niveau microscopique
00:15:17:04		A & E parlent de ce qui a changé au niveau macroscopique E manipule la seringue

Tableau 3.3 : Tableau d'activité avec la description des actions

Chaque fois que les élèves lisent l'énoncé d'une question pour la première fois, nous la plaçons dans le tableau d'activité. Une fois que les énoncés sont ajoutés, le tableau d'activité contient les éléments de notre contexte pertinent (Tableau 3.4)

Temps	Question	Description
00:13:20:00	P1 A1 Q3 macro	A lit la consigne sur sa feuille de TP
Question 3. En se plaçant au niveau microscopique, indiquer ce qui a changé pour l'air		
00:13:22:00	P1 A1 Q3 macro	A & E parlent de ce qui a changé au niveau macroscopique A manipule la seringue

Tableau 3.4 :Tableau d'activité avec les questions.

Ce tableau définit le contexte que nous estimons pertinent pour pouvoir comprendre les productions des élèves. Dès qu'un élément du contexte change (question, personne qui discute, actions), nous ajoutons une nouvelle ligne dans notre tableau d'activité. Dans ce tableau, le contexte est donné par les éléments suivants en fonction du temps : l'énoncé des questions, les personnes qui sont en train de discuter (dans le tableau les élèves A et E), ainsi que les actions qu'ils effectuent (l'élève A manipule la seringue).

3.3.3.3. Transcription des productions orales et écrites des élèves

Dès que les élèves parlent à propos des gaz, nous faisons une transcription de leurs productions verbales, non-verbales, ainsi que de leurs gestes manipulatoires. Cette transcription est délimitée par le contexte, c'est-à-dire que nous retranscrivons toutes les productions des élèves se déroulant dans le même contexte. Dès qu'un élément du contexte change (changement de la question traitée, changement d'un des interlocuteurs, changement d'une action (par exemple passer de lire à manipuler), cela délimite la fin de l'extrait retranscrit. Pour rendre plus explicite le choix des extraits que nous retranscrivons, nous avons établi une liste de mots à partir d'une analyse a priori que nous avons enrichie après une analyse a posteriori :

1- les différentes façons de nommer l'air au niveau macroscopique (gaz, air) et au niveau microscopique (molécule, particule, atome),

2- les éléments de la physique mis en jeu dans la séquence (pression, volume, température, quantité de matière, masse, poids, force, surface, chocs, vitesse, macroscopique, microscopique),

3- les verbes décrivant l'action du gaz (agir, pousser, exercer).

De plus, nous essayons de reconstruire dans le temps ce que les élèves écrivent sur leurs feuilles durant l'enseignement. Pour cela, nous nous basons sur les productions écrites que nous avons recueillies, ainsi que sur la vidéo (notamment les moments où les élèves rédigent). Nous mettons leurs productions écrites dans nos tableaux d'activités.

Voici un exemple des productions des élèves avec le contexte (tableau 3.5)

Temps	**Question**	**Description**	**Transcription**
00:13:20:00	P1 A1 Q3 macro	A lit la consigne sur sa feuille de TP	
Question 3. En se plaçant au niveau microscopique, indiquer ce qui a changé pour l'air			
00:16:22:00	P1 A1 Q3 macro	A & E parlent de ce qui a changé au niveau macroscopique A manipule la seringue	[...] E : on peut pas dire qu'il y a une pression A : si (1s) c'qui a changé E : c'qui a changé A : oui, y'a une pression, oui, quand on appuie (*A bouche la seringue et appuie sur le piston*) on peut dire quand on appuie y'a une pression, qui fait qu'on peut pas arriver jusqu'au bout en fait/ on peut dire qu'on sent une pression de l'air
00:16:39:08		A & E rédigent leurs réponses	
Réponses écrites : **A :** "3. au niveau macroscopique, ce qui a changé : on a appuyé sur le piston et quand on appuye sur le piston, on remarque une pression de l'air" E: "3) Au niveau macroscopique, ce qui a changé : -on a appuyé sur le piston -on sent une pression de l'air"			

Tableau 3.5 : Productions des élèves A et E en contexte (les gestes sont mis entre parenthèses).

3.3.3.4. Reconstruction des idées

Une fois que nous avons les productions des élèves avec le contexte, nous sélectionnons les unités de sens permettant de reconstruire les idées (Tableau 3.6).

Temps	Question	Description	Transcription	Idée
00:13:20:00	P1 A1 Q3 macro	A lit la consigne sur sa feuille de TP		
Question 3. En se plaçant au niveau microscopique, indiquer ce qui a changé pour l'air				
00:16:22:00	P1 A1 Q3 macro	A & E parlent de ce qui a changé au niveau macroscopique A manipule la seringue	[...] E : on peut pas dire qu'il y a une pression A : si (1s) c'qui a changé E : c'qui a changé A : oui, y'a une pression, oui, quand on appuie (***A bouche la seringue et appuie sur le piston***) on peut dire **quand on appuie y'a une pression, qui fait qu'on peut pas arriver jusqu'au bout en fait/ on peut dire qu'on sent une pression de l'air**	A *appuie →air agit*
00:16:39:08		A & E rédigent leurs réponses		
Réponses écrites : **A :** "3. au niveau macroscopique, ce qui a changé : on a appuyé sur le piston et **quand on appuye sur le piston, on remarque une pression de l'air**" E: "3) Au niveau macroscopique, ce qui a changé : -on a appuyé sur le piston -on sent une pression de l'air"				

Tableau 3.6 : Sélections des unités de sens (en gras dans le texte) pour reconstruire les idées

À partir de ce que dit l'élève A, nous reconstruisons l'idée que l'air agit lorsque l'on pousse sur le piston d'une seringue fermée (noté *appuie→air agit*). Nous reconstruisons la même idée à partir de sa réponse écrite, les parties mises en gras représentent les unités de sens. Ce tableau est juste un exemple pour illustrer les unités de sens, nous ferons une analyse beaucoup plus détaillée, lorsque nous présenterons nos résultats (chapitre 6 et 7).

3.3.3.5. Les éléments du milieu responsables de l'évolution des idées

La reconstruction des idées des élèves sur la totalité de la séquence d'enseignement nous permet de suivre leur évolution. Chaque fois qu'une idée évolue au sens où nous l'avons défini dans notre cadre théorique (voir la partie type d'évolution des idées), nous essayons d'identifier le ou les élément(s) du milieu responsable(s) de cette évolution. Nous dressons ensuite une liste précisant le type d'évolution observé et les éléments susceptibles d'avoir joué

un rôle. Nous comparons ensuite cette liste avec l'analyse a priori de la séquence. Cette comparaison permet de voir le rôle de la séquence sur l'évolution des idées des élèves.

3.3.4. Comparaison des données recueillies avant/après avec celles recueillies pendant

Une fois que nous avons reconstruit les idées de l'élève durant la séquence d'enseignement, nous utilisons deux comparaisons différentes (figure 3.7).

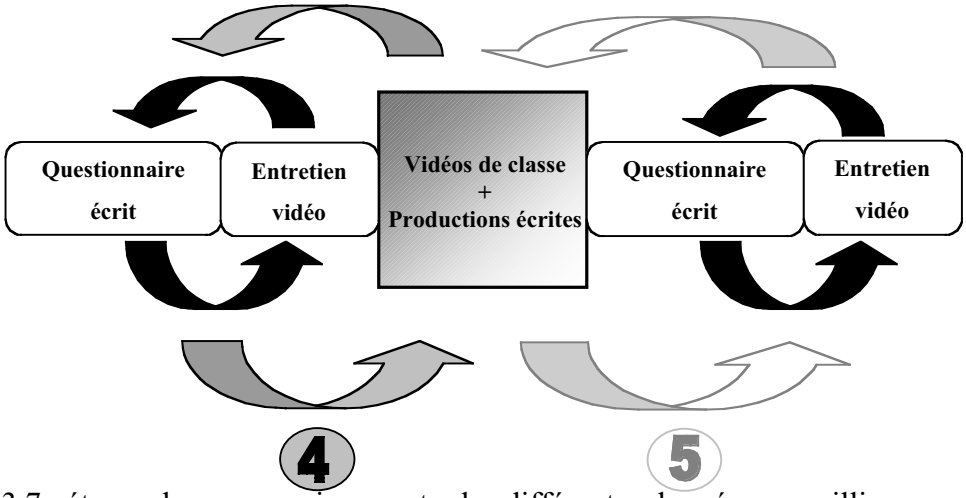


Figure 3.7 : étapes des comparaisons entre les différentes données recueillies

La première comparaison permet d'étudier le rôle des connaissances initiales, dans le fait que les idées évoluent ou n'évoluent pas au cours de la séquence. La seconde comparaison permet de tester si l'évolution des idées observée pendant la séquence d'enseignement se retrouve après l'enseignement ou non.

Conclusion

Dans cette partie, nous avons décrit la méthodologie que nous avons mise en place, afin de répondre à nos questions de recherches. Nous avons notamment justifié nos choix concernant l'expérimentation retenue, la façon dont nous avons recueilli nos données, ainsi que les traitements que nous avons utilisés.

Chapitre 4. Analyse des connaissances préalables des élèves et de la séquence d'enseignement sur les gaz

"Je suis fasciné par l'air. Si on enlevait l'air du ciel, tous les oiseaux tomberaient par terre… Et les avions aussi… En même temps l'air tu ne peux pas le toucher… ça existe et ça existe pas… ça nourrit l'homme sans qu'il ait faim… It's magic…L'air c'est beau en même temps tu peux pas le voir, c'est doux et tu peux pas le toucher… L'air c'est un peu comme mon cerveau… "

Jean-Claude Vandamme

Introduction

Ce chapitre propose de présenter une analyse a priori des élèves de Seconde puis de la séquence d'enseignement afin de mieux appréhender le rôle de cette séquence sur l'apprentissage des élèves.

1. Analyse des connaissances préalables des élèves en fonction du programme de Seconde

Cette partie propose de faire une analyse des connaissances préalables des élèves en fonction du savoir mis en jeu par le programme de Seconde de 1999. Cette analyse se base d'une part sur une étude lexicologique de certains mots que les élèves auront à utiliser et d'autre part sur les travaux sur les conceptions que nous avons déjà présentées dans notre cadre théorique.

1.1.Connaissance sur le sens de certains mots issus du programme de Seconde

Le programme de Seconde demande aux élèves d'utiliser un vocabulaire spécifique de la physique pour décrire les gaz. Cependant, plusieurs travaux (Collet 2000, Küçüközer 2000) montrent que certaines difficultés des élèves proviennent de l'utilisation de mots de la physique auxquels ils donnent un sens proche du quotidien. À partir de ces travaux, nous

supposons que la plupart du temps les élèves donnent aux mots des significations issues du quotidien. C'est pourquoi, nous proposons d'étudier les différentes significations de certains mots employés par le programme de Seconde : en physique et dans le quotidien. Auparavant, nous tenons à préciser la distinction que nous adoptons entre le sens et la signification. Pour cela, nous nous appuyons sur la définition de Paulhan, cité ici par Vygotski : "le **sens**, comme il l'a montré, représente l'ensemble de tous les faits psychologiques que ce mot fait apparaître dans notre conscience. Le sens d'un mot est ainsi une formation toujours dynamique, fluctuante, complexe, qui comporte plusieurs zones de stabilité différente. La **signification** n'est qu'une des zones du sens que le mot acquiert dans un certain contexte verbal, mais c'est la zone la plus stable, la plus unifiée, et la plus précise." (Vygotski 1997, p.480). Ceci pourrait se résumer par le fait que la signification est contenue dans le mot alors que le sens dépend de ce que l'interlocuteur cherche à dire (Fénoglio 1996). Dans le but de connaître les différents sens que les élèves peuvent donner à certains mots de l'enseignement sur les gaz, nous avons décidé d'étudier les différentes significations respectivement quotidiennes et scientifiques de ces mots. Pour cela, nous avons fait le choix de prendre appui sur les définitions de plusieurs dictionnaires, notamment le dictionnaire de la langue française, le grand Larousse, le grand Robert et le Trésor de la Langue Française. Nous avons fait le choix de nous intéresser aux mots possédant plusieurs significations et particulièrement à ceux dont la signification quotidienne diffère de celle de la physique. La **signification** d'un mot peut être définie par le rapport réciproque qui unit le **signifiant** (la manifestation matérielle du mot) avec le **signifié** (le contenu du mot). Notre étude de la signification des mots s'intéresse aux phénomènes de polysémie (plusieurs signifiés associés à un signifiant) et de synonymie (plusieurs signifiants associés à un signifié). "La polysémie suppose un mécanisme sémantique extrêmement puissant qui rend un seul et même signe capable de balayer une partie importante de l'expérience humaine, et la synonymie un mécanisme non moins puissant, capable de ventiler une partie importante du lexique et de permettre un choix entre différents signes." (Collet 1996, p. 67).

1.1.1. Le mot gaz

Tout d'abord, nous avons étudié les synonymes du mot gaz : fluide, air, vent, atmosphère, ciel, vapeur, fumée, grisou. Parmi ces différents mots, seul le mot air est aussi utilisé par le programme de Seconde. C'est pourquoi, nous avons décidé de l'étudier dans les

rapports qu'il entretient avec le mot gaz. La thèse de Rémi-Giraud (1999) a fait une étude lexicologique très complète du mot air, elle porte sur l'analyse sémantique des homonymes (c'est-à-dire qu'il n'existe aucune unité sémantique entre les signifiés d'un même signifiant) du mot air : (1) un fluide gazeux "l'air de la mer, respirer de l'air", (2) l'apparence générale d'une personne "avoir l'air franc" et (3) un air de musique "siffler l'air d'une chanson". Pour notre étude, nous nous centrons sur l'étude du mot air comme fluide gazeux, en reprenant la plupart des significations courantes proposées par Rémi-Giraud (1999).

Il apparaît une différence importante entre l'utilisation du mot air et du mot gaz dans le quotidien et en science. En effet, en science le mot gaz est plus général que le mot air (l'air est un gaz particulier, au même titre que l'hélium ou l'azote). En lexicologie, un mot qui en englobe d'autres est appelé hyperonyme, par exemple : le mot animal (hyperonyme) englobe le mot chien, chat, mouton qui sont ses hyponymes. On peut très bien utiliser un hyponyme à la place de son hyperonyme, sans que le sens ne soit modifié. Par exemple, on peut très bien dire : j'ai été mordu par un chien (hyponyme), cet animal (hyperonyme) est méchant. De même, en physique, le mot gaz peut être utilisé à la place du mot air, cependant, cette utilisation n'est pas possible dans le quotidien. En effet, on dira : je respire de l'air, mais pas je respire du gaz. De même, on ne pourra pas remplacer une phrase comme l'air est frais aujourd'hui, par le gaz est frais aujourd'hui, sans que le sens de la phrase soit différent. En résumé le mot gaz est un hyperonyme du mot air en science, mais pas dans le quotidien.

À la suite de ce premier résultat, nous présentons les différentes significations issues des dictionnaires des mots air et gaz, d'abord en sciences, puis dans le quotidien.

Les mots gaz et air en sciences

Nous présentons les définitions du mot gaz décrites dans les catégories physique et chimie des dictionnaires.

-La définition **physique** des gaz, donne leurs propriétés : "un des trois états de la matière, caractérisé par l'expansibilité (absence de forme et de volume propre) et par la grande compressibilité" et considère que, dans certaines conditions, les gaz se rapproche du modèle du gaz parfait : "gaz parfait, gaz hypothétique qui suivrait exactement les lois théoriques (de

Mariotte et Gay-Lussac) et dont se rapprochent les gaz réels lorsque leur pression tend vers zéro" (Grand Larousse).

-La définition en **chimie** des gaz précise leur composition : "Composition d'un gaz. Gaz formant l'atmosphère voir Air. Gaz les plus courants voir Azote, Chlore, Fluor, Hydrogène, Oxygène..." (Grand Robert) et considère que chaque gaz a des propriétés différentes "gaz ou groupe de gaz possédant des propriétés physiques ou chimiques particulières et/ou occasionnant des troubles physiologiques particuliers. gaz détonnant, inerte, inflammable, ionisé, rare, asphyxiant".

Dans le dictionnaire, la définition physique met l'accent sur des propriétés communes des gaz (élastique, expansible, compressible…), alors que celle de la chimie met l'accent sur la composition et les propriétés correspondantes, qui peuvent être différentes selon les gaz (inflammable, détonnant…). Il en résulte une opposition entre la signification physique "les gaz ont des propriétés communes" et en chimie "les gaz ont des propriétés différentes".

L'air est défini par des propriétés en physique : "fluide gazeux, invisible, inodore, pesant, compressible et élastique, qui entoure le globe terrestre et dont la masse forme l'atmosphère " (Trésor de la Langue Française) et sa composition en chimie :" Mélange gazeux de composition constante à l'état pur (en volume, 21 % d'oxygène, 78 % d'azote, 1 % d'argon et autres gaz rares), souvent chargé d'impuretés (vapeur d'eau, gaz carbonique, ozone, etc.), inodore, incolore et transparent sous une faible épaisseur" (Trésor de la Langue Française).

En résumé, dans les dictionnaires les définitions du mot gaz dans la catégorie physique et chimie mettent l'accent sur des aspects différents des gaz.

Les mots gaz et air dans l'usage quotidien

Les mots air et gaz ayant des significations différentes dans l'usage quotidien, nous proposons de présenter d'abord celles du mot gaz et ensuite celles du mot air.

Les définitions quotidiennes du mot gaz peuvent être regroupées selon deux significations :

1- **l'utilisation** qui est faite du gaz :

-Gaz domestiques : "gaz d'éclairage, éclairage, chauffage au gaz, lampe à gaz, cuisinière, réchaud, chauffe-eau, chauffe-bain fonctionnant au gaz, radiateur à gaz, fours à gaz" (Grand Robert).

-Gaz de combat : " Gaz asphyxiants, gaz de combat, gaz lacrymogènes" (Grand Larousse).

-Mélange gazeux pour moteur : "En parlant du mélange gazeux utilisé dans les moteurs dits à explosion. Manette des gaz, sur un avion. À pleins gaz : à pleine puissance. Pleins gaz, marcher pleins gaz" (Grand Robert)**.**

2- la **provenance** des gaz :

- Gaz domestiques "gaz des forêts, gaz à l'eau, gaz riche, gaz pauvre, gaz à l'air, gaz mixte, gaz de fumier, gaz de houille, gaz Lebon, gaz d'huile, gaz de pétrole, gaz de pétrole liquéfié" (Grand Robert).

-Gaz intestinaux :"Mélange, dans le tube digestif, d'air dégluti et de produits volatils dus aux fermentations : avoir des gaz" (Grand Larousse)

Il apparaît que la plupart des définitions du mot gaz dans le quotidien mettent en jeu des propriétés chimiques (réactions, composition chimique).

À travers les définitions quotidiennes du mot air, nous faisons une première distinction entre (1) l'air utilisé par l'homme (air brûlé, air comprimé …) et (2) l'air que nous qualifions de "libre" (le bon air, air pur, donner de l'air …).

1- Dans les différentes définitions de l'air utilisé par l'homme, nous retrouvons la distinction entre d'un côté l'air ayant des propriétés différentes "air fixe, air inflammable, air méphitique, air pur… " et de l'autre l'air ayant les mêmes propriétés "air comprimé". Ces définitions sont proches des définitions scientifiques données par le dictionnaire.

2- Dans les différentes définitions de l'air "libre", nous reprenons les distinctions faites par Rémi-Giraud (1999), notamment entre la signification "air-milieu", qui s'applique à l'air qui nous entoure et que nous respirons, qu'elle oppose à "l'air au-dessus de la terre" qui évoque l'espace au-dessus de nous. Elle précise, que "c'est sur le trait de localisation (autour de / au-dessus de) que repose cette distinction" (Rémi-Giraud 1999, p. 43). L'air utilisé dans le programme de Seconde se rapproche de la signification de "l'air milieu", c'est pourquoi, nous

proposons d'essayer de déterminer les propriétés qui lui sont associées. L'état de l'air est décrit essentiellement à partir de phénomènes sensibles, il est caractérisé notamment par sa température (air tiède, chaud, brûlant), son poids (léger comme l'air), son odeur (air fétide, nauséabond, empesté …). De plus, le fait qu'il ne soit ni visible, ni palpable lui confère un caractère immatériel, il peut être interprété comme symbole de l'inconsistance, voire de l'inexistence d'une chose. comme dans l'expression "être habillé d'air" ou encore au figuré comme "des paroles en l'air". De l'ensemble de ces propriétés, nous retiendrons que l'air dans le quotidien est caractérisé par sa température, le fait qu'il est léger et surtout le fait qu'il est immatériel.

À l'intérieur, de la signification "air-milieu", Rémi-Giraud (1999) distingue les significations "air en mouvement" et "air extérieur". La signification de "l'air en mouvement" rejoint celle du mot vent, dont nous retiendrons essentiellement deux propriétés :

1- qu'il agit, on trouve notamment une description de son action à travers les adjectifs "doux, fort, impétueux, violent …"

2- qu'il se déplace dans une direction, on parlera de "la direction du vent, du vent du nord ou encore de la rose des vents". Ceci nous permet de préciser que l'action de l'air en mouvement se fait dans une direction particulière.

La signification "air extérieur" se retrouve à travers les expressions "à l'air, prendre l'air, en plein air, ou encore les sports de plein air". Il semble qu'il y a une opposition entre l'air qui est à l'extérieur et l'air à l'intérieur. Cependant, cette opposition ne nous permet pas d'attribuer de propriété spécifique à l'air.

Pour conclure sur les mots air et gaz, il apparaît que la signification du mot gaz dans le quotidien se rapproche de la chimie, alors que les propriétés qui émergent de la définition quotidienne du mot air se rapprochent de la physique : (1) l'immatérialité de l'air, (2) qu'il est léger, (3) qu'il agit lorsqu'il est en mouvement, (4) et que son action se fait dans une direction particulière.

1.1.2. Le mot pression

L'étude des synonymes du mot pression souligne un ensemble de mots (poussé, pesé, impulsion, charge …) qui n'est pas utilisé dans le programme de Seconde. C'est pourquoi, nous proposons d'étudier les différentes significations du mot pression dans le quotidien et en physique.

Le mot pression en physique

La définition physique du mot pression dans le Dictionnaire de la langue française indique deux significations différentes :

1- Le mot pression est considéré comme l'action de presser ou de pousser : "action exercée par une force qui presse sur une surface donnée".

2- Le mot pression est considéré comme une grandeur mesurable : "La pression des gaz et des liquides (due au choc des particules constituantes sur les parois) se mesure à l'aide d'un manomètre".

La signification "action de pousser" est très différente de la signification "grandeur mesurable". Dans le programme de Seconde, la pression est une grandeur macroscopique, qui permet de décrire en partie l'état d'un gaz. C'est pourquoi, sa signification correspond à une "grandeur mesurable".

Le mot pression dans l'usage quotidien

Le Dictionnaire de la langue française donne deux définitions quotidiennes du mot pression :

1- "Action de presser ; force exercée par ce qui presse. Subir la pression de la foule. ".

2- "Influence plus ou moins contraignante qui s'exerce sur quelqu'un, tentative insistante de le persuader. On a fait pression sur lui pour qu'il retire sa plainte, groupe de pression".

Nous retrouvons dans la première définition la signification "action de pousser". La deuxième définition concerne les individus et ne peut pas s'appliquer au gaz. C'est pourquoi, nous ne nous attarderons pas sur sa signification. Lorsque l'on compare les significations du mot pression dans le quotidien et en physique, il apparaît que la signification "action de

pousser" est utilisée aussi bien en physique que dans le quotidien. C'est pourquoi, nous faisons la supposition que les élèves utiliseront ce mot avec cette signification. Ceci risque de poser des problèmes lors de l'apprentissage du concept de pression.

1.1.3. Le mot macroscopique

Macroscopique est un mot scientifique, deux définitions différentes sont données dans le Dictionnaire de la langue française :

1- "se dit des objets, des phénomènes qui peuvent êtres observés à l'œil nu (opposé à microscopique)",

2- "se dit des objets, des phénomènes à l'échelle humaine, tels qu'ils peuvent être perçus directement par les sens, par opposition aux phénomènes à l'échelle moléculaire et atomique".

La première définition donne au mot macroscopique la signification de ce qui est "visible", alors que la seconde attribue la signification de ce qui est "perceptible par les sens" Il est intéressant de voir que la première définition, basée sur la vue, est en général suffisante pour décrire la plupart des phénomènes faisant intervenir des objets solides ou liquides. En revanche elle élimine du niveau macroscopique, tous les objets et phénomènes qui ne sont pas visibles, notamment, les gaz qui sont pour la plupart invisibles. La seconde définition englobe la première, puisqu'elle "étend" cette définition à tous les phénomènes perceptibles par les sens (vue, toucher, ouïe …). Cette seconde définition est proche de la physique. En résumé, il apparaît deux significations du mot macroscopique : "ce que l'on voit" et ce que l'on perçoit avec les sens".

Pour conclure, nous pensons que les élèves vont devoir en partant de la signification quotidienne des mots (gaz, pression, macroscopique) se familiariser avec leurs significations physiques et apprendre à les utiliser convenablement. Ceci nécessite d'apprendre à utiliser le mot gaz comme un hyperonyme du mot air, le mot pression comme une grandeur mesurable et le mot macroscopique comme ce qui est perceptible avec nos sens. De plus, à travers cette analyse des mots, nous avons pu identifier certaines propriétés quotidiennes des gaz et de l'air issues du quotidien.

1.2. Aspects particulaires des gaz

Les programmes des classes de 5ème et 4ème proposent entre autres de donner une interprétation moléculaire de la compressibilité des gaz, ce qui montre que les élèves ont déjà utilisé les molécules pour interpréter les gaz lorsqu'ils arrivent en classe de Seconde. Cependant, comme le montre notre analyse des conceptions des élèves (voir cadre théorique), les élèves ont des difficultés pour utiliser les molécules dans leurs explications (Novick et Nusbaum 1981, Chomat, Larcher & Méheut 1988, Séré & Moppert 1989). De plus, ils attribuent des propriétés macroscopiques aux entités microscopiques (Novick & Nussbaum 1978, Brook, Briggs & Driver 1984, Gabel, Samuel & Hunn 1987, Séré & Moppert 1989, Méheut & Chomat 1990, Méheut 1994). Comme le demandes les Instructions Officielles de Seconde (B. O. 1999), les élèves vont devoir apprendre à interpréter les gaz au niveau microscopique, ce qui nécessite de construire que les molécules ont des propriétés différentes des propriétés macroscopiques des gaz. Notamment qu'elles sont en mouvement et qu'elles peuvent avoir des chocs avec les objets qu'elles rencontrent. De plus, les élèves vont devoir apprendre à relier la température à l'agitation des molécules et la force pressante aux chocs des molécules.

1.3. Présence des gaz

Les programmes de maternelle (cycle 1) et de primaire (cycle 2 et 3) ont pour but de faire acquérir la matérialité de l'air aux élèves. Comme le montrent les travaux de Séré (1985), la plupart des élèves de 6ème savent que l'air est présent dans un bocal ouvert et qu'il occupe tout l'espace dont il dispose. C'est pourquoi, nous pensons que la plupart des élèves de Seconde ont construit le fait que l'air était présent partout. Comme le précise le programme de Seconde, les élèves vont devoir apprendre à décrire "l'état d'un gaz à l'aide des grandeurs macroscopiques" (B.O. 1999, p. 22), ce qui nécessite d'apprendre à caractériser la présence d'un gaz à l'aide de la quantité et du volume. Un travail mené sur des élèves de 6ème-5ème (Séré 1985) montre que la conservation de la quantité d'air semble être acquise pour les situations de compression et de transvasement. En revanche, dans les situations où la température varie, la plupart des élèves considère que la quantité n'est plus conservée à l'intérieur d'une enceinte fermée. Ils expliquent entre autres qu'il y a une apparition de gaz dans l'enceinte. Les élèves ont été interrogés par (Séré 1985) juste après un enseignement sur les gaz, c'est pourquoi,

nous pensons que cette difficulté risque fort d'être toujours présente chez les élèves de Seconde.

1.4. Répartition des gaz

Le programme de Seconde demande de manière implicite que les élèves sachent que les gaz occupent tout l'espace dont ils disposent et surtout que leur répartition est homogène. Cependant, une étude menée sur des élèves, âgés de 7 ans à 17 ans, montre que la plupart d'entre eux représentent l'air comme n'étant pas réparti de manière homogène lorsque l'on vide une bouteille d'air à moitié (Benson, Wittrock & Baur 1993). D'autres travaux retrouvent ce résultat dans des situations différentes (Novick et Nussbaum 1978 ; Chomat, Larcher & Méheut 1988 ; Noh et Scharmann 1997, Niaz 2000). Nous pensons que cette difficulté sera présente chez les élèves de Seconde et qu'elle doit être prise en compte par l'enseignement.

1.5. Action des gaz

Une autre connaissance "implicite" du programme de Seconde est que les gaz agissent en permanence sur tous les objets. Cependant, plusieurs travaux (Séré 1985, Clough et Driver 1986, De Berg 1992) montrent que pour les élèves l'action des gaz sera différente en fonction des situations :

-Pour les situations où le gaz est libre, qui mettent en jeu la plupart du temps de l'air, les élèves considèrent que l'air en mouvement agit, alors que l'air immobile n'agit pas.

-Pour les situations où le gaz est enfermé dans une enceinte, les élèves considèrent qu'un gaz "simplement" enfermé dans une enceinte n'agit pas et qu'il n'agit que si l'on exerce une action dessus. De plus, le gaz n'agit que dans une direction, qui dépend du type d'action exercée :

-lorsque le gaz est compressé, il agit particulièrement dans la direction du mouvement du piston ou de la force exercée,

-lorsque le gaz est chauffé, les élèves utilisent la connaissance quotidienne "l'air chaud monte", ce qui favorise l'action du gaz dans la direction verticale ascendante, ou encore celle qui s'éloigne le plus du point où l'on chauffe.

Au cours de l'enseignement les élèves de Seconde devront construire pour ces différentes situations le fait que le gaz agit tout le temps et surtout dans toutes les directions.

De plus, comme le demande le programme, ils devront apprendre à décrire l'action du gaz à l'aide de la pression et de la force pressante. Durant l'analyse des significations du mot pression en physique et dans le quotidien (voir ci-dessus), nous avons vu que la signification quotidienne de ce mot est associée à "l'action de pousser". La plupart des élèves risque d'utiliser ce mot en lui attribuant cette signification, c'est pourquoi, nous pensons qu'ils auront beaucoup de difficulté à faire la différence entre la pression et la force pressante.

1.6. Lourdeur

Comme nous l'avons déjà signalé, les programmes de maternelle (cycle 1) et de primaire (cycle 2 et 3) visent à faire construire aux élèves la matérialité de l'air. Dans ce but, le programme de cycle 3 vise à faire construire le caractère pesant de l'air. De plus, une des activités proposés par le programme de $5^{ème}$-$4^{ème}$ propose de peser la masse d'un ballon lorsqu'on le gonfle à volume constant. C'est pourquoi, en arrivant en Seconde les élèves sont supposés savoir que le gaz pèse. Le programme de Seconde va dans ce sens puisqu'il ne parle à aucun moment du caractère pesant des gaz. Des travaux menés par Séré (1985) montrent que pour la plupart des élèves de $6^{ème}$-$5^{ème}$ les gaz ne pèsent pas. Malgré l'enseignement en classe de $5^{ème}$ et de $4^{ème}$ traitant cet aspect du gaz, nous pensons qu'il y a de fortes chances pour que la plupart des élèves de Seconde considèrent que les gaz ne pèsent pas. C'est pourquoi, nous pensons qu'il faut tenir compte de cet aspect dans l'enseignement en classe de Seconde.

1.7. Propriétés des gaz

Le programme de Seconde demande de "savoir utiliser la relation des gaz parfait P.V=n.R.T", en précisant que "dans les conditions habituelles de température et de pression l'air de la classe peut être assimilé à un gaz parfait". Le comportement des gaz à faible pression peut être assimilé à celui du gaz parfait. Cependant, Séré (1985) montre que pour la plupart des élèves (de $6^{ème}$-$5^{ème}$) l'air a un comportement différent de celui du gaz. Nous pensons que cette difficulté se rencontrera à nouveau chez les élèves de Seconde et qu'ils devront construire que des gaz différents ont des comportements similaires à faible pression.

2. Analyse de la séquence d'enseignement sur les gaz

Introduction

Cette partie présente l'analyse de la construction de la séquence d'enseignement sur les gaz. Nous présentons, tout d'abord, le groupe "outils", qui a élaboré la séquence d'enseignement, puis l'élaboration des modèles à partir du programme de Seconde. Nous terminons en présentant l'analyse de la séquence d'enseignement.

2.1. Présentation du groupe "outils"

La séquence d'enseignement sur les gaz a été élaborée au sein d'un groupe de recherche et développement. Ce travail s'inscrit dans un projet INRP dont l'objectif est de fournir aux enseignants de collège et de lycée des "*outils*" pour les aider à concevoir et à analyser leur enseignement pour les situations de cours et de TP. Le groupe "outils" travaille en trois groupe qui se consacre respectivement à la chimie, l'optique, la mécanique, les gaz et l'énergie. Chacune des équipes offre l'avantage de faire travailler ensemble des enseignants de lycée et des chercheurs en didactique de la physique. L'équipe qui a élaboré la séquence d'enseignement sur les gaz se compose de six enseignants de lycée et de trois chercheurs en didactique. Conformément au programme de Seconde cette séquence été construite pour une durée de trois semaines (3 TP d'une heure et demie et 3 cours en classe entière d'une heure). L'élaboration de cette séquence s'est appuyée en partie sur les mêmes éléments que notre cadre théorique :

L'apprentissage par lien. Nous considérons qu'apprendre consiste à établir des liens, qui peuvent être de différentes natures. C'est pourquoi, dans la séquence d'enseignement, nous essayons d'expliciter le plus possible les liens que nous souhaitons faire établir aux élèves.

L'activité de modélisation. Nous considérons qu'il est important de faire établir aux élèves des liens entre le monde des objets et des événements et celui des théories et des modèles. Un des buts de la séquence d'enseignement est que les élèves apprennent à utiliser les modèles pour interpréter des situations et distingues les modèles des objets et des événements.

Les registres sémiotiques. Nous considérons que faire établir des liens entre les représentations d'un concept dans différents registres sémiotiques favorise l'apprentissage des élèves. C'est pourquoi, nous utilisons différents registres sémiotiques dans la séquence d'enseignement en essayant à travers certaines questions de faire établir aux élèves des liens entre les différentes représentations des concepts.

Les connaissances préalables des élèves. Pour connaître les connaissances préalables des élèves, nous utilisons les travaux sur les conceptions. L'élaboration de la séquence d'enseignement essaie de s'appuyer sur ces connaissances afin de faciliter l'apprentissage des concepts par les élèves.

Les discussions entre les élèves. Nous considérons que les élèves apprennent à travers les échanges. C'est pourquoi, la séquence d'enseignement demande aux élèves de débattre et travailler ensemble afin de pouvoir rédiger une réponse commune.

La construction de phénomènes. Elle se base sur les capacités sensorielles des élèves. La séquence d'enseignement essaie de faire construire des phénomènes aux élèves, afin de pouvoir y prendre appui pour donner du sens aux concepts. Ainsi, il paraît difficile de faire construire aux élèves le concept de pression, si les élèves n'ont pas construit le phénomène de l'action de l'air.

2.2 Élaboration des textes des modèles à partir du programme

L'équipe du groupe "outils" a élaboré plusieurs textes de modèles à partir du savoir mis en jeu dans le programme de Seconde (B.O. 1999). Pour cela, le groupe outils a fait une analyse du programme en termes de modélisation, c'est-à-dire en classant les différentes phrases du programme en fonction du monde des théories et des modèles d'un côté et de celui des objets et des événements de l'autre. Ensuite, à l'intérieur des éléments relevant des théories et des modèles, nous avons distingué ceux qui relèvent du niveau macroscopique et ceux qui relèvent du niveau microscopique. À partir de cette première analyse en termes de modélisation, l'équipe a élaboré dans un premier temps le texte d'un modèle microscopique, puis le texte d'un modèle macroscopique (disponible dans l'annexe de l'analyse a priori).

2.2.1. Le texte du modèle microscopique des gaz

Le programme demande de faire "une description d'un gaz à l'échelle microscopique". Cependant, il reste assez "flou" sur les propriétés des molécules. En effet, il demande de "savoir interpréter la force pressante sur une paroi par un modèle microscopique de la matière" ainsi que d'utiliser l'agitation des molécules pour caractériser l'état thermique d'un gaz. Il ne donne aucune propriété sur les molécules comme par exemple le fait qu'elles aient une masse ou qu'elles soient insécables. De plus, il ne donne aucune précision sur une éventuelle utilisation des chocs ou de la vitesse quadratique moyenne des molécules. En partant des indications du programme et s'inspirant des phrases du modèle particulaire proposé par Chomat, Larcher et Méheux (1998), l'équipe a élaboré le texte d'un modèle microscopique des gaz. Ce texte donne deux types d'informations sur les gaz. Le premier décrit directement les propriétés des molécules (insécable, ne se déforme pas, possède une masse…) et le second leur comportement dans l'état gazeux (mouvement incessant et désordonné, répartition partout, collision…). Le texte du modèle donne le comportement des molécules sans faire appel à aucun formalisme. De plus, il se limite : (a) au mouvement des molécules sans faire appel à leur vitesse quadratique moyenne, et (b) aux chocs sans donner de précision sur le nombre et la qualité de ces chocs. Cette transposition didactique fait apparaître essentiellement des termes qualitatifs sur le comportement des molécules dans un gaz.

2.2.2. Le texte du modèle macroscopique des gaz

Le programme est beaucoup plus précis concernant la description du gaz au niveau macroscopique. Il précise notamment que "l'état d'un gaz peut être décrit par des grandeurs macroscopiques comme : sa température, son volume, la quantité de matière du gaz, sa pression". De plus, il donne un formalisme pour les grandeurs macroscopiques : "P.V = n.R.T", "P = F/S". En reprenant les termes du programme, nous avons élaboré un un texte d'un modèle macroscopique des gaz, en faisant le choix de le limiter aux gaz contenus dans une enceinte fermée. Ce modèle se compose de quatre parties qui concernent : l'état du gaz, la pression et la force pressante, la température absolue et le gaz parfait. Dans la partie concernant l'état du gaz, l'équipe a fait le choix de donner une définition de chacune des grandeurs, en précisant notamment que "la pression du gaz rend compte de l'action de ce gaz sur toutes les parois du récipient". De plus, la pression et la température sont des grandeurs

indépendantes de l'enceinte qui les contient, c'est pourquoi, nous spécifions que ces deux grandeurs sont les mêmes partout dans les récipients fermés.

2.2.3. Le texte de l'interprétation microscopique des grandeurs macroscopiques

Comme le suggère le programme, l'équipe a élaboré un texte donnant une interprétation microscopique des grandeurs macroscopique température et pression. L'équipe a fait le choix d'utiliser la vitesse moyenne des molécules pour décrire au niveau microscopique la température et d'introduire le nombre de chocs pour rendre compte de la pression. Le texte précise que le nombre de chocs sur une paroi est lié à la taille de la paroi et à la durée. Par ailleurs, l'équipe a estimé que parler de la qualité des chocs pouvait être difficile pour des élèves de Seconde, c'est pourquoi, nous n'abordons pas ce sujet dans le texte donnant une interprétation microscopique de la pression et de la température.

2.3. L'analyse de la séquence d'enseignement sur les gaz

La séquence d'enseignement sur les gaz se compose de deux parties. La première partie introduit le modèle microscopique des gaz. Elle vise à ce que les élèves construisent un comportement microscopique des gaz et que cette construction facilite l'interprétation des grandeurs macroscopiques. La seconde partie s'intéresse aux grandeurs macroscopiques pour décrire l'état d'un gaz et à l'interprétation microscopique de ces grandeurs. Nous proposons de faire une rapide présentation des différentes activités de la séquence, puis de donner plus en détail l'introduction des différents concepts, des différentes situations matérielles et des différents registres sémiotiques.

Les énoncés des questions de la séquence d'enseignement sont disponibles dans l'annexe de l'analyse a priori.

2.3.1. Présentation rapide des activités proposées dans la séquence d'enseignement

La partie 1 propose de faire une description des gaz à l'échelle microscopique. L'objectif de cette partie est d'introduire le comportement microscopique des gaz aux élèves. Pour cela, il s'agit dans un premier temps de décrire un gaz à l'échelle microscopique (partie 1.1), puis de faire une description du mélange de deux gaz (partie 1.2). La première activité de cette partie propose de décrire l'air contenu dans une seringue aux niveaux macroscopique et

microscopique. La seconde activité demande aux élèves de faire une expérience de pensée pour construire une représentation du comportement des molécules. Au cours de cette activité, le modèle microscopique des gaz est distribué aux élèves et ils doivent éventuellement corriger leurs réponses à partir des propriétés des molécules, qui y sont énoncées. La troisième activité demande de corriger à l'aide du modèle des réponses d'élèves. L'activité 1 de la partie 1.2 demande de représenter au niveau microscopique, puis d'interpréter à l'aide sur modèle le mélange de deux gaz.

La partie 2 de la séquence d'enseignement propose de décrire le gaz à l'aide de grandeur macroscopique et de donner une interprétation microscopique de ces grandeurs. Elle propose, dans un premier temps, d'introduire les grandeurs macroscopiques pour décrire l'état d'un gaz (partie 2.1) et dans un second temps d'établir des relations entre ces grandeurs (partie 2.2). La première activité demande de comparer le comportement d'un gaz et d'un liquide, afin d'établir qu'un gaz se dilate et se compresse beaucoup plus qu'un liquide. La seconde activité vise à introduire la grandeur pression. Cette introduction se fait en établissant que la pression est la même partout à l'intérieur des enceintes et en reliant la pression à l'action du gaz. La troisième activité présente la relation entre la pression et la force pressante et propose une interprétation microscopique de ces deux grandeurs. La première activité de la partie 2.2, vise à établir de manière quantitative la relation entre la pression et le volume, plus particulièrement que leur produit est constant (loi de Mariotte). La seconde activité de la partie 2.2 a pour objectif de faire établir expérimentalement le lien qualitatif entre la température et la pression, afin que les élèves puisse ensuite relier la température à l'agitation thermique.

2.3.2. Les différents concepts mis en jeu dans la séquence d'enseignement

La première partie vise à faire construire aux élèves le comportement des molécules de l'air contenu dans une seringue. Les élèves doivent utiliser leurs connaissances préalables sur les molécules, jusqu'à la question 3 de l'activité 2, qui introduit le modèle microscopique des gaz. À partir de cette question, les élèves doivent s'appuyer sur les différentes propriétés des molécules décrites dans le modèle. Au cours de la question 3 de l'activité 2 et des questions de l'activité 3, les élèves doivent utiliser les propriétés suivantes : les molécules ont une masse, qu'elles ne se déforment pas, qu'elles ont insécables et qu'elles se répartissent dans tout le

volume qui les contient. La partie 1.2 demande aux élèves de décrire le mélange de deux gaz. Ils doivent pour cela s'appuyer sur les propriétés du modèle : les molécules sont en mouvement incessant et désordonné et elles se répartissent dans tout le volume qui les contient.

La deuxième partie des gaz vise essentiellement à introduire le concept de pression. La première activité propose de comparer le comportement d'un liquide et d'un gaz. Son but est de faire construire les phénomènes de dilatation et de compressibilité des gaz. La deuxième activité vise à faire construire aux élèves que la pression est partout la même à l'intérieur d'une seringue que l'on appuie sur le piston ou non. De plus, cette activité demande de relier la pression à l'action du gaz, ainsi que d'interpréter microscopiquement l'action du gaz. C'est la première fois de la séquence que les chocs sont utilisés. L'activité 3 s'intéresse à la pression et à la force pressante. Elle vise à faire établir, à partir de la comparaison de l'action de l'air dans une petite et une grande seringue, que la pression est reliée à la force pressante par la surface. Cette relation est d'abord établie à partir d'un bilan des forces, puis retrouvée à partir des chocs des molécules sur les parois. La partie 2.2 vise à établir les relations entre les grandeurs macroscopiques qui décrivent l'état d'un gaz. La première activité demande d'établir expérimentalement la relation entre la pression et le volume. La seconde activité s'intéresse à la relation entre la pression et la température. Elle demande aux élèves d'interpréter microscopiquement cette relation, ce qui les conduit à établir le lien entre la température et la vitesse des molécules. À la fin de la séquence, nous avons utilisé un logiciel qui simule le comportement des molécules, afin que les élèves utilisent la relation du gaz parfait (PV = nRT) tout en observant les effets de la variation de ces grandeurs sur le comportement des molécules.

2.3.3. Les différentes situations matérielles

Nous proposons de faire une description des différentes situations matérielles utilisées dans la séquence d'enseignement. L'équipe a fait le choix de limiter le champ expérimental à des situations utilisant du gaz dans une enceinte fermée. Ce choix a amené à utiliser une seringue pour la plupart des situations expérimentales. Les concepteurs, par l'utilisation de la seringue, visent à faire passer les élèves par le toucher pour appréhender les phénomènes mettant en jeu des gaz. Nous présentons d'abord les situations utilisant des expériences dîtes

"simples" (c'est-à-dire sans appareil de mesure), puis celles utilisant des expériences avec des appareils de mesure.

Expériences simples

La séquence d'enseignement utilise plusieurs expériences simples dont nous allons préciser les rôles.

La première expérience simple est utilisée dans l'activité 1 de la première partie et elle met en jeu une seringue. Cette activité demande (1) d'enfermer de l'air dans la seringue et (2) d'appuyer sur le piston en gardant l'air enfermé dans la seringue. La première situation a été choisie pour susciter le débat entre les élèves sur l'existence de l'air immobile. En effet, pour enfermer de l'air, il suffit de boucher la seringue avec le doigt. Cependant, un certain nombre d'élèves considère que l'air n'agit que lorsqu'il est en mouvement. Cette situation a été proposée pour faire émerger éventuellement cette difficulté. La seconde situation fait percevoir indirectement l'action de l'air en passant par le toucher. Son but est double, il est de faire prendre conscience de l'existence de l'air et de montrer la compressibilité des gaz. De plus, cette expérience apprend à décrire le gaz en passant par un sens différent de la vue. La question 3 de cette première activité demande de décrire ces deux situations aux niveaux macroscopique et microscopique. Comme nous l'avons vu dans notre analyse a priori des élèves (voir ci-dessus), il y a de grandes chances pour que les élèves définissent le niveau macroscopique par ce que l'on voit. Nous pensons que le fait de passer par le toucher peut contribuer à élargir cette définition à ce qui est perceptible par les sens (particulièrement par le toucher).

La seconde expérience simple est utilisée dans l'activité de la partie 1.2. Elle présente un flacon contenant un gaz roux relié à un flacon contenant de l'air. Au départ les deux flacons sont séparés par une paroi étanche, que l'on va enlever pour que les deux gaz se mélangent. Cette expérience vise à faire construire aux élèves le fait que les gaz sont expansibles et qu'ils peuvent se mélanger. Précisons que c'est la seule expérience qui utilise un gaz différent de l'air.

La troisième expérience simple apparaît au cours de la première activité de la deuxième partie de la séquence. Cette expérience demande de comparer l'évolution d'un

liquide et d'un gaz, lorsqu'ils sont chauffés. Elle utilise un ballon de baudruche posé sur une bouteille remplie, soit d'air, soit de gaz ; la bouteille est ensuite chauffée. Le but de cette expérience est d'amener les élèves au constat que le gaz se dilate lorsqu'on le chauffe, alors que les liquides beaucoup moins. Les élèves peuvent observer ce phénomène par l'intermédiaire du ballon de baudruche qui se gonfle ou non.

Toujours dans l'activité 1 de la deuxième partie, on trouve une autre expérience simple. Cette fois, les élèves doivent comparer s'il est possible de rajouter de l'air dans une bouteille pleine d'air et de l'eau dans une bouteille pleine d'eau. Le but de cette expérience est de faire construire aux élèves que le gaz est compressible, mais pas les liquides.

Expériences utilisant des appareils de mesure

La séquence d'enseignement utilise des appareils de mesure essentiellement à partir de l'activité 2 de la seconde partie, nous présentons les différentes expériences utilisant le pressiomètre.

L'activité 2 de la deuxième partie utilise une seringue reliée à un pressiomètre. Le but de cette expérience est de faire constater aux élèves de manière qualitative que la pression varie lorsqu'on diminue le volume de la seringue. Dans cette expérience, la mesure de la pression sert à rendre compte de l'action du gaz à l'intérieur de la seringue.

L'activité 3 de la partie 2 utilise deux seringues de tailles différentes et un pressiomètre. Cette expérience propose de comparer la poussée que l'on doit exercer sur le piston de chacune des seringues pour obtenir la même pression sur le pressiomètre. Le but de cette expérience est de faire réaliser aux élèves que cette différence est due à la surface de la section du piston. La suite de l'activité s'appuie sur cette surface pour faire relier aux élèves la pression à la force pressante.

L'activité 1 de la partie 2.2 utilise une seringue reliée à un pressiomètre. Cette expérience demande d'établir quantitativement le lien entre la pression et le volume. Le but des différentes mesures est de faire établir aux élèves que le produit de la pression et du volume est constant (loi de Mariotte). Cette expérience est la seule de la séquence qui demande de faire une série de mesure.

L'activité 2 de la partie 2.2 demande de chauffer avec un sèche-cheveux de l'air contenu dans une seringue reliée à un pressiomètre. Le but de cette expérience est de faire établir aux élèves de manière qualitative que la pression varie comme la température. Ce lien est ensuite utilisé pour interpréter microscopiquement la température.

Pour conclure sur le rôle des différentes expériences conduites dans la séquence d'enseignement, nous signalons que la plupart des expériences "simples" sont utilisées pour faire construire aux élèves certains comportements des gaz (compression, dilatation…) et que les expériences avec les appareils de mesures sont utilisées essentiellement pour aider les élèves à construire les relations entre les grandeurs macroscopiques.

2.3.4 Les différents registres sémiotiques

Avant de présenter l'utilisation des différents registres sémiotiques qui apparaissent dans la séquence d'enseignement, nous proposons d'étudier les différentes représentations de certains concepts dans les différents modèles.

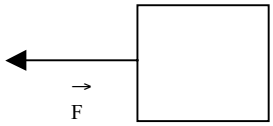
Les registres sémiotiques dans le texte des modèles

Le modèle microscopique des gaz n'utilise que le registre de la langue naturelle. Le modèle macroscopique des gaz utilise aussi essentiellement langue naturelle pour représenter les concepts, cependant quelques concepts sont utilisés dans différents registres. Les grandeurs macroscopiques servant à décrire les gaz sont représentés en langue naturelle et langage formel par la formule PV = nRT. Cette représentation en langue formelle offre l'avantage de présenter l'aspect relationnel de ces grandeurs, tout en permettant de mettre en avant le fait qu'elles peuvent varier simultanément. La force pressante est représentée à l'aide plusieurs registres sémiotiques, qui sont :

-le registre de la langue naturelle : "on appelle force pressante l'action exercée par le gaz sur une paroi. Cette force est perpendiculaire à cette paroi."

-le registre formel : "P = F/S qui s'écrit aussi F = P.S"

-le registre des représentations vectorielles :



Ces différents registres ne font pas apparaître les mêmes informations. Par exemple le registre formel ne donne aucune information sur la direction de la force pressante, et les registres de la langue naturelle et des représentations vectorielles ne font pas apparaître la pression. Au cours de l'enseignement, les élèves devront choisir le registre le plus adapté pour répondre aux questions. Ce choix est particulièrement difficile pour les élèves, c'est pourquoi, le plus souvent les énoncés des questions de l'enseignement le type de registre à utiliser.

Les registres sémiotiques dans la séquence d'enseignement

Toutes les questions de la séquence sont en langue naturelle, cependant certaines questions font appel aussi à d'autres registres sémiotiques. Nous proposons donc de présenter l'utilisation des "autres" registres sémiotiques dans la séquence d'enseignement sur les gaz.

L'activité 1 de la partie 1 de la séquence, demande de faire un schéma de l'air contenu : dans une seringue bouchée, puis dans une seringue lorsque l'on appuie sur le piston. Une fois ces schémas réalisés les élèves doivent décrire en langue naturelle ce qui a changé pour l'air en se plaçant au niveau macroscopique puis microscopique. Cette activité demande de faire le lien entre la représentation de l'air sur des schémas et en langue naturelle. Cependant, les élèves sont libres de choisir entre le niveau macroscopique ou microscopique pour représenter l'air sur leur schéma. Nous pensons que le lien entre la représentation macroscopique de l'air et sa description en langue naturelle présente des aspects moins intéressant des gaz que le lien au niveau microscopique.

Certaines questions de l'activité 2 et 3 de la partie 1 et de l'activité 1 de la partie 1.2, demande d'établir un lien entre l'énoncé qui est en langue naturelle et la réponse qui doit être donnée sur un schéma. Ce changement de registre sémiotique pour représenter les molécules sert entre autres à faire établir le lien entre une quantité d'air et le nombre de molécules qui le composent.

Les activités 1 et 2 de la partie 2 sont exclusivement en langue naturelle. En revanche, les questions c, d et e de l'activité 3 demandent de passer de la représentation de la force pressante dans le registre de la langue naturelle à celui des représentations vectorielles sur un schéma. Ensuite, il est demandé de comparer cette représentation vectorielle avec la formule P

= F/S. Ces représentations de la force pressante dans différents registres sémiotiques permettent d'illustrer différents aspects de ce concept. Nous pensons que ces changements de registres sont difficiles à effectuer par les élèves, cependant ils permettent de mieux appréhender ce concept.

La question c de l'activité 1 de la partie 2.2. demande aux élèves de choisir parmi plusieurs formules, reliant la pression et le volume, celle qui correspond aux valeurs mesurées dans l'expérience précédente. Cette question demande d'établir des liens entre la représentation de la pression et du volume dans le registre numérique des tableaux et dans le registre formel. Ce changement nous semble particulièrement délicat à effectuer pour les élèves, cependant, il permet d'appréhender la relation entre la pression et le volume de manière beaucoup plus simple en établissant que leur produit est constant.

En guise de conclusion à propos de l'analyse a priori de la séquence, nous tenons à préciser que toutes les questions de la séquence d'enseignement ont été analysées, en précisant les concepts, les situations matérielles (les objets et les événements), les registres sémiotiques mis en jeu dans l'énoncé et sa réponse, ainsi que les liens demandés entre les concepts entre eux et avec les éléments matériels. Cette analyse est donnée dans le tableau de l'analyse a priori de la séquence (voir l'annexe de l'analyse a priori).

Conclusion

Ce chapitre a présenté une analyse a priori des connaissances préalables des élèves en fonction de différents aspects de l'apprentissage des concepts liés aux gaz. Ces différents aspects (sens des mots, aspect particulaire, présence des gaz, répartition des gaz, action des gaz et lourdeur) nous servirons de base pour définir nos catégories pour étudier l'évolution des connaissances des élèves. Nous avons ensuite analysé la séquence d'enseignement de différents points de vue. Les résultats de cette analyse nous serviront de base pour étudier le rôle des éléments du milieu sur l'évolution des idées des élèves (chapitre 7), particulièrement pour déterminer les situations responsable de cette évolution.

Chapitre 5. Analyse de l'évolution des élèves sur plusieurs classes

Introduction

Le grain d'analyse des idées étant trop fin pour pouvoir traiter un grand nombre de questionnaires, nous avons fait le choix de ne pas les utiliser dans le cadre de l'analyse de l'évolution des élèves sur plusieurs classes. Nous avons décidé d'analyser les réponses des élèves à partir de catégories définies à partir de notre analyse a priori des connaissances des élèves (voir chapitre 4) et enrichies au cours de l'analyse a posteriori. Nous présentons, tout d'abord, la manière dont le questionnaire a été élaboré, puis les conditions dans lesquelles les élèves l'ont passé. Nous terminerons, en présentant nos résultats en fonction de certains aspects des gaz (aspect particulaire, répartition, l'action du gaz et le caractère pesant des gaz).

1. Mise au point du questionnaire

Les travaux didactiques sur les gaz ont permis de faire émerger un certain nombre de raisonnements utilisés par les élèves pour interpréter les situations mettant en jeu des gaz. De plus, ils font apparaître que ces raisonnements seront différents en fonction des situations (voir cadre théorique). Notre étude se propose de suivre l'évolution des connaissances des élèves, à la suite de l'enseignement sur les gaz. Ceci nécessite dans un premier temps de connaître les connaissances initiales des élèves, pour, dans un second temps, pouvoir suivre leur évolution. Pour cela, nous avons élaboré un questionnaire, dans lequel nous n'avons utilisé que des termes et des situations issues de la vie quotidienne ou qui du moins mettent en jeu des objets quotidiens. Ce choix, nous permet d'éviter que les élèves ne réutilisent des termes de la physique provenant des énoncés, et permet de voir le vocabulaire (physique ou quotidien) que les élèves utilisent spontanément pour décrire les propriétés des gaz. De plus, nous avons fait le choix de ne pas demander directement ces propriétés aux élèves, mais nous avons plutôt essayé d'étudier celles qu'ils mettent en oeuvre à travers les situations. Comme nous ne pouvons pas étudier toutes les propriétés des gaz, nous avons fait le choix de nous centrer sur certains aspects :

1. l'aspect particulaire, qui concerne l'utilisation des molécules par les élèves pour décrire les gaz.
2. la répartition des gaz, qui cherche à savoir comment les gaz se répartissent pour les élèves.
3. l'action des gaz, qui essaie de déterminer si les gaz agissent ou non pour les élèves.
4. la direction de l'action des gaz, qui essaie de savoir, lorsqu'ils agissent, la direction de cette action.
5. le caractère pesant des gaz, qui cherche à voir, si les élèves attribuent cette propriété aux gaz.

Lors de l'élaboration du questionnaire, nous avons choisi de tester chacun de ces aspects dans plusieurs situations, ayant des traits de surface les plus éloignés possible. C'est-à-dire en mettant en jeu des objets et des événements les moins ressemblant possible. Pour cela, nous nous sommes basés sur les travaux antérieurs en didactique de la physique (particulièrement Séré 1985 ; Chomat, Larcher & Méheut 1988 ; Stavy 1988 ; Méheut & Chomat 1990 ; Benson, Wittrock & Baur (1993) et Vince (2000)), et nous avons construit des situations utilisant les objets suivants : un ballon de foot gonflé, une pompe à vélo, un ballon de baudruche dégonflé posé sur une bouteille en fer, deux balles de ping-pong cabossées, quatre ballons de baudruche contenant des gaz différents et un verre rempli de boisson gazeuse. À l'exception du verre de soda, tous les objets sont des systèmes fermés contenant du gaz. Ce choix est lié au contenu enseigné dans la séquence, qui ne met en jeu que des situations utilisant des gaz dans des enceintes fermées.

Pour chacun des aspects testés, nous donnons un aperçu des situations matérielles, ainsi que des énoncés des questions :

(1) L'aspect particulaire des gaz est testé sur l'ensemble des situations du questionnaire. Pour cela, nous avons laissé les élèves libres de répondre aux questions en se plaçant au niveau qu'ils souhaitaient.

(2) La répartition des gaz est testée par quatre situations : le ballon de foot que l'on dégonfle, le ballon de baudruche posé sur une bouteille en fer que l'on chauffe, la pompe à vélo et les quatre ballons remplis de gaz différents. Chacune de ces situations demande de représenter le gaz sur des dessins, car ce registre sémiotique nous est apparu comme le plus approprié.

(3) L'action des gaz est testée dans des situations utilisant des actions de natures différentes :

- lorsqu'il n'y a pas d'action exercée sur le gaz, à travers la situation de l'air enfermée dans une pompe à vélo sans action dessus ;

- lorsque la quantité de gaz diminue, à travers le ballon de foot que l'on dégonfle ;

- lorsque le gaz est compressé, à travers l'air enfermé dans une pompe à vélo lorsque l'on appuie sur le piston ;

- lorsque le gaz est "dépressé", à travers la situation de l'air enfermé dans une pompe à vélo lorsque l'on tire le piston et qu'on le lâche ;

- lorsque le gaz est chauffé, à travers deux situations, la première met en jeu un ballon de baudruche posé sur une bouteille en fer et la seconde utilise deux balles de ping-pong cabossées (l'une avec un trou et l'autre sans) que l'on met dans l'eau très chaude.

(4) La direction de l'action des gaz est testée dans deux situations mettant en jeu de l'air enfermé dans une pompe à vélo. La première situation se déroule sans action sur la pompe et la seconde lorsque l'on appuie sur le piston de la pompe. Pour chacune de ces situations nous demandons aux élèves de choisir parmi plusieurs réponses possibles et de donner une explication justifiant leur choix.

(5) Nous avons aussi testé le caractère pesant des gaz dans deux situations : le ballon de football que l'on dégonfle et un verre de boisson gazeuse dont les bulles s'échappent. Dans chacune de ces situations, les élèves doivent choisir parmi un ensemble de réponses possibles puis expliquer.

Ce questionnaire a été limité à 19 questions, afin qu'il puisse être réalisé par les élèves en moins de trente minutes. Le tableau 5.1 résume l'essentiel de ce questionnaire. De plus, les énoncés des questions sont disponibles dans l'annexe de l'analyse globale.

Numéro de la question	Énoncés des questions	Nom abrégé
1.0	Faites quatre phrases en utilisant le mot air	mot air
1.1	Faites quatre phrases en utilisant le mot gaz	mot gaz
2.1	lorsqu'on joue au foot, il arrive que le ballon soit trop dur. Pour qu'il fasse moins mal tout en gardant la même forme, on le dégonfle un peu. décrivez ce qui se passe lorsqu'on le dégonfle ?	ballon foot (Description)
2.2	À votre avis, une fois que le ballon sera un peu dégonflé, il pèsera : plus léger, plus lourd, la même chose expliquez ?	ballon foot (masse)
2.3	Représentez l'air dans le ballon avant qu'on le dégonfle et une fois dégonflé	ballon foot **S**chéma
2.4	Lorsque l'on dégonfle le ballon il devient moins dur, expliquez ?	ballon foot **E**xplication
3.1	On chauffe une bouteille en fer avec un ballon de baudruche dessus. Au bout d'un certains temps il se gonfle le ballon se gonfle. Expliquez le fait que le ballon se gonfle ?	chauffe ballon E
3.2	Schématisez ce qui se passe	chauffe ballon S
4.1.1	On bouche une pompe à vélo avec un bouchon, dans la position du dessin. À votre avis où l'air agit dans la pompe (Q.C.M) Expliquez ?	pompe sans action E
4.1.2	Représentez l'air enfermé dans la pompe ?	pompe sans action S
4.2.1	On pousse maintenant sur le piston, en maintenant la pompe fermée avec le bouchon. À votre avis où l'air agit dans la pompe (Q.C.M) Expliquez ?	pompe pousse E
4.2.2	Représentez l'air enfermé dans la pompe ?	pompe pousse S
4.2.3	Est-ce que l'air agit sur les parois de la même façon dans les deux situations	pompe (R agit)
4.3	Si on lâche le piston que va-t-il se passer ?	pompe pousse/lâche
5.1	On prend quatre ballons de baudruche de même volume, remplis d'air, d'hélium, de gaz carbonique et d'hélium. Si on appuie successivement de la même façon sur les quatre ballons de manière à les déformer. Si on lâche que va-t-il se passer pour chacun des ballons expliquez	quatre ballons E
5.2	Représentez l'air, l'hydrogène, le gaz de ville et l'hélium dans chacun des ballons	quatre ballons S
6.1	On jette dans de l'eau très chaude deux balles de ping-pong cabossées, l'une des deux balles est trouée (balle 2). Q.C.M sur la forme de la balle 1 Expliquez	ping-pong 1
6.2	Q.C.M sur la forme de la balle 2 Expliquez	ping-pong 2
7.1	On remplit un verre de coca-cola À votre avis lorsque toutes les bulles seront parties, le verre pèsera : plus lourd, plus léger, la même chose expliquez	verre coca

Tableau 5.1 : L'essentiel du questionnaire

2. Recueil des données

Concernant le recueil des données, nous avons fait le choix méthodologique de donner le même questionnaire avant et après l'enseignement. En effet, le fait de changer les situations du questionnaire, en modifiant les énoncés ou les situations matérielles pour les rendre équivalentes aux anciennes, risque fort de notre point de vue d'introduire de nouveaux effets non maîtrisés sur les élèves. Ceci risque de nous faire tester l'adaptation des élèves à de nouvelles situations, plutôt que de nous faire étudier l'évolution des réponses des élèves à la suite de l'enseignement. Le choix de garder le même questionnaire, nous conduit à préciser que l'évolution des élèves n'est testée que sur les situations du questionnaire et que nos

résultats ne sont valables que pour les élèves interrogés dans ces situations. Nous refusons a priori toute extrapolation de ces résultats à d'autres situations. Ceci ne nous empêche pas de bâtir des hypothèses à partir de ces résultats, et notamment d'utiliser le fait qu'il est fort probable que les élèves répondent de la même façon pour des situations proches. Cependant ces hypothèses ne deviendront des résultats que lorsqu'elles auront été testées dans ces nouvelles situations.

Lorsque nous avons fait passer le questionnaire dans les classes, nous avons essayé de minimiser les effets dus à la prise en main de la séquence d'enseignement par les enseignants. Pour cela, nous avons choisi les classes de deux enseignants du groupe "outils", ayant participé à l'élaboration de la séquence sur les gaz. Concrètement, nous avons fait passer, avant et après l'enseignement sur les gaz, le questionnaire dans trois classes de seconde de deux lycées de la ville de Lyon (notés lycée 1 et 2). Dans le lycée 1, la première classe (que nous noterons 2^{nde} 8) est constituée d'une majorité d'élèves souhaitant continuer en 1e littéraire, alors que la seconde classe (noté 2^{nde} 12) semble hétérogène et ne fait pas ressortir de tendance particulière. Dans le lycée 2, la classe (notée 2^{nde} 6) se compose d'élèves faisant l'option arts plastiques et dont la plupart souhaitent continuer en 1e littéraire.

Classes	Nombre de questionnaires récoltés **Avant**	Nombre de questionnaires récoltés **Après**
Lycée 1 (2^{nde} 8)	30	22
Lycée 1 (2^{nde} 12)	32	34
Lycée 2 (2^{nde} 6)	33	30
Total	95	86

Tableau 5.2 : Nombre de questionnaires recueillis dans trois classes de seconde

Dans le tableau 5.2, il apparaît que le nombre d'élèves ayant répondu au questionnaire avant (95) la séquence d'enseignement est supérieur à ceux qui l'ont traité après (86). Cette différence est due à l'absence de plusieurs élèves lors des deux passages du questionnaire.

3. Analyses et Résultats

Introduction

Pour analyser les réponses des élèves à ce questionnaire, nous avons mis au point une grille d'analyse, regroupant les différentes réponses des élèves en fonction de nos catégories. Une fois que tous les questionnaires ont été analysés, nous avons refait la même analyse à partir de ces catégories. Nous avons retrouvé les mêmes résultats à environ 4 % près pour toutes les questions, sauf deux qui sont au environ de 15 %. Pour ces deux questions, il semble que les critères que nous avons utilisés ne soient pas assez précis. C'est pourquoi, nous avons fait le choix de ne pas les présenter dans nos résultats. Ces questions sont numérotées 4.2.3 et 5.1 dans le questionnaire (voir l'annexe de l'analyse globale).

Comme nous l'avons présenté dans la partie concernant la construction du questionnaire (voir ci-dessus), nous cherchons à suivre l'évolution des connaissances des élèves sur les gaz. La présentation de nos résultats va s'appuyer sur les catégories définies à partir de l'analyse du savoir de la physique et de celui des élèves (voir chapitre 4). Ces catégories reprennent différents aspects des gaz. Nous commencerons par regarder l'aspect particulaire des gaz, pour ensuite voir la répartition des molécules. Par la suite, nous regarderons l'action des gaz, pour finir en étudiant leur caractère pesant. Nous précisons pour chacune des questions, la réponse attendue par la physique ou plus précisément le savoir à enseigner, ainsi que les catégories dans lesquelles nous classons les réponses des élèves.

3.1 Aspect particulaire des gaz

Un des objectifs de la séquence d'enseignement sur les gaz est l'appropriation par les élèves du modèle microscopique des gaz. Cependant, comme le signale notre partie sur les conceptions (voir chapitre 1), un grand nombre de travaux didactiques sur des élèves allant du collège jusqu'à l'université et menés dans différents pays, montre que l'acquisition du modèle microscopique n'est pas évidente pour les élèves et que son utilisation n'est pas forcément faite de manière spontanée dans la plupart des situations (Novick et Nussbaum 1981 ; Chomat, Larcher & Méheut 1988 ; Stavy 1988 ; Méheut & Chomat 1990 ; Benson et al. 1993). C'est pourquoi, nous avons étudié comment ce modèle était réutilisé par les élèves à la suite de l'enseignement. Pour cela, nous avons essayé de déterminer à quel niveau

(macroscopique ou microscopique) se situent leurs explications. Rappelons que suivant la formulation des questions, le type de réponse adoptera des formes différentes. En effet, certaines questions demandent des explications en langue naturelle et d'autres demandent de faire des dessins.

Concrètement dans notre analyse, toutes les explications faisant appel aux mots molécules, atomes ou particules, qu'ils soient correctement utilisés du point de vue de la physique ou non, ont été considérées comme relevant du niveau microscopique. En effet, ces trois mots sont issus du vocabulaire scientifique et ne sont utilisés que pour décrire les éléments se trouvant à l'échelle microscopique. Nous donnons à titre d'exemple quelques explications d'élèves, mais avant il nous faut préciser que toutes les citations d'élèves sont données telles quelles, sans corriger l'orthographe, afin d'éviter toute sur-interprétation : "*car des molécules d'air sont partie du ballon*", "*le gaz est composé de plusieurs particules*"et "*les molécules tapent sur les parois*". De même, nous avons considéré que les dessins représentant les gaz avec des traits discontinus relevaient du niveau microscopique. En effet, le caractère discontinu des gaz n'est pas perceptible directement, c'est pourquoi nous inférons que ce type de représentation relève du niveau microscopique. Voici à titre d'exemple, quelques représentations d'élèves que nous considérons comme relevant du niveau microscopique (figure 5.3) :

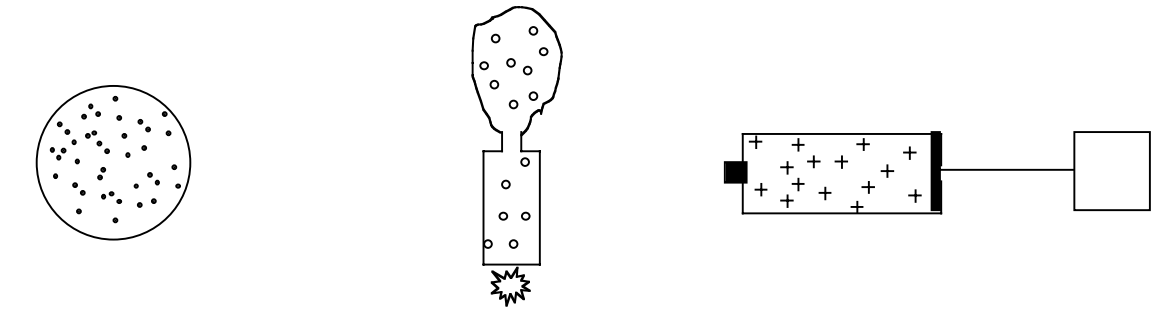


Figure 5.3 : Représentations d'élèves relevant du niveau microscopique

Nous avons regardé pour chacune des questions proposées par le questionnaire, à quel niveau se situaient les réponses des élèves avant et après l'enseignement sur les gaz. Le

graphique ci-dessous (figure 5.4) présente le pourcentage de réponses des élèves se situant au niveau microscopique pour chacune de ces questions.

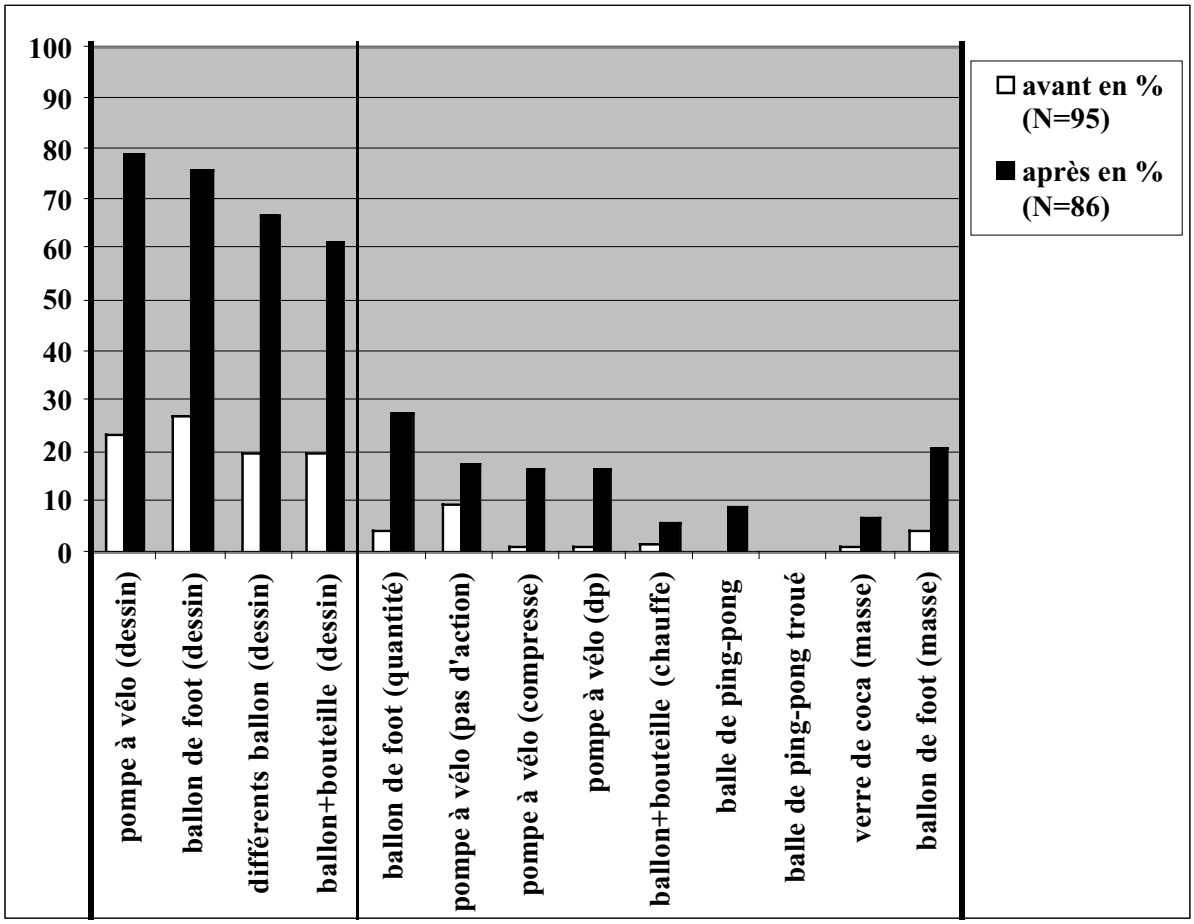


Figure 5.4 : Pourcentage des réponses d'élèves se situant au niveau microscopique en fonction des différentes questions (les quatre premières colonnes représentent les réponses d'élèves sous forme de dessins et les autres sont les explications en langue naturelle).

Il apparaît de manière très nette que les élèves se situent beaucoup plus au niveau microscopique pour traiter les questions demandant de dessiner que celles demandant des explications en langue naturelle. En effet, déjà avant l'enseignement sur les gaz (bâtonnet blanc sur le graphe) nous trouvons qu'à peu près 20 % des dessins et environ 5 % des explications en langue naturelle se situent au niveau microscopique. Après l'enseignement (bâtonnet noir sur le graphe), on trouve environ 70 % des dessins et 15 % des explications en langue naturelle qui se situent au niveau microscopique. Ces chiffres tendent à montrer que, à la suite de l'enseignement, les élèves considèrent qu'il est plus pertinent de représenter l'air par

des traits discontinus plutôt que comme un ensemble continu, ce que nous interprétons par le fait qu'ils adoptent une représentation microscopique des gaz. Cette forte évolution du nombre de dessins se situant au niveau microscopique peut être interprétée par le fait que la première partie de la séquence d'enseignement, demande de représenter à de nombreuses reprises les gaz au niveau microscopique. De plus, un certain nombre d'activités demande de comparer ces représentations avec le modèle microscopique (donné en langue naturelle essentiellement).

Lorsque l'on compare l'évolution des dessins selon les situations proposées par le questionnaire, il apparaît que la plus forte évolution à la suite de l'enseignement porte sur la situation où l'on compime de l'air dans une pompe à vélo (un peu moins de 60 %). Cette situation demande de représenter de l'air enfermé dans une pompe à vélo sur un premier dessin, puis de représenter l'air lorsque l'on appuie sur le piston sur un second dessin. Cette question est similaire à celle posée aux élèves lors de la première activité de la séquence d'enseignement, la seule différence porte sur l'enceinte, une seringue au lieu d'une pompe à vélo. Ceci pourrait expliquer pourquoi, il y a une telle évolution pour cette situation. Concernant les explications en langue naturelle, nous nous attendions, pour les mêmes raisons, à ce que les réponses fassent le plus appel aux molécules pour la situation de la pompe à vélo, or c'est la situation où l'on dégonfle le ballon de football qui obtient le plus de réponses au niveau microscopique.

Nos résultats montrent que les questions demandant de représenter des gaz sur un dessin conduisent à un plus grand nombre de réponses se situant au niveau microscopique que celles pour lesquelles la réponse est en langue naturelle. Ceci nous conduit à étudier plus en détail les différentes représentations des gaz, notamment la répartition des particules.

3.2 Répartition des gaz

Les gaz n'ont pas de forme propre, ils adoptent la forme du récipient qui les contient. Cette propriété est liée au fait que les gaz sont expansibles, c'est-à-dire qu'ils occupent tout l'espace dont ils disposent. Bien que cette répartition homogène ne semble pas poser de problème aux élèves lorsque qu'un gaz est enfermé dans une enceinte (Séré 1985), il semble que cela soit plus difficile lorsque des actions sont exercées sur cette enceinte. En effet, pour un nombre conséquent d'élèves, les gaz seront concentrés à certains endroits (Novick et

Nussbaum 1978), notamment lorsque l'enceinte est chauffée (Séré 1985), refroidie (Noh & Scharmann 1997 ; Niaz 2000), compressée (Chomat, Larcher & Méheut 1988) ou lorsque l'on enlève du gaz de cette enceinte (Benson, Wittrock & Baur 1993). De plus, il semble que lorsque l'on mélange deux gaz, leur répartition ne soit pas homogène pour certains élèves (Barlet & Plouin 1997). L'ensemble de ces travaux nous permet de faire émerger, que pour les élèves, la répartition des gaz n'est pas homogène et que cette répartition semble dépendre des situations. Nous avons décidé de tester la répartition du gaz pour les élèves, à travers quatre questions. Chacune d'entre elles demande aux élèves, de représenter du gaz dans une enceinte fermée. La première situation fait diminuer la quantité d'air dans un ballon de foot, la seconde augmente la température de l'air dans un ballon posé sur une bouteille en fer, la troisième met en jeu de l'air dans une pompe à vélo sans action sur le piston ainsi que lorsque l'on appuie dessus et la dernière situation présente différents gaz dans des ballons. Voici, les quatre énoncés des questions (le numéro avant chaque énoncé correspond au numéro de la question dans le questionnaire) :

"2- Lorsque l'on joue au football, il arrive que le ballon soit trop dur. Pour qu'il fasse moins mal tout en gardant la même forme, on le dégonfle un peu.

2.3- Représentez l'air dans le ballon avant qu'on le dégonfle (figure a) et une fois qu'il est dégonflé (figure b)

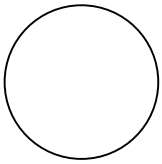


Figure a

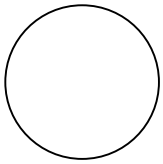
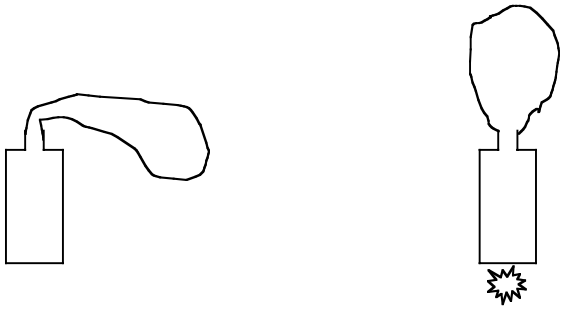


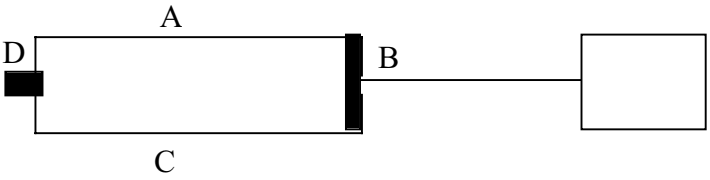
Figure b

3- On chauffe une bouteille en fer avec un ballon de baudruche dessus. Au bout d'un certain temps le ballon se gonfle

3.2- Schématisez ce qui se passe

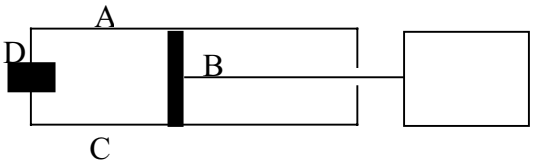


4- On bouche une pompe à vélo avec un bouchon, dans la position du dessin.



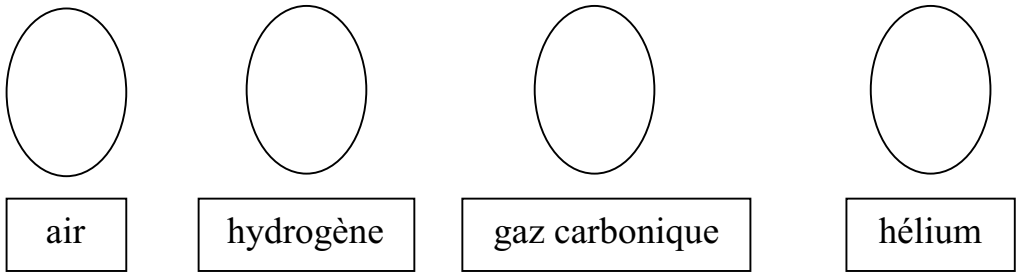
4.1.2 Sur le dessin ci-dessus, représentez l'air enfermé dans l'enceinte (ABCD).

4.2- On pousse maintenant sur le piston, en maintenant la pompe fermée avec le bouchon.



4.2.2 Sur le dessin ci-dessus, représentez l'air enfermé dans l'enceinte (ABCD).

5.2- Représentez l'air, l'hydrogène, le gaz carbonique et l'hélium dans chacun des ballons



Dans l'ensemble de ces situations, il est possible de représenter le gaz, soit par un ensemble continu (niveau macroscopique) soit par des traits discontinus (niveau microscopique). Les dessins suivants illustrent le fait que le gaz se répartit **partout**. Ces représentations sont "acceptables" du point de vue du savoir à enseigner pour le niveau macroscopique (figure 5.5) et pour le niveau microscopique (figure 5.6) :

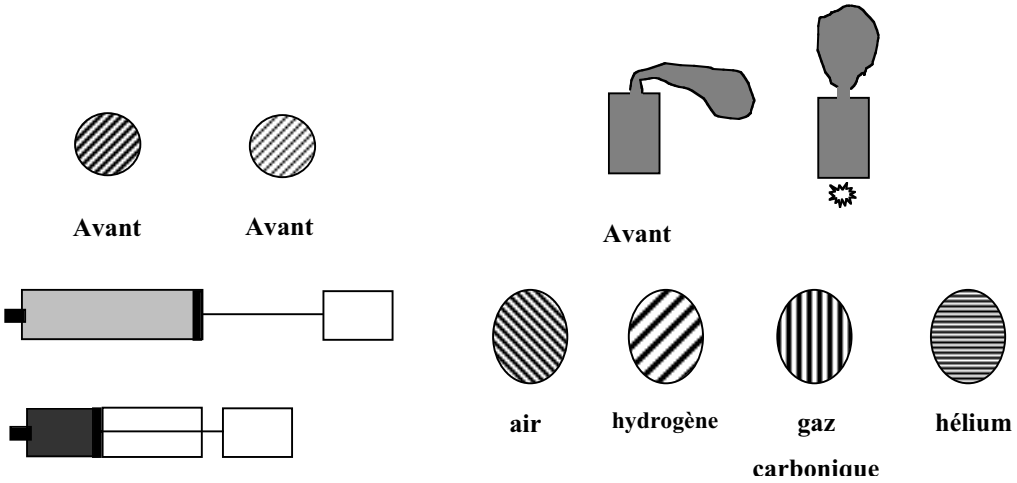


Figure 5.5 : Représentations du gaz au niveau macroscopique dans différentes situations

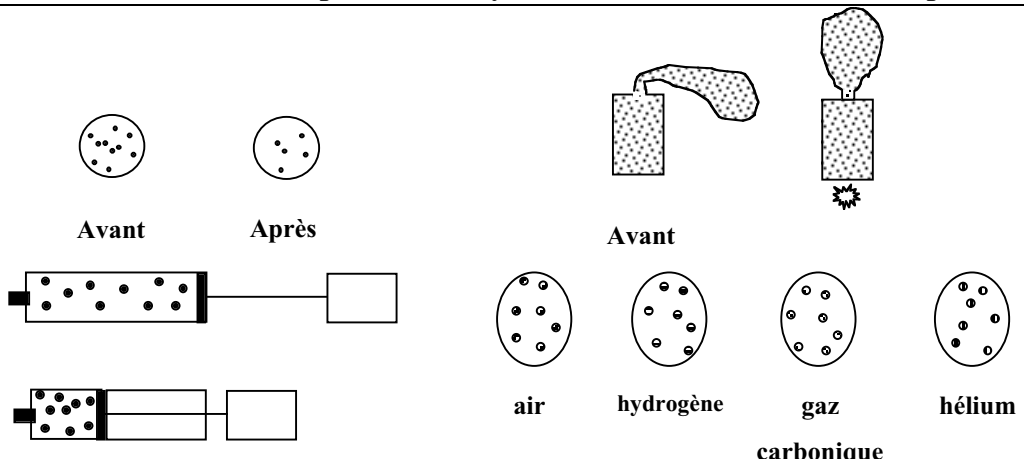


Figure 5.6 : Représentations microscopiques du gaz dans différentes situations

Cependant on trouve un certain nombre de dessins d'élèves, qui représentent le gaz comme étant seulement **à un endroit**. Nous donnons plusieurs exemples de ce type de représentation (figure 5.7).

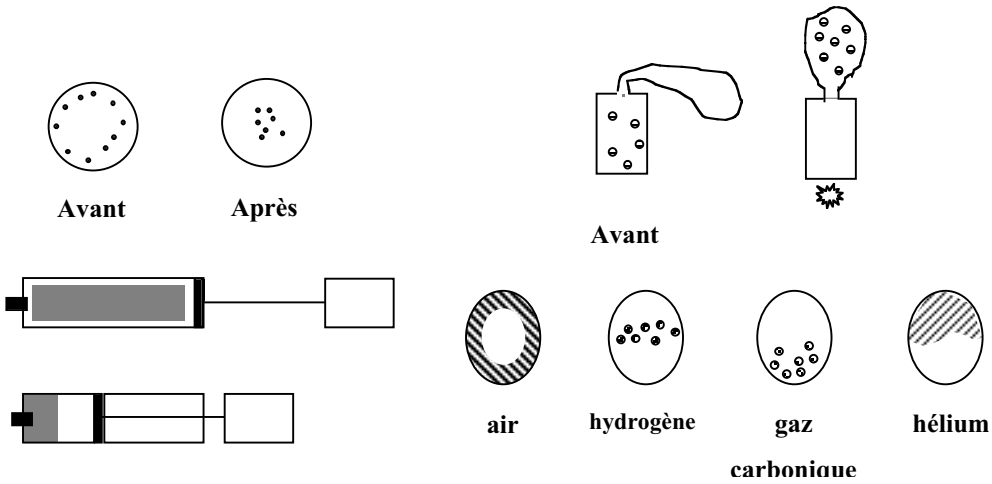


Figure 5.7 : Dessin des élèves représentant le gaz comme réparti seulement à un endroit

Nous présentons maintenant un graphique dans lequel nous avons regroupé pour chaque situation d'un côté l'ensemble des dessins représentant le gaz réparti partout (catégorie **de partout** sur le graphe) et de l'autre ceux qui représentent le gaz seulement à un endroit (catégorie **à un endroit** sur le graphique). La colonne ballon + bouteille correspond à la situation, où l'on chauffe une bouteille avec un ballon de baudruche dessus.

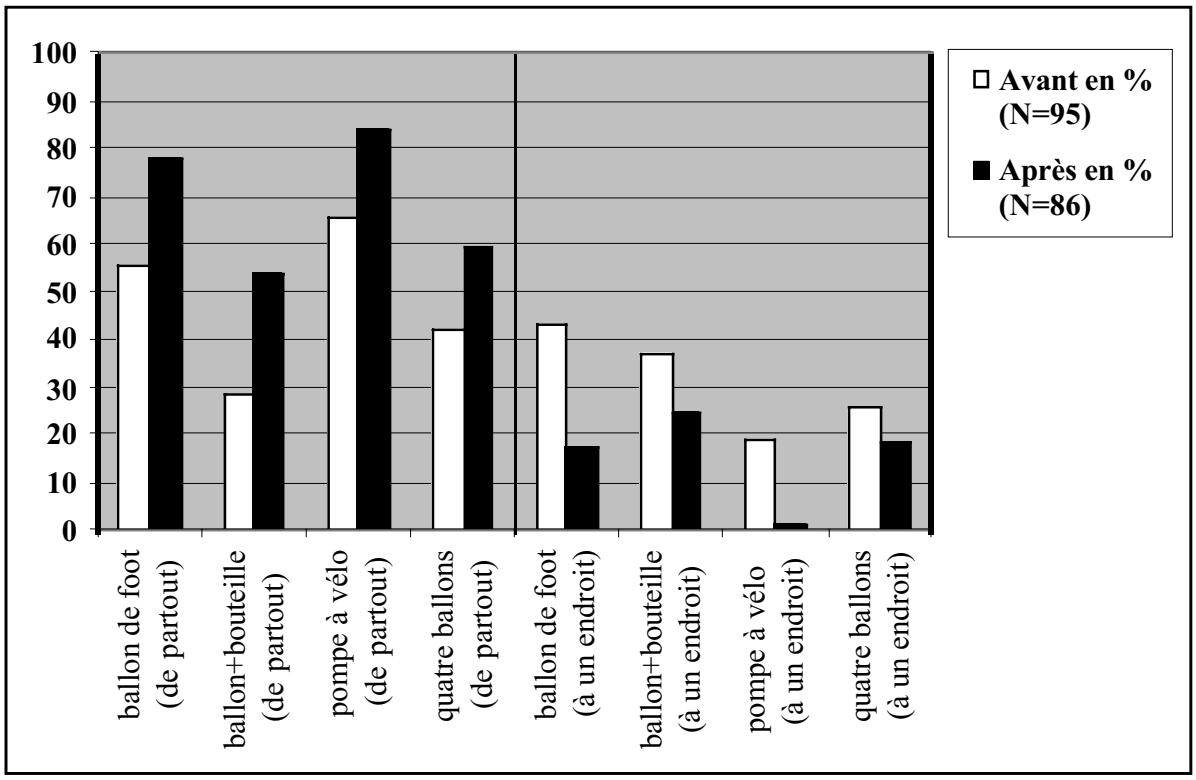


Figure 5.8 : Évolutions du pourcentage de dessin représentant le gaz de partout et à un endroit

Ce graphique montre qu'avant l'enseignement en moyenne 30 % des dessins ne représentent pas le gaz comme étant réparti de manière homogène. Il apparaît que, à la suite de l'enseignement, ce nombre diminue jusqu'à environ 15 %. Il est intéressant de remarquer que cette répartition "plus à un endroit" n'est pas faite au hasard. En effet, pour la situation du ballon de football, on trouve que, dans la plupart de ces réponses, la représentation de l'air est concentrée au centre du ballon (figure 5.9).



Figure 5.9 : Représentation de l'air réparti au centre d'un ballon de football un peu dégonflé (au niveau macroscopique et microscopique)

Cette représentation permet d'expliquer, du point de vue des élèves, pourquoi les parois du ballon sont plus molles. En effet, on trouve parmi les réponses des élèves donnant ce type de représentation, les explications suivantes : "*lorsque l'on appuie sur le ballon. On met la main sur du vide. Elle s'enfonce.*"ou "*parce que le gaz ne touche pas les parois du*

ballon, parce qu'il est moins dense" ou encore "*Comme l'air ne remplit plus tout l'espace disponible lorsque l'on appuie sur le ballon, cet endroit est mou, il s'enfonce*" (les citations d'élèves sont données telles quelles, sans modification ou correction de l'orthographe). Ce type de d'explications ne prend pas en compte le caractère expansible des gaz, et considère que lorsque l'on appuie sur le ballon, la paroi va se déformer jusqu'à ce que l'on touche l'air.

De même, dans la situation du ballon de baudruche posé sur une bouteille que l'on chauffe, l'air est représenté majoritairement en haut (figure 5.10). De plus, on trouve sur 35 % des dessins réalisés avant l'enseignement une flèche allant vers le haut.

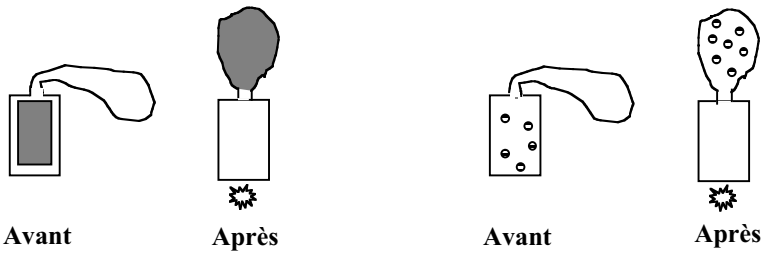


Figure 5.10 : Répartition de l'air chaud dans un ballon de baudruche (au niveau macroscopique et microscopique)

Dans ce cas encore, le gaz se répartit à l'endroit où se passe l'action. En effet, dans cette situation l'air ira dans le ballon (lieu où se déroule l'action) pour le gonfler. Ce type de représentation illustre la conception *l'air chaud monte* déjà identifiée par Séré (1985).

On retrouve ce type de représentations dans la situation de la pompe à vélo (figure 5.11). Comme nous le verrons par la suite (voir les résultats sur l'action des gaz), de nombreux élèves pensent que l'air agira plus sur l'une des parois se trouvant dans la direction du mouvement du piston. Là encore, le gaz se répartira à l'endroit où se déroule l'action.

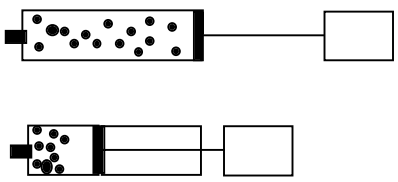


Figure 5.11 : Représentation du gaz plus à en endroit en fonction de l'action du gaz

Cependant à la suite de l'enseignement, les dessins représentant le gaz, uniquement à un endroit de la pompe à vélo, ne sont presque plus proposés par les élèves (inférieur à 5 %).

En revanche, on voit augmenter le nombre de dessins où le gaz est représenté par des traits discontinus qui se touchent (figure 5.12).

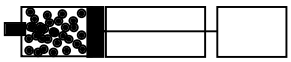


Figure 5.12 : Représentation du gaz par des traits discontinus qui se touchent

Ce type de dessins illustre le comportement que les élèves attribuent aux molécules. En effet, le fait que les molécules se touchent leur permet d'expliquer pourquoi lorsque l'on comprime de l'air dans une pompe à vélo, il est impossible de pousser le piston jusqu'au bout. Cette idée (les molécules se touchent), bien qu'inexacte du point de vue de la physique, permet d'expliquer un certain nombre de situations, particulièrement celles mettant en jeu une compression. La figure 5.13, montre, entre autres, l'évolution de cette représentation à la suite de l'enseignement.

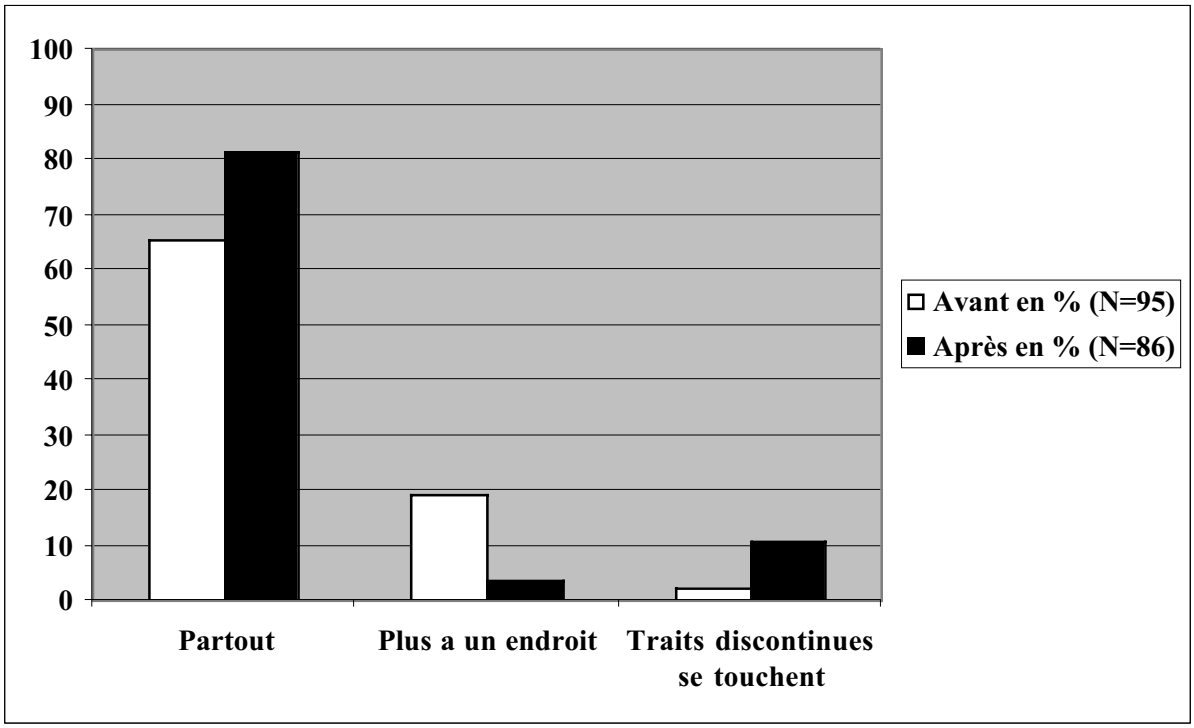


Figure 5.13 : Évolution de la répartition du gaz dans la situation de la pompe à vélo

Ce graphique montre qu'après l'enseignement les dessins représentant le gaz à un endroit particulier diminuent (jusqu'à environ 4 %). Cependant, parallèlement le nombre de dessins représentant l'air par des traits discontinus qui se touchent, augmente jusqu'à un peu plus de 10 %. On retrouve cette augmentation dans les trois autres situations, mais en très faible quantité (voir les tableaux de résultats sur la répartition dans l'annexe de l'analyse globale). Cette augmentation à la suite de l'enseignement est assez surprenante, car elle ne va pas dans le sens de la physique. Cependant, elle témoigne d'un début d'appropriation du modèle microscopique, puisqu'elle utilise le fait que les molécules ne se déforment pas.

Dans la situation des quatre ballons remplis de gaz différents, on retrouve encore des dessins représentant la répartition des gaz à certains endroits. Ici encore, cette répartition n'est pas faite au hasard. En effet, la plupart des dessins représentent l'hélium en haut (15 % avant l'enseignement). Concernant les autres gaz, on trouve en plus faible quantité des représentations où l'hydrogène et le gaz carbonique sont en bas (1 %) ou encore que les gaz sont plus au centre (5 % avant l'enseignement). La figure 5.14 illustre ces différents types de représentations :

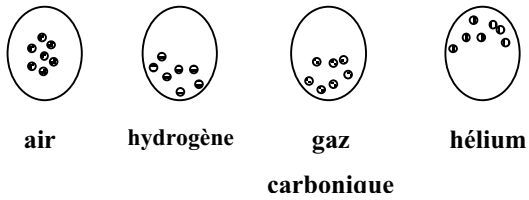


Figure 5.14 : Représentation de différents gaz dans les quatre ballons de baudruche

La représentation de l'hélium en haut peut être interprétée par le fait que les élèves attribuent des propriétés macroscopiques (dans notre cas, celle de faire monter les objets) aux objets microscopiques. Ce raisonnement a été mis en évidence par plusieurs travaux didactiques sur les gaz (notamment Novick & Nussbaum 1978 ; Brook, Briggs & Driver 1984 ; Méheut & Chomat 1990). Cependant un certain nombre de dessins représentent l'hélium comme un ensemble continu réparti en haut (figure 5.15).



Figure 5.15 : Représentation de l'hélium comme un ensemble continu

Ces dessins montrent que la propriété de l'hélium à faire monter certains objets, ne s'applique pas seulement au niveau microscopique, mais aussi au niveau macroscopique. C'est pourquoi nous interprétons ces représentations par le fait que la répartion du gaz est plus dense là où il agit. C'est-à-dire que l'hélium se situe plus en haut, car, pour les élèves, c'est là qu'il pousse sur les parois pour les élèves. Cette interprétation fonctionne aussi pour les représentations du gaz carbonique vers le bas, car un ballon que l'on a gonflé en soufflant dedans tombe. Il est possible que, pour les élèves, le gaz carbonique agisse vers le bas pour faire tomber le ballon.

Nous avons vu que pour chacune des situations, on trouve essentiellement deux types de représentation des gaz (partout et à un endroit). À travers ces deux groupes de représentations, deux points de vue s'opposent, la première est que le gaz se répartit partout et la seconde est que le gaz se répartit seulement à un endroit et que cet endroit est lié à l'action du gaz. Au cours de la séquence d'enseignement, les élèves doivent utiliser le modèle

microscopique, qui spécifie que "les molécules se répartissent dans tout le volume qui leur est offert". Ceci renforce le fait que les gaz se répartissent partout et comme nous l'avons vu dans la figure 5.8, on constate une forte évolution des représentations allant dans ce sens. Cependant, à l'intérieur des dessins représentant le gaz partout, on trouve des représentations où le gaz à une répartition inhomogène. Ainsi, les élèves utilisent simultanément le fait que le gaz est réparti partout, et qu'il est plus à un endroit. Comme le montre la figure 5.16, ce type de représentation existe aux niveaux macroscopique et microscopique.

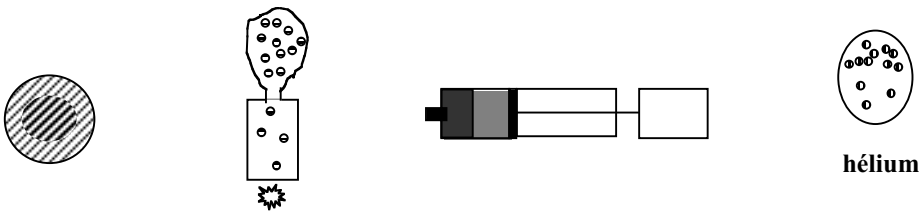


Figure 5.16 : Représentations macroscopiques et microscopiques de la répartition inhomogène du gaz dans les quatre situations

Ce type de représentation témoigne de la construction par les élèves d'une explication adoptant simultanément deux points de vue contradictoires (le gaz se répartit à un endroit, et le gaz se répartit partout). Ce type de construction a été observé par Vosniadou (1994) chez de jeunes enfants à propos de l'acquisition du modèle sphérique de la terre. Elle montre que les élèves construisent un modèle synthétique qui utilise simultanément le fait que la Terre est plate et le fait qu'elle est sphérique. On trouve notamment que la Terre est une sphère aplatie sur le dessus (Vosniadou 1994, p.53). Ces résultats ont été retrouvés chez des étudiants à l'université à propos du modèle quantique de l'atome (Petri & Niedderer 1998). La figure 5.17 montre le nombre de réponses utilisant une représentation inhomogène des gaz.

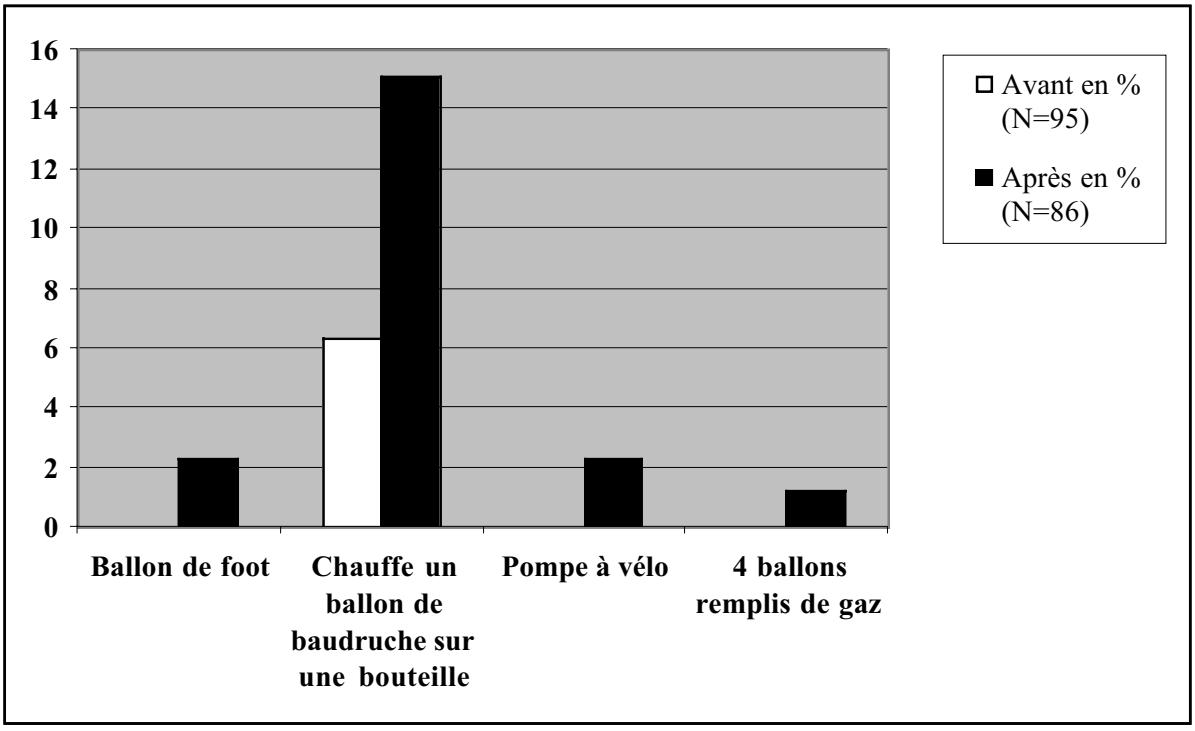


Figure 5.17 : Évolution des représentations inhomogènes des gaz dans différentes situations

Les pourcentages d'élèves utilisant ce type de représentation est très faible et cette évolution ne semble pas significative pour trois situations (ballon de foot, pompe à vélo et 4 ballons remplis de gaz différents). Cependant, ce graphique montre que dans la situation où l'on chauffe un ballon de baudruche, les représentations inhomogènes existent avant enseignement (6 %) et qu'elles augmentent de presque 10 % après l'enseignement. Cette évolution est trop faible pour être considérée comme significative. Cependant, nous pensons qu'elle est liée à l'enseignement sur les gaz et qu'elle peut être envisagée comme un début d'acquisition du modèle particulaire par les élèves.

En résumé, il apparaît qu'avant l'enseignement, dans les quatre situations, le gaz ne se répartit pas partout pour environ 30 % des représentations des élèves et qu'à la suite de l'enseignement ce pourcentage augmente jusqu'à environ de 15% . De plus, nos résultats montrent que la répartition des gaz semble dépendre de l'endroit où le gaz agit. Ainsi, le gaz se répartira : (a) au centre du ballon de foot que l'on dégonfle, (b) uniquement dans le ballon de baudruche posé sur une bouteille en fer que l'on chauffe, (c) sur l'une des parois se trouvant dans la direction du mouvement du piston d'une seringue et (d) en haut pour l'hélium contenu

dans un ballon de baudruche. Deux types de représentations semblent émerger à la suite de l'enseignement sur les gaz. Bien qu'ils concernent un nombre très faible d'élèves, il semble que chacune de ces représentations utilise certaines règles du modèle microscopique :

- La première représentation utilise la règle, les molécules gardent toujours les mêmes dimensions et ne se déforment pas. Elle représente des molécules tassées les unes contre les autres, ce qui permet d'expliquer pourquoi on ne peut pas pousser jusqu'au bout le piston d'une pompe à vélo remplie d'air.

- La seconde représentation utilise la règle, les molécules se répartissent dans tout le volume qui leur est offert. Cependant, elle représente le gaz qui se répartit de manière inhomogène, c'est-à-dire répartit partout, mais avec plus de gaz à certains endroits.

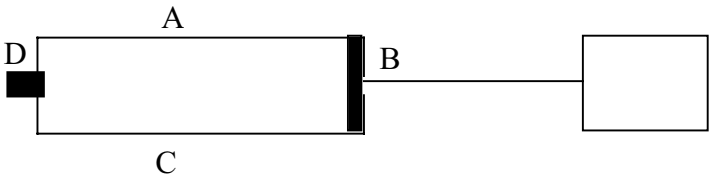
3.3 Action du gaz

Les gaz ont comme propriété de base d'agir sur tous les objets avec lesquels ils sont en contact. La physique rend compte de cette action à l'aide de la grandeur pression. Cette grandeur permet de quantifier l'action d'un gaz, notamment dans les situations où cette action n'est pas perceptible par nos sens. Le fait que les gaz agissent en permanence sur les objets, et cela dans toutes les situations, est loin d'être une évidence pour les élèves. En effet, il semble que pour la plupart des élèves (12-16 ans) l'air atmosphérique n'agit pas. De plus, pour des élèves de l'école primaire (Borghi et al.1988), ainsi que ceux du collège (Séré 1985), l'air n'agit que lorsqu'il est en mouvement. On constate aussi que pour les élèves, l'air enfermé semble avoir des propriétés différentes de l'air libre (De Berg 1992). De plus, les gaz enfermés n'agissent que lorsqu'une action est exercée sur eux et dans ce cas, il semblerait que les gaz n'agissent que dans une seule direction (vers le haut quand on les chauffe, dans la direction du mouvement lorsque l'on les comprime) (Séré 1985).

Dans le but de suivre l'évolution des élèves sur l'action du gaz et en nous basant sur ces résultats, nous avons élaboré des questions visant à tester (1) si pour les élèves l'air agit et (2) si, lorsqu'il agit, les élèves privilégient une direction. Pour cela, nous avons utilisé deux situations mettant en jeu de l'air enfermé dans une pompe à vélo, la première se déroule sans action sur le piston (ce qui favorise le fait que l'air n'agit pas puisque rien ne se passe) et la seconde lorsque l'on pousse dessus (ce qui favorise le fait que l'air agit). De plus, la seconde

situation favorise l'action de l'air dans la direction du mouvement du piston. Voici l'énoncé des deux questions (le numéro avant l'énoncé correspond au numéro de la question dans le questionnaire) :

"4.1- On bouche une pompe à vélo avec un bouchon, dans la position du dessin.



4.1.1- A votre avis :

-L'air n'agit sur aucune des parois

-L'air agit de la même façon sur les parois (ABCD)

-L'air agit plus fort sur la paroi A que sur les autres parois

-L'air agit plus fort sur la paroi B que sur les autres parois

-L'air agit plus fort sur la paroi C que sur les autres parois

-L'air agit plus fort sur la paroi D que sur les autres parois

-L'air n'agit que sur la paroi A

-L'air n'agit que sur la paroi B

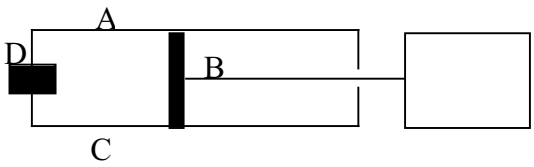
-L'air n'agit que sur la paroi C

-L'air n'agit que sur la paroi D

-Autres

Expliquez votre réponse

4.2- On pousse maintenant sur le piston, en maintenant la pompe fermée avec le bouchon.



4.2.1- A votre avis :

-L'air n'agit sur aucune des parois

-L'air agit de la même façon sur les parois (ABCD)

-L'air agit plus fort sur la paroi A que sur les autres parois

-L'air agit plus fort sur la paroi B que sur les autres parois

-L'air agit plus fort sur la paroi C que sur les autres parois

-L'air agit plus fort sur la paroi D que sur les autres parois

-L'air n'agit que sur la paroi A

-L'air n'agit que sur la paroi B

-L'air n'agit que sur la paroi C

-L'air n'agit que sur la paroi D

-Autres

Expliquez votre réponse"

Réponse attendue par la physique :

- au niveau macroscopique : la pression d'un gaz étant la même en tout point de l'enceinte fermée, l'air agira sur toutes les parois de la pompe et cela pour les deux situations. Dans la deuxième situation, la pression de l'air sera plus grande, ce qui signifie que l'action de l'air sur les parois sera plus importante que dans la situation précédente.

- au niveau microscopique : les molécules étant en mouvement permanent et désordonné dans les deux situations, elles auront des chocs avec toutes les parois. Simplement, il y aura plus de chocs sur les parois dans la seconde situation.

Le tableau 5.18 donne les pourcentages de réponses concernant l'évolution de la direction de l'action de l'air entre la situation où l'on enferme de l'air dans une pompe à vélo et celle où l'on appuie sur le piston de cette pompe. La catégorie "pas de modification" signifie que les élèves répondent que l'air agit sur les parois ABCD dans les deux situations.

Évolution de l'action du gaz suite à une compression	**Total en %**	
	Avant	**Après**
Nombre d'élèves	**95**	**86**
Pas de modification	**27**	**69**
Aucun puis ABCD	13	7
Aucun puis B	5	1
Aucun puis D et B	1	1
Aucun puis D	1	1
ABCD puis D	**25**	**5**
ABCD puis B	4	7
D puis ABCD	2	0
D puis B	3	0
B puis D	1	1
Autres	17	8

Tableau 5.18 : Modifications de la direction de l'air en fonction de l'action sur le piston d'une pompe à vélo

Ce tableau donne les réponses des élèves concernant les parois sur lesquelles l'air agit dans la pompe sans action sur le piston puis dans la pompe lorsque l'on appuie sur le piston. Par exemple, "aucun puis D" signifie que l'air n'agit sur aucune paroi dans la première

situation (pompe sans action) et qu'il agit uniquement sur la paroi D dans la seconde (pompe avec action).

Avant l'enseignement, environ 20 % (somme des réponses "aucun" dans le tableau) des élèves considèrent que l'air n'agit pas lorsqu'il n'y a pas d'action sur le piston. Nous retrouvons ainsi, les résultats de Séré (1985), mais dans une proportion beaucoup plus faible. De plus, 6 % (somme des réponses B et D dans la situation "pompe sans action") des élèves pensent que l'air agira plus sur une paroi lorsqu'il n'y a aucune action sur le piston. Concernant la direction de l'action de l'air, il semble qu'avant l'enseignement sur les gaz, seulement 27 % des élèves envisagent que l'air agit sur toutes les parois pour les deux situations. Lorsque l'on pousse sur le piston, 40 % (somme des réponses B ou D dans la situation "pompe avec action") des élèves considèrent que l'air agira plus dans une direction. De plus, cette direction est la même que celle du déplacement du piston, retrouvant ainsi certains résultats de Séré (1985).

À la suite de l'enseignement, 10 % des élèves pensent toujours que l'air n'agit pas lorsqu'il n'y a pas d'action sur le piston (somme des réponse "aucun" dans le tableau) et 69 % des élèves pensent que l'air agit sur toutes les parois pour les deux situations (réponse pas de modification), ce qui représente une évolution d'environ 40 %. Lorsque l'on pousse sur le piston, on trouve que 16 % (somme des réponses B ou D dans la situation "pompe avec action") des élèves continuent de penser que l'air agira plus dans la direction du mouvement du piston.

À la suite de ces résultats, il semble que la séquence d'enseignement favorise les réponses où l'air agit partout tout en diminuant celles où l'air agit dans une seule direction. Cette forte évolution semble être liée au fait que la séquence a lourdement insisté sur ce point et que les deux situations proposées par le questionnaire sont très proches de celles de la partie 2 mettant en jeu la compression de l'air dans une seringue.

Ces résultats sur l'action du gaz nous conduisent à aller plus loin, en analysant comment les élèves décrivent l'action du gaz, et plus particulièrement comment cette description évolue à la suite de l'enseignement. Pour cela, nous avons utilisé les situations suivantes : pompe à vélo sans action, pompe à vélo avec action sur le piston, ballon de

football que l'on dégonfle, ballon de baudruche posé sur une bouteille en fer que l'on chauffe et balles de ping-pong cabossées que l'on jette dans de l'eau bouillante. Nous présentons dans un premier temps, les résultats obtenus dans les situations utilisant la pompe à vélo et le ballon de football et dans un second temps ceux qui sont obtenus pour les situations de chauffage (ballon de baudruche et balle de ping-pong).

3.3.1. Description de l'action du gaz, lors d'une compression ou d'une diminution sa quantité

Pour les trois situations (ballon de foot, pompe à vélo avec et sans action), nous avons classé les explications des élèves traitant explicitement de l'action du gaz dans différentes catégories. Nous proposons d'illustrer ces résultats avec la situation du ballon que l'on dégonfle.

Voici l'énoncé de la question :

"2.4- Lorsque l'on dégonfle le ballon, il devient moins dur. Expliquez "

Réponse attendue par le savoir à enseigner :

- au niveau macroscopique : lorsque le ballon se dégonfle, la quantité d'air contenue dans le ballon diminue, simultanément la pression de l'air à l'intérieur du ballon va diminuer (on suppose que le volume du ballon ne change pas) ; comme la pression rend compte de l'action de l'air sur une paroi donnée, l'air agira moins fort sur la paroi, donc le ballon devient plus mou.

- au niveau microscopique : lorsque le ballon se dégonfle, le nombre de molécules contenues dans le ballon diminue, entraînant simultanément une diminution du nombre de chocs sur l'intérieur de la paroi du ballon, c'est pourquoi le ballon devient plus mou.

Pour analyser les explications traitant explicitement de l'action du gaz nous avons distingué quatre catégories selon qu'elles font appel à :

- la **pression**, cette catégorie regroupe les explications utilisant le mot pression comme une grandeur physique, c'est-à-dire que les élèves utilisent des mots décrivant la variation d'une grandeur, on trouve notamment "*la pression de l'air dans le ballon diminue, donc l'action du gaz sera moins forte sur les parois*", "*le ballon devient moins dur car la pression diminue", ou "il y a moins de pression*".

- l'**action** de l'air. Dans cette catégorie, on trouve les phrases comme "*l'air presse sur les parois*", "*il devient moins dur car l'air ne force pas contre les parois du ballon*" ou "*l'air agit sur les parois de façon constante et similaire*". De plus, on trouve des explications comme "*la pression exercée à l'intérieur est donc moins forte*" ou "*l'air exerce une pression moins forte sur les parois du ballon*". Dans ces explications, le mot pression est utilisé avec la signification quotidienne de presser ou de pousser, il est d'ailleurs fréquemment utilisé avec le verbe exercer, en effet les élèves parlent d'exercer une pression. Ce mot est utilisé avec un sens différent de celui de la physique.

- les **chocs** des molécules, cette catégorie associe au mot molécule les verbes taper, cogner, rebondir, ainsi que les mots choc et collision, voici un exemple d'explication rencontrée "*les molécules sont moins nombreuses, elles tapent moins sur les parois du ballon*" ou "*les particules d'air qui sont dans le ballon sont moins nombreuses, donc rentre moins en collision avec les parois du ballon*".

- l'action des **molécules**, cette catégorie se distingue de la précédente par le fait que les explications des élèves utilisent l'action des molécules sans parler de choc, on trouve des phrases comme "*les molécules exercent une pression moins forte sur les parois*", "*les molécules poussent moins à l'intérieur du ballon" ou "les molécules d'air se sont échappées, il y a donc moins de pression de celles-ci sur les parois du ballon*".

Le graphique ci-dessous présente le pourcentage d'explications des élèves en fonction de nos catégories pour les trois situations (ballon de foot que l'on dégonfle, pompe à vélo **S**ans **A**ction (SA) et pompe à vélo **A**vec **A**ction sur le piston (AA)). La catégorie "action des molécules" correspond à "molécules" sur le graphique.

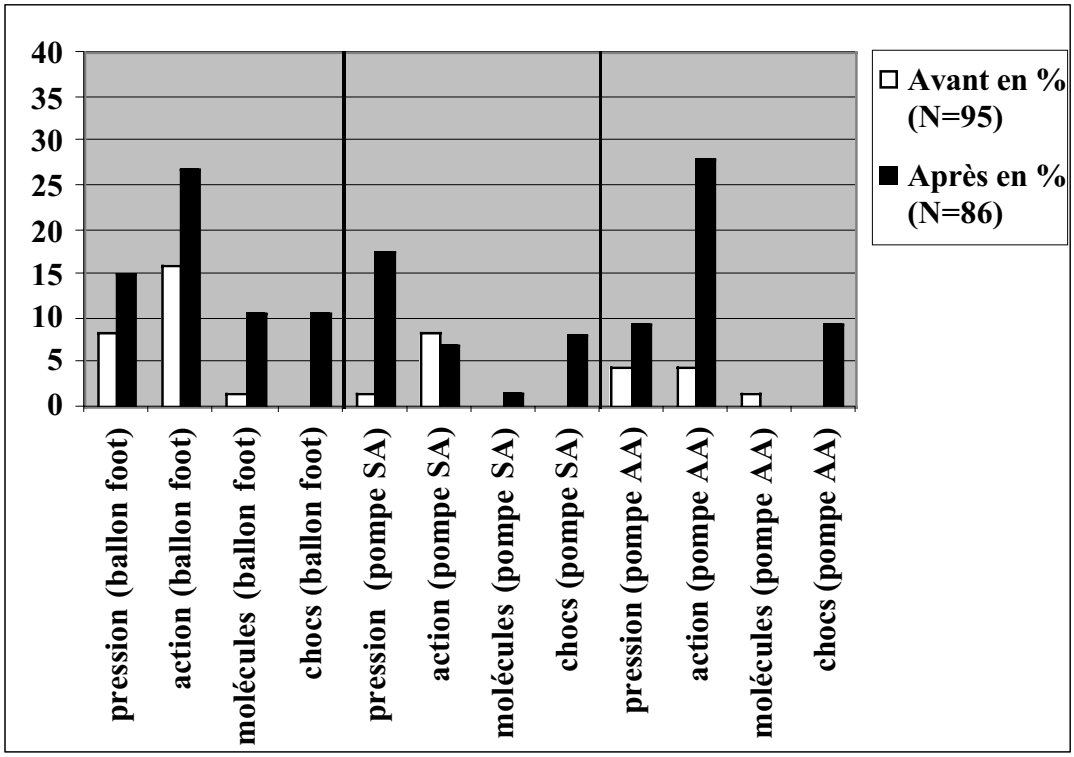


Figure 5.19 : Évolution des explications des élèves sur l'action du gaz dans trois situations : ballon de foot que l'on dégonfle, pompe à vélo **s**ans **a**ction (SA) et pompe à vélo **A**vec **A**ction sur le piston (AA).

Ce graphique montre qu'avant l'enseignement, un petit nombre d'explications mettent explicitement en jeu l'action du gaz, (environ 25 % pour le ballon de foot, 10 % pour la pompe sans action (SA) et 10 % pour la pompe avec action sur le piston (AA)). Après l'enseignement, un nombre plus important d'élèves utilisent explicitement l'action du gaz dans leurs explications, respectivement 42 % pour le ballon de foot 34 % pour la pompe Sans Action et 45 % pour la pompe Avec Action. Dans ces explications, seulement environ 10 % utilisent le mécanisme des chocs des molécules pour décrire l'action des gaz, ce qui est très faible compte tenu des objectifs de la séquence d'enseignement visant à l'introduction d'un modèle microscopique des gaz. En revanche, après la séquence, nous observons que la situation de la pompe à vélo sans action sur le piston, semble favoriser les explications utilisant la pression comme une grandeur (+16 % après enseignement). Ceci ne semble pas être le cas des deux autres situations qui font émerger des explications utilisant l'action de l'air (environ 27 % pour ces deux situations, à la suite de l'enseignement). Ainsi les élèves savent que l'air agit, mais ils n'utilisent pas encore le vocabulaire de la physique pour le décrire. Dans

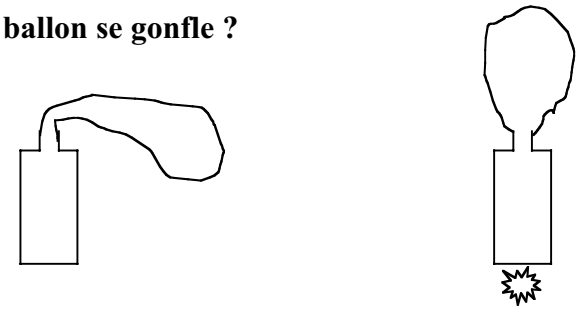
cette catégorie, nous avons remarqué que les élèves utilisent le mot pression mais avec un sens différent de celui de la physique. Ils parlent notamment de l'air qui exerce une pression sur les parois. Cette utilisation est particulièrement intéressante, car elle témoigne du fait que les élèves commencent à employer un mot de la physique pour décrire l'action des gaz, sans pour autant avoir construit son sens (physique), ils l'utilisent d'ailleurs avec celui qu'il a dans le quotidien. Les explications du type "l'air exerce une pression sur les parois", indiquent que les élèves se sont approprié la notion que l'air agit ; ils leur restent cependant à apprendre à utiliser les bons mots pour en rendre compte.

3.3.2. Description de l'action du gaz lorsque l'on le chauffe

Les gaz ont la propriété de se dilater lorsque l'on les chauffe, c'est-à-dire que leur volume augmente. De plus, cette augmentation de volume est proportionnelle à la température. Les situations de chauffage semblent être plus difficiles à appréhender que les autres pour les élèves (Méheut 1996). De plus, il semble qu'une partie des élèves interprète les phénomènes de dilatation soit en expliquant que l'air chaud monte, soit en expliquant qu'une transformation fait apparaître un nouveau gaz (Séré 1985). Nous avons testé la manière dont les élèves interprètent le phénomène de dilatation dans deux situations. Voici, l'énoncé de la première situation (le numéro avant l'énoncé correspond au numéro de la question dans le questionnaire) :

"3- On chauffe une bouteille en fer avec un ballon de baudruche dessus. Au bout d'un certain temps le ballon se gonfle

3.1-Expliquez le fait que le ballon se gonfle ?



Le phénomène de dilatation de l'air peut être expliqué du point du savoir à enseigner pour deux niveau :

- niveau macroscopique, lorsque l'on chauffe l'enceinte (constituée par le ballon de baudruche et la bouteille en fer), la température de l'air dans cette enceinte augmente, ce qui augmente simultanément sa pression. Comme la pression à l'intérieur est plus importante que celle qui est à l'extérieur, les parois du ballon vont se déformer, jusqu'à atteindre un certain volume, qui correspond au moment où la force exercée par le gaz à l'intérieur devient équivalente à la force exercée par le gaz à l'extérieur (ces deux forces ne sont pas égales puisque la paroi du ballon intervient aussi).

- niveau microscopique, lorsque l'on chauffe l'enceinte (constituée par le ballon baudruche et la bouteille en fer) et que l'air chauffe, la vitesse moyenne des molécules augmente, ce qui augmente simultanément le nombre de chocs sur les parois à l'intérieur. Le nombre de choc étant plus nombreux à l'intérieur qu'à l'extérieur et comme seules les parois du ballon sont susceptibles de se déformer, le ballon se gonfle jusqu'à ce que les chocs deviennent équivalents des deux côtés de la paroi.

Voici quelques exemples d'explications d'élèves que nous avons regroupées par catégorie :

-Air se dilate : "*l'air chauffé se dilate et prend donc plus de place, le ballon va alors se gonfler*", "*il se gonfle car l'air chaud prend plus de place que l'air froid*".

-Pression : "*la température fait varier la pression de l'air et son volume" "l'air se dilate et la pression augmente*".

-Molécules : "*le ballon se gonfle car avec la chaleur les molécules sont plus excitées et tapent contre les parois*", "*le ballon se gonfle car les molécules bougent plus vite*", "*le ballon se gonfle car les molécules d'air s'accélèrent grâce à l'énergie crée par la chaleur*".

-Molécules s'écartent les unes des autres : "*les molécules d'air prennent plus de place si la température augmente*", "*les molécules d'air occupent plus d'espaces*", "*le fait de chauffer dilate les molécules qui prennent plus de place*".

-Air chaud monte : "*air chaud est plus léger que l'air froid, l'air chaud monte et gonfle le ballon*", "*le gaz dans la bouteille monte dans le ballon grâce à la chaleur*".

-Apparition : "*la réaction du fer avec le dioxygène du feu a dû produire un gaz qui a fait gonfler le ballon*", "*le ballon se gonfle car la bouteille en fer chauffée produit du gaz*", "*le fer chauffé provoque un gaz qui remplit le ballon*".

-Chaleur agit :"*la chaleur monte et gonfle le ballon*", "*c'est à cause de la chaleur*".

Nous présentons l'évolution des explications des élèves à travers ces catégories (figure 5.20).

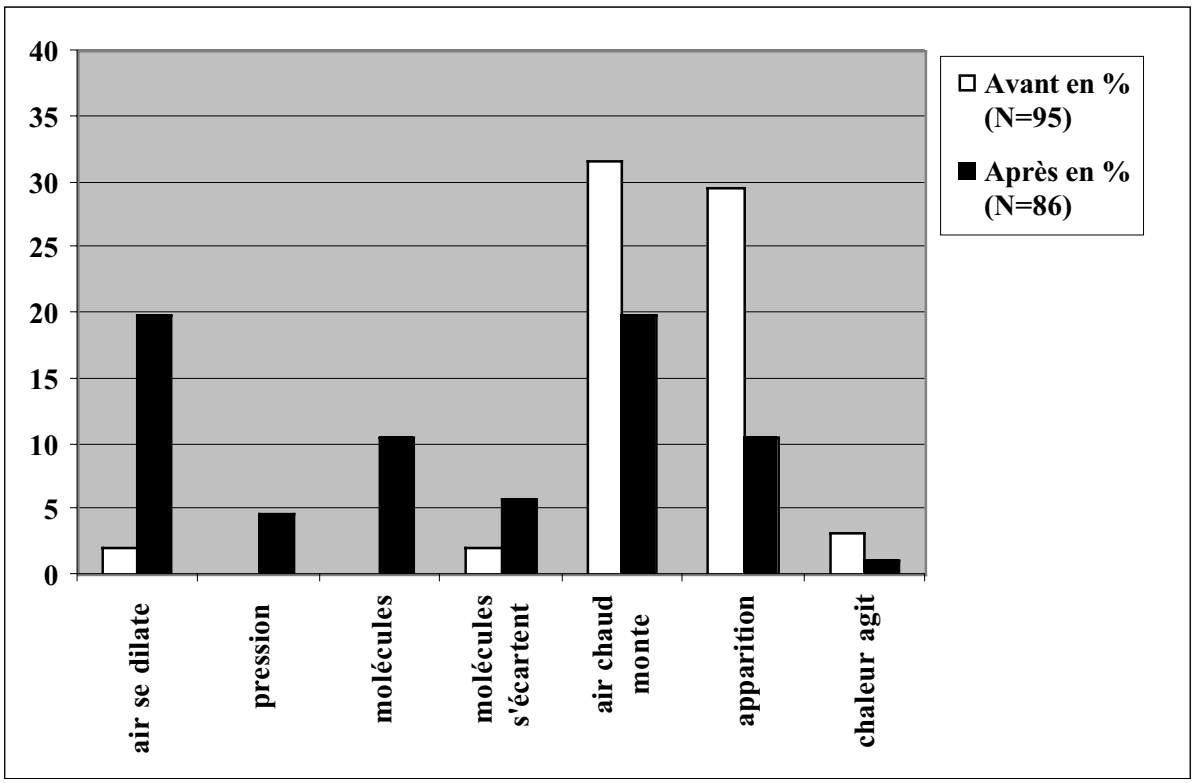


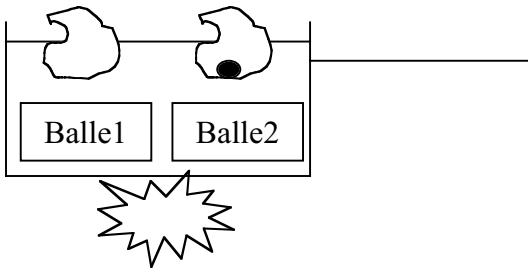
Figure 5.20 : Évolution des explications d'élèves après l'enseignement sur les gaz

Ce graphique montre qu'avant l'enseignement, la plupart des explications sont du type l'air chaud monte (32 %) ou du type il y a une apparition de gaz (28 %). L'utilisation de "l'air chaud monte" par les élèves illustre parfaitement l'exemple d'une connaissance quotidienne utilisée hors de son domaine de validité. En effet, cette connaissance fonctionne très bien pour interpréter les phénomènes se déroulant à l'air libre, elle est d'ailleurs couramment utilisée par la météo (où le front d'air chaud passe au-dessus de l'air froid), cependant elle devient inadaptée lorsque l'on enferme du gaz dans une enceinte. De même, l'utilisation de l'apparition d'un gaz par les élèves peut être interprétée par le besoin d'augmenter la quantité de gaz pour

qu'il puisse agir. Dans de nombreuses situations quotidiennes, notamment lorsque l'on gonfle un ballon de baudruche ou un pneu de vélo, on augmente la quantité de gaz, et donc le volume des objets augmente. Il semble possible que les élèves utilisent un raisonnement analogue, c'est-à-dire que pour que le ballon se gonfle, il faut que la quantité de gaz augmente, pour cela il y a un gaz qui apparaît. Après l'enseignement, il apparaît que ces deux types d'explications diminuent (d'environ 10 % pour l'air chaud monte et 20 % pour l'apparition du gaz) et que les explications décrivant la dilatation de l'air augmentent d'environ 17 %. Cependant, l'air se dilate et l'air chaud monte, se trouvent au même niveau (environ 20 %) après l'enseignement. De plus, très peu d'explications utilisent la pression (environ 5 %) ou l'agitation des molécules (environ 10 %), et cela bien que ces deux concepts ont été traités durant la séquence d'enseignement sur les gaz. Il est intéressant de remarquer que les explications dans lesquelles les molécules s'écartent les unes des autres, bien que très peu nombreuses (environ 2 % avant l'enseignement), augmentent après l'enseignement jusqu'à 6 %. Ce type de raisonnement revient à affecter aux molécules la propriété macroscopique de l'air de prendre plus de place. Ceci permet d'expliquer le fait que le ballon se gonfle. La catégorie "la chaleur agit" témoigne qu'un tout petit nombre d'élèves utilise l'action de la chaleur plutôt que celle de l'air pour expliquer le fait que le ballon se gonfle.

Nous avons proposé une seconde situation, dont voici l'énoncé :

"**6- On jette dans de l'eau très chaude deux balles de ping-pong cabossées, l'une des deux balles est trouée (balle 2).**



6.1- Au bout d'un certain temps, à votre avis :

-la balle 1 retrouve sa forme normale

-la balle 1 reste cabossée

-je ne sais pas

Expliquez votre choix

6.2- Au bout d'un certain temps, à votre avis :

-la balle 2 retrouve sa forme normale

-la balle 2 reste cabossée

-je ne sais pas

Expliquez votre choix"

Les réponses attendues du point de vue du savoir à enseigner sont que la balle sans trou retrouve sa forme initiale et la balle trouée reste cabossée car l'air va s'échapper par le trou. Les catégories d'explications sont les mêmes que celles qui sont énoncées pour la situation précédente.

Voici, les réponses données par les élèves sur le fait que les balles retrouvent ou non leurs formes initiales (figure 5.21)

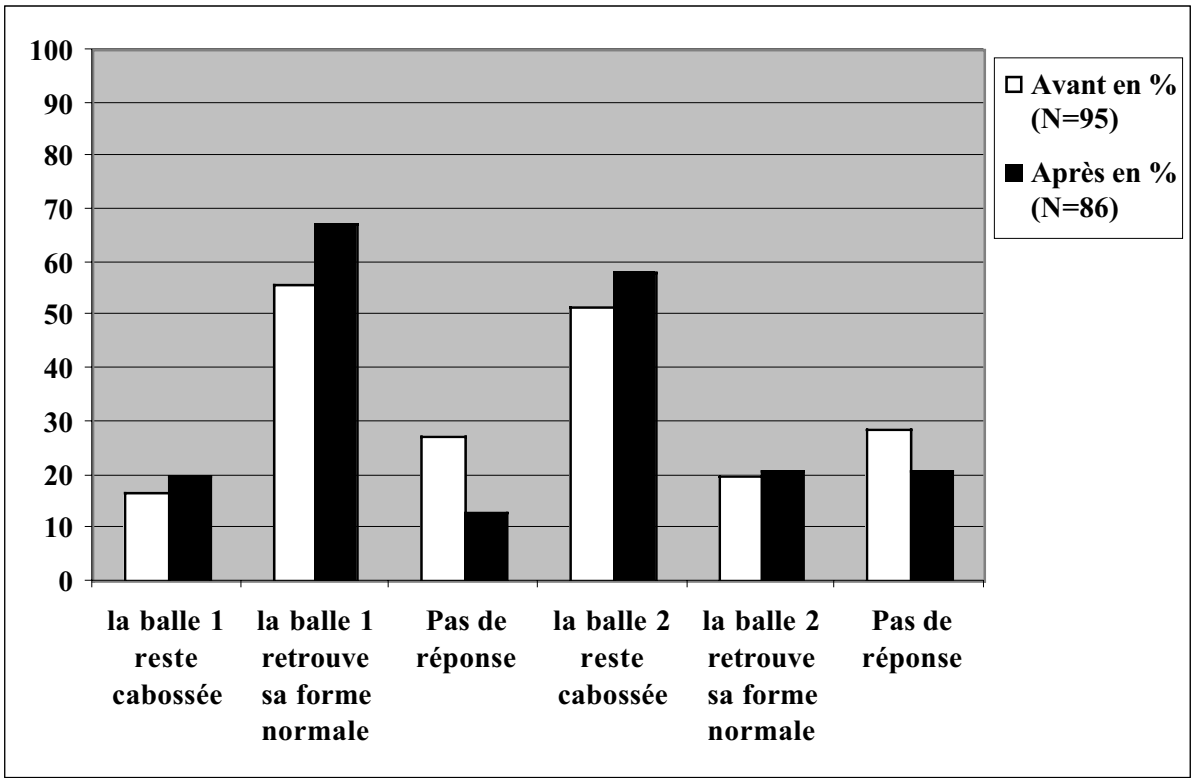


Figure 5.21 : Évolution des réponses des élèves sur les balles de ping-pong.

Le graphique (figure 5.21) montre qu'un nombre important (environ 20 %) d'élèves ne réponde pas à cette question, ce qui peut s'expliquer par le fait que cette situation est peu

familière, voire inconnue pour eux. En revanche, plus de 50 % des élèves prévoient correctement la modification de la forme des balles de ping-pong.

Parmi les réponses soutenant que la balle trouée retrouve sa forme normale (de l'ordre de 20 %) et que la balle sans trou restera cabossée, on trouve un petit nombre d'explications utilisant le fait que quelque chose va rentrer dans la balle pour agir et lui redonner sa forme normale. Ce quelque chose peut être du gaz, de l'air ou de l'eau chaude. Ce type d'explications utilise le raisonnement causal "plus-plus" (diSessa 1987) entre la quantité et l'action du gaz, c'est-à-dire que plus la quantité de gaz augmente (cause), plus son action sur les parois sera importante (effet).

Le graphique (figure 5.22) présente le type d'explications fournies par les élèves justifiant que la balle de ping-pong sans trou retrouve sa forme normale (soit environ 55 % des élèves avant enseignement).

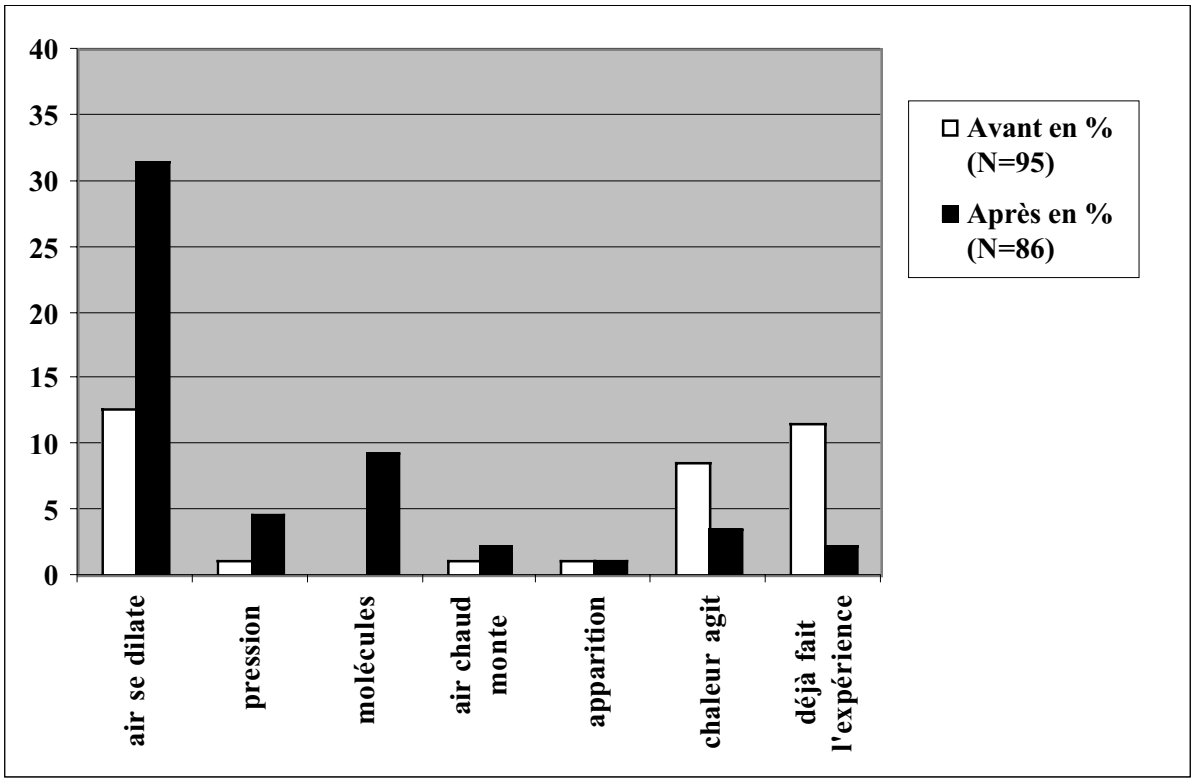


Figure 5.22 : Types d'explications données par les élèves pour justifier le fait que la balle sans trou retrouve sa forme normale des balles.

La figure 5.22 montre que cette situation, contrairement à celle du ballon de baudruche posé sur une bouteille en fer, mobilise très peu les explications utilisant "l'air chaud monte" ou

celles employant "l'apparition de gaz". On trouve, plutôt des explications utilisant "la dilatation de l'air", le fait que "la chaleur agit" ou "qu'ils ont déjà fait l'expérience". Après l'enseignement, on constate une augmentation concernant essentiellement les explications du type "l'air se dilate". On trouve aussi une légère augmentation des explications utilisant "la pression" et "l'agitation des molécules". Cependant, cette augmentation est trop faible pour être significative.

En conclusion, il apparaît qu'avant l'enseignement la majorité des explications des élèves sont de type "l'air chaud monte" ou "apparition de gaz" pour la situation du ballon de baudruche posé sur une bouteille en fer. Pour la situation des balles de ping-pong, on trouve essentiellement des explications du type "l'air se dilate", "la chaleur agit" ou "les élèves ont déjà fait l'expérience". Après l'enseignement, on constate principalement une augmentation des explications du type "l'air se dilate", on trouve une augmentation des explications utilisant "la pression" et "l'agitation des molécules", cependant elle est trop faible pour pouvoir être considérée comme significative.

3.4 Masse d'un gaz

Un des principaux aspects de la matérialité des gaz est qu'ils possèdent une masse. Cependant, les travaux didactiques sur ce sujet montrent que l'air n'a pas de masse pour la plupart des élèves français de 11-13 ans (Séré 1985) et qu'en revanche les élèves israéliens de 14-15 ans considèrent que le gaz est pesant (Stavy 1988). Partant de ce constat, nous avons fait le choix de tester deux situations, pour voir si, pour les élèves, le gaz a une masse. La première situation met en jeu un ballon de football que l'on dégonfle et la seconde un verre de boisson gazeuse dont les bulles s'échappent. Ces deux situations font intervenir une diminution de la quantité de gaz dans un système. Le premier système est délimité par les parois du ballon qui contiennent de l'air, et le second est matérialisé par le verre, qui est formé de trois phases différentes : une phase solide (le verre), une phase liquide (la boisson sans les bulles de gaz) et une phase gazeuse (les bulles de gaz contenues dans la boisson). Dans cette dernière situation, seules les bulles de gaz diminuent. Voici les énoncés des deux situations (le numéro précédant l'énoncé correspond au numéro de la question dans le questionnaire) :

"2- Lorsque l'on joue au football, il arrive que le ballon soit trop dur. Pour qu'il fasse moins mal tout en gardant la même forme, on le dégonfle un peu.

2.2-A votre avis, une fois que le ballon sera un peu plus dégonflé, il pèsera :

-plus lourd

-plus léger

-la même chose

Expliquez

7- On remplit un verre de coca-cola.

7.1- A votre avis lorsque toutes les bulles seront parties, le verre pèsera :

-plus lourd

-plus léger

- la même chose

Expliquez"

Réponse attendue du point de vue du savoir à enseigner :

- au niveau macroscopique, lorsque le ballon se dégonfle, la quantité de gaz contenue dans le ballon diminue, comme le gaz possède une masse, le ballon sera plus léger.

- au niveau microscopique, lorsque le ballon se dégonfle, le nombre de molécules qui composent l'air contenu dans le ballon diminue, comme les molécules ont une masse, le ballon sera plus léger.

Pour faire notre analyse, nous avons séparé les **réponses,** correspondant aux choix multiples entre l'air pèsera : plus lourd, plus léger ou la même chose, des **explications**. Nous présentons dans un premier graphique l'évolution des choix des élèves pour les deux situations :

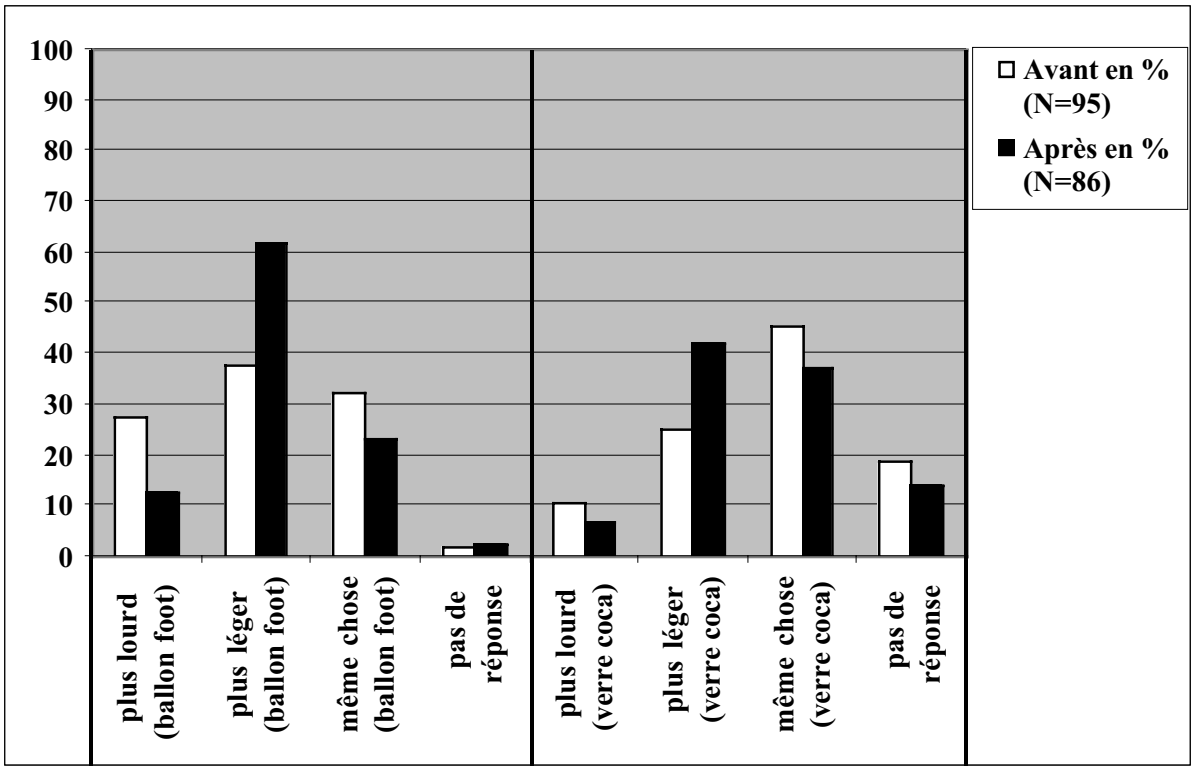


Figure 5.23 : Évolution des choix des élèves sur la masse lors d'une diminution de la quantité de gaz contenue dans un ballon de foot et dans un verre de coca.

Ce graphique montre qu'un plus grand nombre d'élèves ne répondent pas à la situation du verre de coca (environ 15 %) comparée à celles du ballon de football (environ 2 %). Cette différence peut s'expliquer par le fait que la situation du verre contenant une boisson gazeuse est la dernière du questionnaire et donc que les élèves ont moins de temps pour y répondre. À travers les réponses des élèves, il semble qu'avant l'enseignement, 27 % des élèves pensent que l'air allège les objets, que 30 % considèrent qu'il ne pèse pas et que pour 37 % il pèse. Concernant le verre de coca, on trouve que le gaz allège seulement pour 10 % des élèves, qu'il a une masse pour environ 25 % et qu'il ne pèse pas pour 45 %. Après l'enseignement, on trouve majoritairement (plus de 60 %) que l'air pèse pour le ballon de foot. Concernant le verre de coca, le gaz sera pesant pour un peu plus de 40 % des élèves et ne pèsera rien pour environ 37 % d'entre eux. Compte tenu du fait que, dans le coca, les bulles partent vers le haut, nous pensions que cette situation favoriserait l'idée que le gaz allège. Apparemment, il semblerait qu'elle favorise le fait que le gaz ne pèse pas.

À travers les explications des élèves, nous cherchons à savoir si les gaz sont pesants. Dans cette analyse, nous ne cherchons pas à établir s'ils font la distinction entre le poids et la masse, c'est pourquoi nous avons regroupé dans la même catégorie le gaz pèse, lorsqu'ils utilisent des mots comme poids, masse, peser, ... Les explications des élèves ont été regroupées selon quatre catégories :

1-**l'air ou le gaz pèse**, par exemple pour la réponse le ballon sera plus léger, les élèves justifieront par "*l'air enlevé a un poids, donc si on le retire du ballon, ce dernier sera plus léger*" ou "*le ballon sera plus léger car l'air a une masse donc si on enlève de l'air le ballon est plus léger*". Pour la réponse, le ballon pèsera la même chose, on trouvera les explications "*l'air a une masse infime, on ne verra pas la différence*", ou "*l'air pèse mais la différence ne se verra pas*".

2-**l'air ou le gaz ne pèse pas**, qui est utilisé pour justifier essentiellement le fait que le ballon pèsera la même chose, on trouve notamment "*l'air n'a pas de poids, qu'il y'en ait plus ou moins ne modifiera pas la masse du ballon, qui est due à l'enveloppe*", "*seules les parois du ballon constituent sa masse*"

3-**l'air ou le gaz allège les objets,** est utilisé pour expliquer le fait que le ballon sera plus lourd une fois dégonflé, on trouve les explications suivantes : "*un objet gonflé, va devenir plus léger. On peut l'expliquer à partir d'exemples, un ballon gonflé s'envole et dégonflé il ne s'envole pas*" ou "*l'air rend le ballon plus léger*". Nous pensons que ce type d'interprétation permet d'expliquer de nombreux exemples tirés de situations quotidiennes, notamment le fait qu'un ballon de baudruche dégonflé tombera plus vite que lorsqu'il est gonflé.

4-il y a **moins d'air ou de gaz,** cette catégorie regroupe les explications du type, le verre de coca sera plus léger, "*car le gaz est partie*", "*le gaz s'est évaporé*", ou le ballon sera plus léger car "*il y a moins d'air*", "*l'air a été enlevé*". Ce type d'explications ne nous permet pas de savoir si les élèves utilisent des arguments phénoménologiques, c'est-à-dire s'ils utilisent le fait que la seule chose qui a changé est la quantité sans pour autant attribuer un caractère pesant au gaz, ou si implicitement dans leurs réponses le gaz pèse. Comme méthodologiquement, nous ne pouvons pas trancher entre ces deux interprétations et comme le fait que le gaz pèse n'est pas signalé explicitement par les élèves dans ce type

d'explications, nous faisons le choix de ne pas considérer que les élèves attribuent un caractère pesant au gaz dans ce type de réponse. La catégorie le "gaz pèse" n'est constituée que d'explications où cette propriété apparaît explicitement.

Le graphique ci-dessous présente le pourcentage d'explications selon nos différentes catégories :

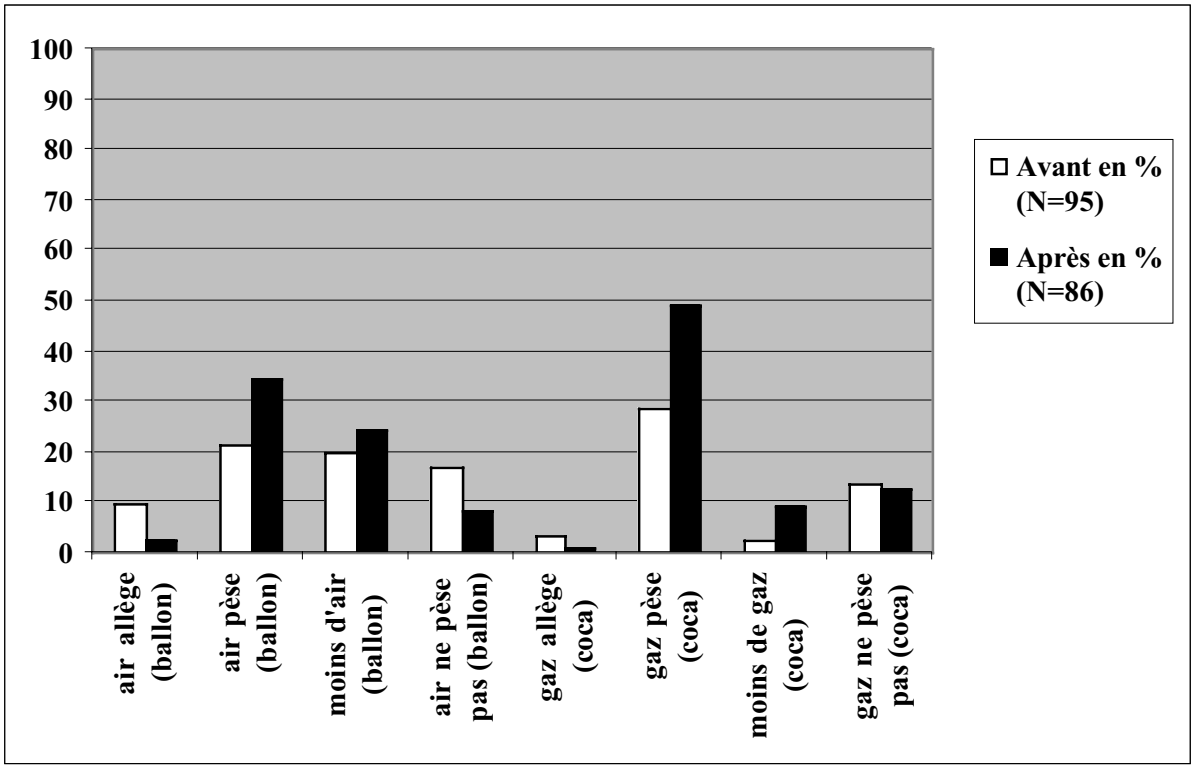


Figure 5.24 : Évolution des explications des élèves sur la masse pour le ballon de football et le verre de coca.

Ce graphique montre qu'après l'enseignement, les explications du type "l'air ne pèse pas" diminue de presque 10 % pour le ballon de foot et quasiment pas pour la situation du verre de coca. En revanche, l'air pèse est le type d'explication majoritaire après l'enseignement, ce qui représente respectivement 35 % pour le ballon de foot et presque 50 % pour le verre de coca. À l'intérieur de cette catégorie, on trouve quelques explications d'élèves (2,4 % pour le ballon de foot et 2,4 % pour le verre de coca) utilisant des points de vue contradictoires, par exemple : "**un gaz a une masse**, de l'air s'échappe du ballon donc il y a moins d'air cependant **le ballon, lui-même est plus lourd un peu dégonflé**". Ce type d'explication utilise simultanément le point de vue (que nous reconstruisons à partir du texte mis en gras) que *le gaz pèse* et que *le gaz allège*.

En conclusion, il apparaît qu'avant l'enseignement, plus de 25 % des réponses d'élèves considèrent que le ballon de foot sera plus lourd et environ 30 % qu'il pèsera la même chose. On trouve aussi que seulement 10 % des réponses d'élèves considèrent que le verre de coca sera plus lourd et 45 % que le verre de coca pèsera la même chose une fois que toutes les bulles seront parties. Cependant, lorsque l'on regarde les explications, il apparaît que l'explication le gaz pèse est celle qui est la plus utilisée par les élèves et cela même pour les réponses disant que le ballon de foot ou le verre de coca pèse la même chose. À la suite de l'enseignement, il apparaît que ce sont les explications du type *le gaz pèse* qui augmentent le plus (35 % pour le ballon de foot et presque 50 % pour le verre de coca). Les autres types d'explications (le gaz ne pèse pas ou le gaz allège) diminuent.

Conclusion

Nous avons élaboré, à partir des travaux didactiques sur les gaz, un questionnaire mettant en jeu autant que possible des situations de la vie quotidienne. Nous avons passé ce questionnaire à des élèves de trois classes de seconde appartenant à deux lycées de Lyon. En tout, 95 élèves ont été interrogés avant l'enseignement sur les gaz et 86 après. Notre analyse montre, qu'après l'enseignement, environ 70 % des élèves utilisent les molécules pour représenter les gaz. Cependant, on trouve que seulement 20 % d'élèves, les utilisent dans leurs explications. Concernant la répartition des gaz dans une enceinte, avant l'enseignement, on trouve qu'environ 30 % des élèves dessinent les gaz avec une répartition non homogène. De plus, nos résultats montrent que cette répartition semble dépendre de l'endroit où agit le gaz. À l'issue de l'enseignement, 70 % des élèves représentent le gaz réparti partout et seulement 15 % continuent à le dessiner plus à un endroit. Concernant l'action des gaz, avant l'enseignement, seulement 27 % des élèves considèrent que le gaz agit sur toutes les parois d'une pompe à vélo. Ce résultat passe à 70 % après l'enseignement. Toujours après l'enseignement, on trouve que l'action du gaz est décrite majoritairement par le fait qu'il pousse sur les parois pour les situations "ballon de foot" et "pompe avec action", alors que dans la situation "pompe sans action", la plupart des élèves décrivent l'action du gaz à partir de la pression. De plus, il apparaît qu'avant l'enseignement les élèves expliquent les phénomènes de dilatation par le fait que l'air chaud monte (32 %) ou que du gaz apparaît (28 %) dans la situation du ballon de baudruche et par l'air se dilate (12 %) pour la situation des balles de ping-pong cabossées. Après l'enseignement, on trouve que la majorité des

explications fournies utilisent le fait que l'air se dilate, mais cela ne représente pas plus de 30 % du total des explications. Concernant le caractère pesant des gaz, malgré une augmentation du nombre d'explications utilisant le fait que le gaz pèse à la suite de l'enseignement, seulement 35 % des élèves l'utilisent pour la situation du ballon de foot et 50 % pour le verre de coca.

Comme le montre les tableaux de résultats des trois classes (voir l'annexe de l'analyse globale), les réponses des élèves de la classe de 2^{nde} 8 sont proches (de 10 % à 20 % suivant les questions) de celles des deux autres classes. Dans le chapitre suivant nous proposons de suivre finement l'évolution de deux élèves de 2^{nde} 8.

Chapitre 6. Analyse des idées de deux élèves avant et après l'enseignement

Introduction

Ce chapitre se propose d'étudier l'évolution des idées de deux élèves (Anne et Ellen) de la classe de 2nde 8, avant et après la séquence d'enseignement. Ces deux élèves ont été sélectionnées, parmi les quatre groupes que nous avons filmés, pour leur forte participation durant la séquence d'enseignement et leur niveau moyen (selon l'enseignante), qui les rend représentative d'une partie des élèves de la classe. Pour mener à bien cette étude, nous reconstruisons les idées des élèves à partir de leurs productions (orales, écrites…) en faisant une analyse indépendante du questionnaire et de l'entretien. Au cours de cette reconstruction, nous évaluons la stabilité des idées à travers les situations pour chacune des données. Par la suite, nous comparons les idées issues des différentes données en prenant en compte : (a) l'intervalle de temps entre le recueil des données et (b) les conditions de passages entre le questionnaire (écrit) et l'entretien (oral). Notre analyse se déroule se déroule en trois étapes (figure 6.1).

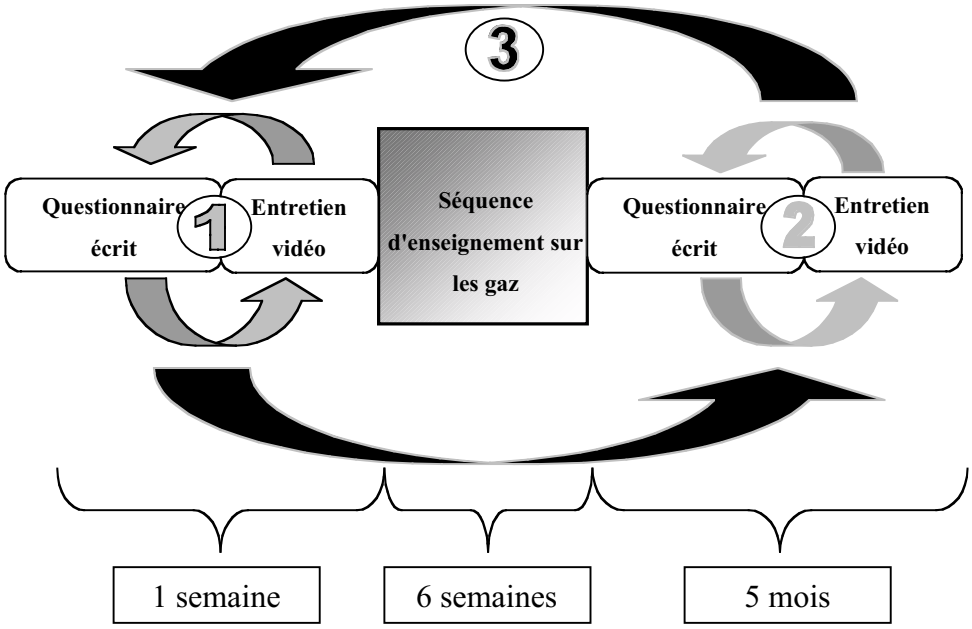


Figure 6.1 : Comparaisons des idées reconstruites à partir des différentes données.

La première étape consiste à comparer les idées reconstruites à partir des données recueillies avant l'enseignement. La seconde étape consiste à comparer les idées à partir des données recueillies après l'enseignement. Cette comparaison teste la stabilité des idées sur un temps long (5 mois), ainsi que sur des données différentes. La troisième étape consiste à comparer les idées reconstruites à partir des données avant l'enseignement avec celles issues des données après. Le but de cette dernière comparaison est d'étudier l'évolution des idées à la suite de l'enseignement.

Notons que dans la suite de ce travail, par convention, les productions d'élèves sont mises entre guillemets et sont écrites en italique sans aucune correction de l'orthographe. Les idées sont notées en italique et les situations qui composent le domaine d'application entre parenthèses.

1. Analyse d'Anne

Dans cette partie nous reprenons les trois étapes citées ci-dessus (voir figure 6.1) en reconstruisant les idées d'Anne avant l'enseignement, puis après l'enseignement, pour ensuite les comparer entre-elles.

1.1 Quelles sont les idées d'Anne avant l'enseignement sur les gaz ?

Cette partie propose de présenter la reconstruction des idées à partir du questionnaire, puis de l'entretien, pour ensuite comparer la stabilité des idées d'Anne à travers ces deux types de données.

1.1.1. Questionnaire avant

Dans le but de situer Anne par rapport au reste de sa classe, nous allons comparer au fur et à mesure de notre analyse, ses réponses avec celles des autres élèves. Cette comparaison est disponible dans l'annexe de l'analyse fine avant/après. Durant cette analyse, nous utilisons les abréviations des situations du questionnaire (voir l'annexe de l'analyse globale). Ceci nous permet de signaler qu'Anne n'a pas répondu aux questions (5.1) "quatre ballons E" et (7.1) "verre coca", qui concernent la déformation de ballons de baudruche remplis de gaz différents et la masse des bulles contenues dans un verre de coca.

Nous présentons les idées d'Anne en fonction des catégories définies à partir d'une analyse des connaissances préalables des élèves (voir chapitre 4). Nous commençons par la catégorie "sens des mots", qui s'intéresse au vocabulaire utilisés par les élèves pour décrire les gaz.

1.1.1.1. Sens des mots

Cette catégorie s'intéresse aux sens qu'Anne donne aux mots gaz et pression. Comme nous l'avons déjà signalé dans l'analyse lexicologique (chapitre 4), en physique, le mot gaz est un hyperonyme du mot air, c'est-à-dire qu'il est plus général (l'air est un gaz particulier)et il peut être utilisé à la place du mot air. Cependant, cette utilisation ne fonctionne pas dans le quotidien. En effet, les phrases : "je respire de l'air" et "je respire du gaz" ont une signification très différente dans le quotidien. Nous avons cherché à connaître, si le mot gaz était employé avec une signification proche du mot air, dans les réponses d'Anne au questionnaire. Il semble que ce soit le cas, dans la question 2.2 "ballon de foot (masse)" : "*le ballon sera moins dur car **l'air, le gaz** (une partie) sera enlevé. Le poids du ballon diminue donc il deviendra + léger*" (par convention les réponses des élèves sont mises entre guillemets et écrites en italique, sans corriger l'orthographe). Dans les questions "ping-pong 1&2", mettant en jeu deux balles de ping-pong cabossées (l'une avec un trou et l'autre sans) que l'on jette dans de l'eau très chaude,

Anne donne les réponses suivantes : la balle sans trou "*reste cabossée, car elle n'a pas de trou dc* ***l'air*** *ne rentrera pas*", alors que la balle trouée "*retrouve sa forme normale car le* ***gaz*** *va rentrer dans la balle*". Bien qu'ici ce soit moins flagrant, les mots air et gaz sont utilisés pour désigner la même chose. À partir des unités de sens mises en gras (voir cadre théorique sur la reconstruction des idées), nous reconstruisons l'idée que le mot gaz est employé avec le même sens que le mot air. Cette idée est notée *gaz = air* (ballon foot (masse), ping-pong 1 & 2), ce qui est entre parenthèses correspond à l'abréviation des situations qui constituent le domaine d'application de cette idée. Anne attribue les mêmes propriétés à l'air et au gaz, en effet : "*L'air est composé de divers molécules*", "*l'air est invisible*", "*l'air est présent dans tout notre entourage*" et "*le gaz est composé de plusieurs molécules*" et "*le gaz est présent tout le temps, il est invisible*". De plus, elle représente de la même façon les différents gaz (air, hélium, gaz de ville, hydrogène) contenus dans les ballons de baudruche. Cependant, pour elle, seuls les gaz ont la possibilité d'apparaître dans une enceinte fermée que l'on chauffe (nous détaillerons cette particularité dans la partie action du gaz).

Anne utilise le mot pression dans plusieurs de ses explications avec un sens assez différent de celui qu'on lui donne en physique. En effet, ce mot ne décrit pas une grandeur mesurable servant à décrire certains aspects de l'état d'un gaz, mais plutôt l'action de pousser. Elle écrit notamment : "*l'air va* ***exercer une pression plus forte*** *sur la paroi B*", "*car l'air est* ***poussé*** *par la paroi B mais la paroi D* ***elle reçoit cette pression***", "*si on lâche le piston, il va être* ***poussé*** *a l'extérieur car la* ***pression*** *de l'air* ***va le faire reculer***". À partir des unités de sens mis (en gras), nous reconstruisons l'idée que le mot pression est utilisé avec la signification de pousser, ce que nous notons *pression = action de pousser* (pompe sans action, pompe avec action, pompe pousse/lâche).

1.1.1.2. Aspect particulaire

Les deux premières questions du questionnaire demandent de faire quatre phrases avec le mot air puis avec le mot gaz. Dans ces questions, Anne écrit entre autres que "*l'air est composé de divers molécules*" et que "*le gaz est composé de plusieurs molécules*". De plus, elle représente l'air et les gaz, par des traits discontinus dans trois des quatre questions demandant de faire des dessins (figure 6.2).

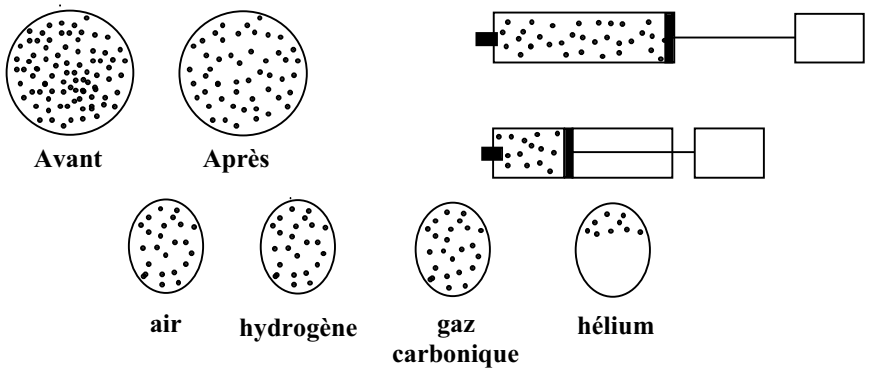


Figure 6.2 : Dessins d'Anne représentant le gaz par des traits discontinus

À partir des dessins d'Anne présentées dans la figure 6.2 et des phrases précisant que "*l'air est composé de divers molécules*" et que "*le gaz est composé de plusieurs molécules*", nous reconstruisons l'idée *le gaz est composé de molécules,* son domaine d'application correspond donc aux situations du ballon de foot, de la pompe à vélo sans action sur le piston, de la pompe à vélo lorsque l'on pousse sur le piston et des quatre ballons de baudruche remplis de gaz différents. Cette idée et son domaine d'application sont notés : *le gaz est composé de molécules* (ballon foot S, pompe sans action S, pompe avec action S, 4 ballons S) le S signifie que la question demande de répondre sur un Schèma. Dans la classe de 2nde 8, le nombre d'élèves avant l'enseignement qui représentent le gaz par des traits continus est faible : 33 % pour la situation du ballon de foot, 26 % pour la pompe à vélo et seulement 13 % pour les gaz contenus dans les quatre ballons. Bien qu'Anne fasse partie de la minorité des élèves à utiliser les molécules pour représenter les gaz, elle ne les utilise pas pour autant dans ses explications. Nous pensons qu'elle n'associe pas encore de mécanisme particulier aux molécules (comme les chocs, la vitesse...). En résumé, Anne fait partie des rares élèves de sa classe pour qui le gaz est composé de molécules, cependant elle ne les fait pas intervenir dans ses explications.

1.1.1.3. Présence des gaz

Anne utilise l'idée *le gaz est présent partout* dans un grand nombre de situations, elle écrit entre autres : "***l'air est présent dans tout*** *notre entourage*"(mot air), "***le gaz est présent tout le temps***"(mot gaz)... Cette idée avec son domaine d'application est notée *gaz est présent partout* (mot air, mot gaz, ballon foot S, chauffe ballon S, pompe S, quatre ballons S), le S signifie une question demandant de répondre sur un Schéma.

Pour Anne, le gaz a la propriété d'apparaître dans les enceintes fermées, elle écrit "*le gaz peut se former dans plusieurs endroits: (expérience, ...)*". De plus, dans la situation utilisant un ballon de baudruche posé sur une bouteille en fer que l'on chauffe, Anne explique que "*quand **on chauffe** la bouteille, il y a **formation de gaz** [...]*". À partir des unités de sens (en gras), nous reconstruisons la relation causale entre l'idée que l'on chauffe et l'idée qu'il y a formation de gaz. Ce réseau d'idées est noté : *chauffe → apparition gaz* (chauffe ballon). Le → indique une relation causale entre deux idées, ici le fait qu'on chauffe est la "cause" et l'apparition de gaz est "l'effet"**.**

1.1.1.4. Répartition des gaz

Parmi les quatre phrases écrites par Anne, à propos de l'air, on trouve que "*l'air est présent dans tout notre entourage*". De plus, comme le montrent les figures 6.2 (ci-dessus) et 6.3 (ci-dessous), les gaz se répartissent de manière homogène, sauf l'hélium qui est plus en haut.

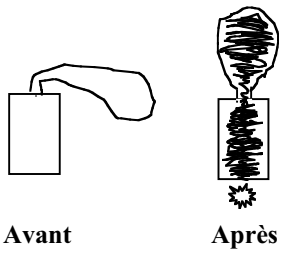


Figure 6.3 : Dessin d'Anne montrant une répartition homogène du gaz dans la situation du ballon de baudruche posé sur une bouteille en fer que l'on chauffe)

À partir des dessins des figures 6.2 et 6.3, nous reconstruisons deux idées différentes : (1) *le gaz se répartit de façon homogène* (ballon de foot S, pompe sans action S, pompe avec action S, 4 ballons S, chauffe ballon S), (2) *l'hélium se répartit en haut* (4 ballons S). Les différentes représentations du gaz montrent qu'Anne attribue un comportement particulier à l'hélium, qui se traduit par une répartition différente des autres gaz.

Parmi l'ensemble des élèves de la classe, on trouve que la majorité représente la répartition des gaz comme Anne, c'est-à-dire que :

-le gaz est réparti de manière homogène pour 50 % des dessins de l'air dans le ballon de foot, pour 46 % des dessins du ballon de baudruche et pour 70 % de ceux qui représentent l'air dans la pompe à vélo.

-l'hélium est réparti en haut pour 36 % des dessins d'élèves, ce qui représente quand même la majorité, car, pour cette question, plus de 30 % des élèves n'ont pas répondu.

En résumé, Anne fait partie de la majorité des élèves qui représentent les gaz comme étant répartis de manière homogène, sauf pour l'hélium qui se répartit en haut.

1.1.1.5. Action du gaz

Pour cet aspect du gaz, nous proposons de présenter, dans un premier temps, l'analyse des réponses d'Anne concernant la direction de l'action du gaz, puis dans un second temps la description de l'action du gaz.

Direction de l'action du gaz

Concernant la direction de l'action de l'air dans la pompe à vélo sur laquelle aucune action n'est produite, Anne explique que l'air agit plus fort sur la paroi B que sur les autres parois "*car l'air contenu dans la pompe est présent sur toutes les parois mais elle **va exercer une pression plus forte sur la paroi B** car c'est elle qui va pousser l'air à sortir*". Lorsque l'on appuie sur le piston de la pompe, elle explique que l'air agit plus fort sur la paroi D que sur les autres parois "*car l'air est poussé par la paroi B mais **la paroi D elle reçoit cette pression***". À partir des unités de sens mises en gras, nous reconstruisons l'idée *l'air agit plus dans une direction* (pompe vélo sans action, pompe vélo avec action).

Le fait qu'Anne utilise cette idée dans la situation où il n'y a pas d'action sur le piston de la pompe à vélo est assez surprenant, elle fait d'ailleurs partie des 10 % d'élèves de la classe avançant ce type d'explications. En revanche, l'utilisation de l'idée *l'air agit plus dans une direction*, est favorisée par la situation de la pompe à vélo puisque l'on appuie sur le piston. Cette idée est retrouvée dans plus de 66 % des réponses d'élèves de la classe.

Action du gaz

Concernant l'action du gaz, on trouve dans les explications d'Anne l'idée que *le gaz agit* pour les situations : du ballon de foot, du ballon de baudruche posé sur une bouteille en fer que l'on chauffe, de la pompe à vélo avec et sans action et des balles de ping-pong. Cependant, ces idées seront différentes en fonction des situations.

- Pour l'air dans la pompe à vélo, on trouve l'idée que le *gaz exerce une pression,* comme le montrent les extraits suivants :

  - "*l'air contenu dans la pompe est présente sur toutes les parois mais elle va* ***exercer une pression*** *plus forte sur la paroi B*" (pompe à vélo sans action).

  - "*car l'air est poussé par la paroi B mais la paroi D* ***elle reçoit cette pression***" (pompe à vélo lorsque l'on pousse sur le piston).

  - "*si on lâche le piston, il va être* ***poussé à l'extérieur car la pression de l'air*** *va le faire reculer*" (pompe à vélo fermée, lorsque l'on tire sur le piston et qu'on le lâche).

- Pour la situation du ballon de football qui se dégonfle, on trouve l'explication "***le ballon sera moins dur*** *car l'air,* ***le gaz (une partie) sera enlevé***". Nous interprétons cette explication par le lien causal entre deux idées (ce lien est décrit par le mot "car" dans l'explication). Dans cette explication, Anne utilise le fait que la quantité diminue (idée *gaz part = variation quantité*) pour expliquer que le ballon soit moins dur (imposé par l'énoncé). Pour Anne, le gaz joue un rôle, mais elle ne précise pas lequel, c'est pourquoi nous notons cette idée *effet du gaz*. En résumé cette relation causale entre ces deux idées est notée *gaz part = variation quantité → effet gaz* (ballon de foot). L'utilisation de la variation de la quantité pour interpréter l'action du gaz dans un ballon est correcte du point de vue de la physique. Cependant, Anne va réutiliser cette idée dans des situations où elle n'est pas valide du point de vue de la physique.

- Dans la situation du ballon de baudruche posé sur une bouteille en fer que l'on chauffe, Anne donne l'explication suivante "*quand on chauffe la bouteille,* ***il y a formation de gaz*** *ce qui va entraîner* ***le ballon a se gonfler***". On retrouve la relation de causalité entre la variation de la quantité et l'effet du gaz. Cependant, dans cette explication, la variation de la quantité provient de l'apparition de gaz dans une enceinte fermée (noté *apparition gaz = variation quantité*). Du point de vue de la physique, il faut qu'il y ait une réaction

chimique entre plusieurs gaz pour que du gaz puisse apparaître dans une enceinte fermée. Or cette question n'utilise que de l'air. Anne utilise cette idée hors du domaine de validité de la physique, bien entendu, elle ignore les limites de ce domaine. De plus, dans cette explication, il semble que le gaz joue un rôle dans le fait que le ballon se gonfle, cependant Anne ne précise pas lequel, c'est pourquoi nous notons cette idée *effet gaz*. L'ensemble de l'explication d'Anne est modélisé par le réseau d'idées *chauffe → apparition de gaz = variation quantité → effet gaz* (le = signifie que nous considérons que ces deux idées sont équivalentes).

- Concernant la situation des deux balles de ping-pong cabossées (dont l'une a un trou et pas l'autre) jetées dans de l'eau très chaude, Anne écrit que la balle sans trou retrouve sa forme normale "*car la formation de gaz va rentrer dans la balle puis va pousser la paroi pour qu'elle redevienne normale*". On retrouve le réseau d'idées utilisé pour la situation du ballon de baudruche, mais avec une description de l'action du gaz qui "va pousser sur la paroi" (*chauffe→apparition de gaz = variation quantité → action du gaz*). Cette explication a été barrée et à la place, elle a écrit, la balle reste cabossée "*car elle n'a pas de trou dc l'air ne rentrera pas*". On retrouve le fait que la quantité doit varier pour que le gaz ait un effet. C'est pourquoi, nous attribuons à cette explication l'idée *gaz rentre = variation quantité → effet gaz.* Cette hésitation entre les deux réponses, nous montre qu'entre l'explication utilisant l'apparition d'un gaz dans la balle sans trou (*chauffe→apparition de gaz = variation quantité → action du gaz)* et celle où le gaz rentre dans la balle trouée (*gaz rentre = variation quantité → effet du gaz*), Anne choisit la plus pertinente par rapport à la situation en faisant rentrer du gaz pour faire varier la quantité, c'est-à-dire celle utilisant la relation la plus simple entre les idées (*gaz rentre = variation quantité → effet du gaz)*. De plus, on retrouve cette idée dans la question suivante, à travers l'explication concernant la balle trouée, qui reprend sa forme normale "*car le gaz va rentrer dans la balle*" (idée est notée *gaz rentre= variation quantité → effet du gaz)*.

En conclusion, Anne utilise la variation de la quantité pour interpréter la situation du ballon de football qui se dégonfle. Cette explication est utilisée par 40 % des élèves de sa classe. Pour expliquer pourquoi un ballon de baudruche posé sur une bouteille en fer se gonfle, Anne utilise l'idée que du gaz apparaît dans ce récipient fermé, ce qui correspond à

43 % des réponses des élèves de sa classe. En revanche, très peu d'élèves utilisent, comme Anne, le fait que de l'air rentre dans la balle de ping-pong trouée (16 %).

1.1.1.6. Lourdeur

Concernant la masse de l'air, Anne répond que le ballon de foot un peu dégonflé sera plus léger, car "*le ballon contiendra **moins d'air** donc il y aura diminution du volume soit **diminution du poids***". À partir des unités de sens mises en gras, on peut déduire que le gaz pèse. Nous notons cette idée ~ *l'air pèse,* le ~ signifie que cette idée a été déduite des explications et non pas reconstruite directement à partir des productions d'Anne. De plus, son domaine d'application ne concerne que la situation du ballon de foot, car Anne n'a pas répondu à la question concernant le verre de coca. Nous notons cette idée : *~l'air pèse* (ballon de foot (masse)). Anne donne le même type d'explication que 50 % des élèves de sa classe. En résumé, Anne fait partie de la majorité des élèves qui explique que l'air pèse dans la situation du ballon de foot.

1.1.1.7. Résumé

Le tableau 6.1 présente l'ensemble des idées d'Anne et donne pour chacune d'entre elles son domaine d'application. On notera que la mise en relation de plusieurs idées est essentiellement utilisée pour rendre compte de l'action du gaz.

Catégorie	Idée d'Anne avant l'enseignement
Sens des mots	- *air = gaz* (ballon de foot, balle de ping-pong, quatre ballons) - *pression = action de pousser* (pompe sans action, pompe avec action, pompe pousse/lâche)
Aspect particulaire	- *gaz est composé de molécules* (mot air, mot gaz, ballon foot S, pompe S, quatre ballons)
Présence	- *gaz est présent partout* (mot air, mot gaz, ballon foot S, chauffe ballon S, pompe sans action S+E, pompe avec action S, quatre ballons S) - *on chauffe →apparition de gaz* (chauffe ballon)
Répartition	- *gaz se répartit partout* (ballon foot S, chauffe ballon S, pompe sans action S+E, pompe avec action S, quatre ballons S) - *l'hélium est répartit plus en haut* (quatre ballons S)
Action	- *gaz agit dans une direction* (pompe sans action, pompe avec action) - *gaz exerce une pression* (pompe sans action, pompe avec action, pompe pousse/lâche) - *gaz part = variation quantité → effet gaz* (ballon de foot) -*gaz rentre =variation quantité → effet gaz* (ping-pong 1 & 2) - *chauffe→apparition de gaz = variation quantité→ effet gaz* (chauffe ballon)
Lourdeur	- *gaz pèse* (ballon foot (masse) + E)

Tableau 6.1 : Idées d'Anne regroupées selon différents aspects du gaz (le → signifie un lien de causalité simple, le = signifie que nous considérons que deux mots ont la même signification ou que deux idées sont équivalentes. Le domaine d'application d'une idée est signalé par l'abréviation des situations entre parenthèses, si l'abréviation est suivie d'un S cela signifie que la question demande de faire un Schéma et si c'est un E cela signifie que la question demande une Explication écrite en langue naturelle. La plupart des questions étant écrites en langue naturelle, le E n'est signalé que lorsque la même idée est utilisée dans un schéma et dans une explication (noté S+E)).

1.1.2. Entretien avant

Cette partie propose de présenter les idées reconstruites à partir des productions (verbales et non-verbales) d'Anne au cours de l'entretien que nous avons filmé. L'ensemble des questions de l'entretien, ainsi que les abréviations des différentes situations sont disponibles dans l'annexe de l'analyse fine avant/après. Les situations de l'entretien mettent en jeu des objets du quotidien, dans la plupart des questions les élèves doivent prédire, ensuite manipuler les objets, pour enfin donner une explication de ce qui s'est passé. La transcription de l'entretien d'Anne passé avant l'enseignement est disponible dans l'annexe de l'analyse fine avant/après. Cette transcription inclut, les unités de sens sur lesquelles nous nous sommes basés pour reconstruire les idées d'Anne.

1.1.2.1. Sens des mots

Durant tout l'entretien, Anne n'utilise jamais explicitement le mot gaz avec le même sens que le mot air. En revanche, elle utilise le mot pression avec le sens de l'action de pousser dans plusieurs situations. Elle dit notamment : "*ils (le gaz et l'air) font rentrer dans le sac plastique et puis ils vont ils vont* ***mettre une pression*** *et puis ça va lui donner une forme*", ou encore la pression "*c'est la force j'pense/ la pression ouais* ***la force que ça donne***". Dans ces explications, la pression n'est pas utilisée comme une grandeur mesurable, mais pour décrire l'action du gaz, qui correspond au fait de pousser. Cette idée avec son domaine d'application est notée *pression = action de pousser* (verre+sucre, seringue pousse/lâche, seringue tire/lâche, montgolfière).

1.1.2.2. Aspect particulaire

Durant la quasi-totalité de l'entretien (11 situations sur 13), Anne n'utilise pas les molécules dans ses explications. Nous présentons les deux situations dans lesquelles Anne utilise les molécules. La première situation demande de définir le mot air, Anne précise que "***l'air est composé de molécules****, de microbes*". Cette explication correspond à l'idée l'*air est composé de molécules* (mot air). On retrouve cette idée dans la situation "trois ballons (molécules)", qui demande explicitement d'utiliser les molécules pour donner une interprétation des gaz contenus dans des ballons de baudruche.

En résumé, Anne utilise très peu les molécules dans ses explications et les rares fois où elle les utilise, elle ne donne aucune description de leur fonctionnement (chocs, vitesses...).

1.1.2.3. Présence du gaz

Concernant la présence de l'air, Anne définit le mot air, en disant qu'il "*est de partout*". Nous reconstruisons à partir de cette explication l'idée *l'air est présent partout.* Cette idée est utilisée dans trois situations demandant d'attraper de l'air (tableau 6.2).

Temps	Question et transcription	Idées
12m49s	**Question 6.0**- Peux-tu attraper de l'air ? explique comment ?	
	[...] A : (3s) ben/ oui D : ben comment A : **y'en a de partout** D : ouais D : ben en f'sant comme ça (*A ferme la main*)/ on a de l'air dedans	*l'air est présent partout*
13m10s	**Question 6.1.**- Peux-tu attraper de l'air avec une bouteille ? explique comment ?	
	A : là dedans D :ouais A : en faisant comme ça (*A bouche la bouteille*) D : d'accord et alors comment tu peux être sûr qu'il y a de l'air dedans ? A : ben parc'que forcément il y a de **l'air** qui rentre (*A pointe avec son doigt vers l'intérieur de la bouteille*)/ **y'en a tout le temps dedans**/ donc dès que j'bouche y'en aura encore (*A bouche la bouteille*)	*l'air est présent partout*
13m29s	**Question 6.2**- Peux-tu attraper de l'air avec un sac plastique ? explique comment ?	
	A : si on fait comme ça et qu'après on ferme (*A ferme le sac*)/ là **y'aura de l'air** D : comment es-tu sûr qu'il y a de l'air dedans ? A : ben on le voit (*appuie sur le sac avec sa main*)/ comme ça/ qu'ça soit plus gonflé (1s) et dès qu'on lâche ça revient normale/ donc euh l'air elle est toute partie	*l'air est présent partout*

Tableau 6.2 : Extrait de l'entretien illustrant l'idée l'air est présent partout (mis en gras)

Cet extrait montre que, pour Anne, l'air est présent partout et que pour l'attraper, il suffit de fermer l'enceinte qui le contient. Cette idée avec son domaine d'application est notée *air est présent partout* (mot air, attraper, attraper avec bouteille, attraper avec sac plastique).

Anne interprète les situations où la température diminue dans une enceinte fermée, en faisant disparaître du gaz et elle met en relation le fait de refroidir (cause) avec la disparition du gaz (effet). Cette relation causale est notée *refroidit → disparition de gaz.* L'extrait suivant illustre l'utilisation de cette relation dans deux situations (tableau 6.3).

Temps	Question et transcription	Idées
9:30	**4.1.2**- On refroidit un récipient en fer, fermé avec du film plastique, explique ce qu'il s'est passé ?	
	"ça fait/ p't'être l'effet **de l'eau**/ ça a enlevé (1s) **un/ un maximum de gaz** (1s) parc'que d'dans y'a d'jà toujours y' touj- j'pense qu'il y a tout le temps de l'air"	*refroidit → disparition gaz*
22m38s	**11.0**- Pour faire de la confiture d'abricots, on fait chauffer du sucre avec des abricots. On place ensuite la confiture encore chaude dans des bocaux que l'on ferme avec un couvercle. Lorsque la confiture a complètement refroidi, il est très difficile d'ouvrir le pot, explique ?	
	A : ben c'est/ j'suis toujours avec mon air (rire) D : ouais/ ouais A : j'pense que ouais / quand on le met et quand on bouche à force de le laisser et **qu'ça refroidisse et tout / l'air elle part**/ aussi c'est chaud à l'intérieur/ ça part avec la chaleur**/ par évaporation en fait** D : alors après l'air est parti c'est ça (?) A : voilà donc c'est plus dur à ouvrir	*refroidit → disparition l'air* *disparition de l'air = évaporation*

Tableau 6.2 : Extrait de l'entretien illustrant l'utilisation de la relation causale *refroidit → disparition de gaz* (refroidit récipient fer, confiture).

Ces deux explications illustrent l'idée qu'il y a une disparition de gaz, cependant on trouve en plus dans la deuxième explication une description du fonctionnement de cette disparition. En effet, le gaz disparaît par "*évaporation*". Dans la première situation Anne parle du gaz alors que dans la seconde de l'air et il semble qu'elle leur attribue la même propriété (de disparaître) quand on les refroidit. Cette idée est notée *refroidit → disparition de gaz* (refroidit récipient fer, confiture).

Anne utilise aussi l'idée que le gaz traverse les parois dans plusieurs situations. Le tableau 6.4 regroupe plusieurs extraits, qui montre l'évolution de cette idée.

Temps	Question et transcription	Idées
16:09	**8.0.1**- A ton avis, où l'air agit dans la seringue ?	
	[...] A : ouais partout oui/ **mais en faite j'dis là (*A montre le piston*) surtout pasque l'air elle passe bien aussi** D : ouais/ mais après l'air elle passe pas là (*A montre le bout noir du piston*) A : ouais/ a ben oui elle passe plus (*A observe la seringue*)/ ben oui	air traverse les parois
17:10	**8.1**- Une fois que tu as appuyé sur le piston, si tu le lâches il revient, explique ?	
	[...] A : pasqu'il y a/ **là je mets encore plus d'air** (*A pousse sur le piston de la seringue bouchée*) et la pression de l'air elle fait que ça recule encore plus [...] A : ben elle aurait rentré là-dedans et quand j'aurai bouché et **ben comme là j'mets encore plus d'air** (*A pousse sur le piston de la seringue bouchée*)/ y'a de l'air qui (*A fait un geste de rentrer*)/ non l'air elle va encore plus **se compresser donc comme j'vais lâcher elle va comment s'décompresser/** s'relacher/ donc ça va reculer	A *air traverse la paroi* A *air traverse la paroi* A *air se compresse*
18:24	**8.2**- Si on tire le piston et qu'ensuite on le lâche, il revient, explique ?	
	[...] A : ouais/ c'est la même/ ben alors là elle est présente partout/ euh ouais c'est le même système/ là ça se bouche et **il y a l'air là en plus qui rentre (*A montre au niveau du bout noir du piston*) donc ça le fait avancer** D : dans l'air qui rentre/ j'ai du mal à comprendre A : ah mais non/ mais il est bouché c'est vrai [...] A : ouais mais non non je sais mais je sais pas (3s) ou alors y a la **pression de l'air** et le fait que ça revienne/ pasque y a **de l'air qui rentre jusqu'ici** (*A montre le bout noir du piston*)/ donc l'air qui **rentre** jusqu'ici/ ça va faire là aussi une pression / **elle sera peut-être plus forte ici (*A montre l'extérieur du piston*) que là (*A montre l'intérieur du piston*)**	A *air traverse la paroi*

Tableau 6.4 : Utilisation de l'idée *air traverse la paroi* dans trois questions (le fait de souligner indique que qu'Anne fait l'action mise entre parenthèses en même temps qu'elle parle).

Au cours de la question 8.0.1. Anne considère que l'air passe au niveau du piston de la seringue (idée *air traverse la paroi*). À la suite de la remarque de l'intervieweur D, elle semble réaliser que l'air ne peut pas passer. Dans la question suivante, Anne va

réutiliser cette idée à deux reprises en disant qu'elle ajoute de l'air lorsqu'elle pousse le piston d'une seringue bouchée. Elle va ensuite se corriger en utilisant l'idée que l'air se compresse. Malgré ce changement, Anne va réutiliser encore une fois l'idée *l'air traverse la paroi* dans la question 8.2. À la suite de la remarque de l'intervieweur D, elle semble réaliser que la seringue est fermée. Elle va hésiter un long moment, avant de proposer une autre idée comparant l'air à l'intérieur de la seringue avec l'air à l'extérieur. Ces extraits montrent que malgré les remarques de l'intervieweur D, Anne semble avoir des difficultés à interpréter ces situations avec des idées différentes de l'air qui passe à travers la paroi.

La présence de l'air dans une enceinte peut être caractérisée par la grandeur physique quantité de matière. Nous avons demandé à Anne ce que signifie la quantité, sa réponse est présentée dans le tableau 6.5.

Temps	Question et transcription	Idées
25:21	**12.2.0**- Dans ce ballon il y a une certaine quantité d'air, que signifie pour toi le mot quantité ?	
	A : une certaine quantité d'air/ ben ça dépend/ quantité d'air/ ben ça va dépendre de l'objet/ là par exemple dans le ballon/ ça sera le la quantité ça sera exactement c'qui/ comment dire/ la le/ la quantité/ j'sais plus comment dire (rire)/ **tout ce qu'il y a dans le ballon en fait ça sera la quantité elle va représenter comme la forme du ballon en fait/ la forme et y'a le volume** D : d'accord donc c'est l'volume c'est ça ? A : ouais/ le volume ça représente(pas sûr) la quantité D : donc si jamais le **ballon est plus gros/ enfin a un volume plus important** A : ben ça **sera encore plus de quantité**	$Q = V$ $V+ \rightarrow +Q$

Tableau 6.5 : Extrait de l'entretien d'Anne concernant la quantité (D : intervieweur et A : Anne et le signe $+\rightarrow+$ signifie relation de causalité de type plus-plus)

À travers cette explication, il semble que la quantité soit liée à la taille du ballon. Plus le ballon sera gros et plus il y aura une quantité importante. Nous modélisons ce lien entre la quantité et le volume du ballon par la relation de causalité de type "plus-plus" : $V+ \rightarrow +Q$(quantité).

1.1.2.4. Répartition des gaz

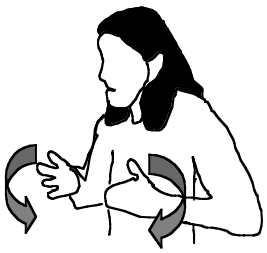
Anne utilise l'idée le *gaz se répartit partout* pour expliquer plusieurs situations très variées. Elle l'utilise notamment dans trois situations faisant intervenir l'air : la première

demande d'attraper de l'air avec une bouteille puis avec un sac plastique, la seconde demande d'expliquer pourquoi si on tire puis on lâche le piston d'une seringue, il revient et la troisième demande de décrire comment se répartit l'air dans une pièce que l'on chauffe. De plus, on retrouve cette idée à des niveaux différents (macroscopiques et microscopiques) dans deux situations concernant la répartition de plusieurs gaz (air, hélium et gaz de ville) contenus (1) dans trois bouteilles et (2) dans trois ballons de baudruche. Le tableau 6.6 donne l'explication d'Anne pour la situation des trois ballons.

Temps	Question et transcription	Idées
26m28s	**Question 12.3**- En cours on t'a parlé de molécules, est-ce que tu pourrais interpréter grâce aux molécules ce qui se passe avec les trois ballons (hélium, air, gaz de ville) ?	
27m11s	[...] D : en fait l'idée c'est de savoir/ comment elles agissent dans le ballon/ c'est-à-dire si elles ont un effet sur le fait que ça tombe/ si je sais pas moi A : ouais j'pense ouais/ dans l'air/ ben dans **l'air y'a des molécules de partout** (*geste des deux mains*)/ **dans le gaz** j'pense que **c'est pareil** (*geste des deux mains*) et dans l'hélium y'aura p't'être (*monte la main vers le haut*)/ p't'être plus (rire)/ ça le fait monter (*geste de la main vers le haut*)/ [...]	*air se répartit partout* *gaz de ville se répartit partout*

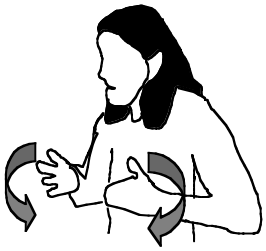
Tableau 6.6 : Transcription de l'explication d'Anne à propos de la répartition des gaz (D : l'intervieweur et A : Anne)

À travers l'explication d'Anne, il apparaît que les molécules d'air et de gaz de ville se répartissent partout dans les ballons. En revanche, il est nécessaire de tenir compte des gestes que fait Anne durant son explication afin de pouvoir interpréter la répartition des molécules d'hélium (figure 6.4, 6.5, 6.6).



dans **l'air y'a des molécules de partout (**geste des deux mains**)**/

Figure 6.4 : Productions verbales et gestuelles à propos de l'air



dans **le gaz** j'pense que **c'est pareil** (geste des deux mains)

Figure 6.5 : Productions verbales et gestuelles à propos du gaz de ville



dans **l'hélium** y'aura p't'être (geste d'une main) **p't'être plus**

Figure 6.6 : Productions verbales et gestuelles à propos de l'hélium.

Anne fait le même geste pour décrire la répartition des molécules d'air et de gaz de ville, et comme le confirme ce qu'elle dit, ce geste signifie que les molécules se répartissent partout. En revanche, pour l'hélium, elle lève la main vers le haut en disant qu'il y en aura peut-être plus. Nous interprétons ceci comme voulant dire qu'il y a plus de molécules d'hélium

réparties en haut, ce que nous modélisons par l'idée *les molécules se répartissent plus à un endroit.*

Dans la situation des trois bouteilles remplies de gaz, Anne utilise pour l'hélium, l'idée *le gaz se répartit partout* alors que pour la situation des trois ballons, elle utilise, toujours à propos de l'hélium, l'idée *les molécules se répartissent plus à un endroit.* La seule différence entre ces deux situations est que la bouteille ne bouge pas alors que le ballon remplit d'hélium monte. Avant de demander la répartition des gaz dans les trois ballons nous avions demandé à Anne de prédire ce qui allait arriver aux trois ballons. Pour l'hélium, elle prédit que le ballon va tomber si on le lâche. À la suite de cette prédiction erronée, nous lui avons expliqué que l'hélium était le gaz que l'on mettait dans les ballons à la foire et qu'ils montent lorsqu'on les lâche. La situation des trois bouteilles (question 3) étant proposée bien avant celle des trois ballons (question 12), il est fort probable, qu'Anne considère l'hélium comme étant un gaz quelconque ; ce qui pourrait expliquer pourquoi il se répartit partout dans la bouteille.

On trouve l'idée que *le gaz se répartit plus à un endroit* pour la situation du film plastique posé sur un récipient en fer que l'on chauffe. En effet, Anne explique que l'air "*est de partout mais p't'être plus/ j'dirai* ***plus en haut***". Il est intéressant de remarquer qu'Anne utilise cette répartition dans ces deux situations (ballon d'hélium et film plastique posé sur un récipient en fer) uniquement lorsqu'on lui demande où agit le gaz. Bien qu'elle ne le dise pas explicitement dans ses explications, il semble qu'elle utilise cette répartition pour rendre compte de l'action du gaz.

En résumé, voici les idées d'Anne sur la répartition des gaz ainsi que leur domaine d'application (entre parenthèses) : *le gaz se répartit partout* (trois bouteilles (répartition), trois ballons (répartition et molécules), attraper, attraper avec bouteille, attraper avec sac plastique, seringue tire/lâche, chauffage) et *le gaz se répartit plus à un endroit* (trois ballons (molécules), chauffe récipient fer (R agit)). La première idée possède un domaine d'application composé de nombreuses situations, ce qui témoigne de la grande stabilité de cette idée à travers les situations. Nous rappelons que plus une idée est utilisée dans des situations ayant des traits de surfaces différents, plus elle sera stable au niveau des situations (voir la partie sur la stabilité des idées du cadre théorique).

1.1.2.5. Action des gaz

Lorsque l'on appuie sur le piston d'une seringue contenant de l'air, Anne explique que l'air agit partout mais surtout sur le piston, ce que nous modélisons par l'idée le *gaz agit plus à un endroit* (seringue pousse (R agit)). En revanche, lorsqu'on lui demande où le gaz agit à l'intérieur de trois ballons de baudruche remplis de gaz différents, Anne explique que l'hélium, l'air et le gaz de ville agissent partout (noté *le gaz agit partout* (trois ballons (R agit)). Ces deux idées ne sont utilisées à chaque fois que pour une seule situation et l'endroit de l'action du gaz va dépendre du fait que l'on exerce une action ou non dessus (compression ou pas d'action).

Anne utilise la variation de la quantité de gaz pour expliquer un grand nombre de situations. Il semble qu'Anne interprète ces situations en faisant jouer le rôle d'agent causal à la variation de la quantité de gaz (noté *variation quantité→*). De plus, l'utilisation de cette idée prendra des formes différentes suivant le type d'enceinte (ouverte (1) ou fermée (2)) mis en jeu dans les situations.

1-Pour les enceintes ouvertes susceptibles d'échanger de la matière avec l'extérieur, elle utilise le fait que le gaz rentre ou sorte, faisant ainsi varier la quantité de gaz à l'intérieur de l'enceinte. Elle explique notamment, qu'un sac plastique rempli d'air se dégonfle (effet), car l'air est parti (cause). Nous modélisons cette explication par la relation causale *air sort = variation de quantité → effet air* (attraper avec sac plastique). Nous parlons d'effet de l'air, car dans cette explication, Anne ne donne aucune information sur la manière dont va agir l'air dans le sac plastique. On retrouve cette idée dans la situation du flambie (pot contenant un flan emballé sous vide), Anne explique que le flan ne tombera que si on enlève la languette du pot qui le contient, car il y a "*de l'air qui est rentré (A montre le petit trou du flambie)/ donc ça va le faire/ ça va le faire descendre*" (noté *air rentre = quantité→effet gaz* (flambie languette)). Cette idée est encore utilisée, mais cette fois en détaillant l'action de l'air. Dans la situation du sac plastique dont on chauffe l'intérieur à l'aide d'un réchaud, Anne explique qu'il se gonfle parce que l'air et le gaz "*vont **rentrer** dans le sac plastique et puis ils vont ils vont **mettre une pression** (geste de pousser vers le haut)*". Dans cette explication, la quantité varie, et il y a une description de l'action du gaz (l'air et le gaz vont mettre une pression). Nous modélisons cette explication par *gaz rentre = variation quantité → action gaz* (montgolfière).

2-Pour les enceintes fermées ne pouvant pas échanger de la matière avec l'extérieur, Anne fait appel à de nouvelles idées pour faire varier la quantité de gaz. Elle utilise le fait (a) qu'il y a du gaz qui disparaît lorsque l'on refroidit un récipient fermé et (b) que le gaz traverse les parois, dans le cas d'une seringue fermée.

a- Pour expliquer que la quantité varie dans une enceinte fermée, Anne utilise le fait que refroidir le gaz entraîne sa disparition (noté *refroidit→disparition gaz*). Cette explication est utilisée pour la situation du film plastique posé sur un récipient en fer que l'on refroidit ainsi que dans celle d'un pot rempli de confiture chaude qu'on laisse refroidir. Pour la confiture, elle dit qu'à force "*qu'ça* ***refroidisse*** *et tout /* ***l'air*** *elle* ***part****/ aussi c'est chaud à l'intérieur/ ça part avec la chaleur/ par évaporation en faite [...]* ***donc c'est encore plus dur à ouvrir***". Pour le récipient en fer que nous avons refroidi avec de l'eau, elle explique que le film plastique se dégonfle car "*l'effet de l'eau/* ***ça a enlevé*** *(1s) un/ un maximum* ***de gaz*** *(1s) parc'que d'dans y'a d'jà toujours y' touj- j'pense qu'il y a tout le temps de l'air*". Dans ces deux situations, on trouve que la diminution de la quantité de gaz est la cause des phénomènes observés (plus dur d'ouvrir le pot et le film plastique se dégonfle). Pour nous, les explications d'Anne mettent en lien deux relations causales, la première est : lorsqu'on refroidit (cause) il y a une disparition du gaz (effet) et la seconde est : lorsqu'une partie du gaz disparaît (cause), c'est-à-dire quand sa quantité diminue, il devient plus difficile d'ouvrir le pot ou le film plastique se dégonfle (effet). Ce que nous notons *refroidit → disparition gaz = variation quantité → effet gaz* (refroidit récipient en fer, confiture).

b- Lorsque l'on appuie sur le piston d'une seringue fermée, Anne explique que de l'air rentre dans la seringue en passant au niveau du piston (noté *air traverse les parois* (seringue pousse(R agit)). Nous lui avons fait remarquer que la seringue était fermée au niveau du piston et que l'air ne pouvait pas rentrer, ce qu'elle semble accepter malgré sa surprise (elle dit : "*ouais/ ah ben oui elle passe plus (elle observe la seringue)/ ben oui*"). Malgré notre remarque, Anne continue d'utiliser cette idée dans les questions suivantes (voir tableau 6.5 et 6.6).

Temps	Question et transcription	Idées
17:10	**8.1**- Une fois que tu as appuyé sur le piston, si tu le lâches il revient, explique?	
	[...] A : parc'qu'il y a/ **<u>là je mets encore plus d'air</u> (A pousse sur le piston de la seringue bouchée) et la pression de l'air elle fait que ça recule encore plus** [...] D : là dans ce cas concret la force de l'air ça serait quoi/ qu'est-ce qu'elle fait A : ben elle aurait rentré là-dedans et quand j'aurai bouché et **<u>ben comme là j'mets encore plus d'air</u>** (A pousse sur le piston de la seringue bouchée)/ y'a de l'air qui (geste de rentrer)/ non l'air elle va encore plus **se compresser donc comme j'vais lâcher elle va comment s'décompresser/** s'relacher/ donc ça va reculer D : d'accord	*air traverse la paroi=variation quantité +→+ action air* *air traverse paroi=variation quantité +→+ action air* *état de l'air→effet air*

Tableau 6.7 : Extrait de l'entretien d'Anne à propos la variation de la quantité d'air (D : l'intervieweur, A : Anne, le +→+ signifie relation de causalité de type "plus-plus")

Nous interprétons la première phrase inscrite en gras par une relation de causalité de type "plus-plus" entre la variation de quantité et l'action du gaz, notée *air traverse les parois =variation quantité +→+ action gaz*. Dans la suite de cette explication, elle réutilise l'idée que le gaz traverse la paroi (deuxième phrase mise en gras), puis se corrige en utilisant finalement le fait que l'air se compresse et se décompresse (3ème phrase mise en gras). Dans la question suivante (tableau 6.8), Anne réutilise cette idée, puis à la suite de la remarque de D, elle en utilise une autre qui compare l'action de l'air des deux côtés du piston.

Temps	Question et transcription	Idées
18:24	**8.2**- Si on tire le piston et qu'ensuite on le lâche, il revient, explique ?	
	A : ouais/ c'est la même/ ben alors là elle est présente partout/ euh ouais c'est le même système/ là ça se bouche et **il y a l'air là en plus qui rentre (montre au niveau du bout noir du piston) donc ça le fait avancer** D : dans l'air qui rentre/ j'ai du mal à comprendre A : ah mais non/ mais il est bouché c'est vrai [...] A : ouais mais non non je sais mais je sais pas (3s) ou alors y a la **pression de l'air** et le fait que ça revienne/ parc'que y a **de l'air qui rentre jusqu'ici** (montre le bout noir du piston)/ donc l'air qui **rentre** jusqu'ici/ ça va faire là aussi une pression/ **elle sera peut-être plus forte ici (extérieur du piston) que là (l'intérieur du piston)**	*air traverse paroi= variation quantité +→+ effet du gaz* *action air int > action air ext*

Tableau 6.8 : Extrait du changement d'idée d'Anne

Cet extrait montre qu'Anne explique la situation par le fait que de l'air rentre dans la seringue et que cette variation de quantité (cause), va entraîner la mise en mouvement du piston (effet), idée notée *air traverse paroi = variation quantité → effet du gaz*. Après notre remarque, elle va abandonner cette idée pour finalement utiliser le fait que l'action de l'air à l'intérieur du piston est moins forte que celle à l'extérieur (noté *action gaz int<action gaz ext* (seringue tire/lâche)). Dans cette dernière explication Anne utilise le mot pression avec le sens quotidien de pousser (air va faire une pression), c'est pourquoi nous reconstruisons l'idée *action air* et non pas *pression air.*

Dans la situation du sucre collé dans un verre que l'on met à l'envers dans l'eau, Anne explique que le sucre n'est pas mouillé, car la pression de l'air est plus importante que la pression de l'eau. L'explication d'Anne ne permet pas de déterminer le sens du mot pression (physique ou quotidien). Compte tenu de la définition qu'elle donne par la suite, où la pression "c'est la force que ça donne", nous considérons qu'elle utilise ce mot avec la signification quotidienne de pousser. C'est pourquoi, nous notons cette idée *action air>action eau* (verre + sucre). Les idées *action air>action eau* et *action gaz int<action gaz ext*, montrent qu'Anne compare deux systèmes différents, ce qui semble être un raisonnement assez difficile à faire. En effet, plusieurs travaux (Séré 1985, Méheut 1990, de Berg 1992) signalent que la plupart des élèves ne raisonnent qu'à partir d'un seul système.

1.1.2.6. Lourdeur

Nous rappelons que le caractère pesant des gaz est testé essentiellement à travers deux situations. La première ne nous permet pas de reconstruire d'idée, car la réponse est d'Anne est trop ambiguë. En effet, dans la situation des trois bouteilles remplies de gaz différents, Anne répond que ces bouteilles pèsent la même chose et ne donne pas d'explication supplémentaire. À partir de cette réponse, on ne sait pas si Anne pense que les gaz pèsent la même chose ou si les gaz n'ont pas de masse. En revanche, dans la situation du verre de boisson gazeuse, elle explique, que si les bulles partent, le verre sera moins lourd. De plus, à la suite de une explication pas très claire avec de nombreuses hésitations, elle conclut que les bulles pèsent "pas grand chose, mais un petit peu". Ceci nous permet de reconstruire l'idée *~le gaz pèse* (verre de coca). Le ~ signifie que cette idée n'a pas été construite à partir d'un énoncé clair et qu'il comporte des hésitations.

1.1.3. Comparaison du questionnaire et de l'entretien

Maintenant, que nous avons reconstruit de manière indépendante les idées d'Anne à partir du questionnaire et de l'entretien passé avant l'enseignement, nous proposons de regarder leurs stabilités. Nous rappelons que nous avons défini deux types de stabilité : (a) la stabilité temporelle, qui correspond au fait de retrouver la même idée à des temps différents pour des situations équivalentes et (b) la stabilité "situationnelle", qui correspond au fait de retrouver la même idée dans des situations différentes (plus les situations ont des traits de surfaces différents au niveau des objets et des événements, plus la stabilité situationnelle sera importante). Compte tenu du fait qu'une semaine seulement s'est écoulée entre le recueil du questionnaire et celui de l'entretien, nous faisons le choix de nous centrer sur la stabilité "situationnelle", en distinguant deux cas :

1. la stabilité à travers les situations du même type de données : la même idée est retrouvée dans plusieurs situations du questionnaire **ou** bien de l'entretien.

2. la stabilité à travers le questionnaire et l'entretien : la même idée est retrouvée dans les mêmes situations du questionnaire **et** de l'entretien.

1.1.3.1. Sens des mots

Nous commençons par les idées sur le sens des mots reconstruites à partir du questionnaire et de l'entretien passé avant la séquence d'enseignement sur les gaz. Elles sont résumées dans le tableau 6.9.

	Idées d'Anne (questionnaire)	Idées Anne (entretien)
Sens des mots	- *air = gaz* (ballon foot, ping-pong 1 & 2, quatre ballons) - *pression = action* de pousser (pompe sans action, pompe avec action, pompe pousse/lâche)	- *pression = action de pousser* (seringue pousse/lâche, seringue tire/lâche, verre+sucre, montgolfière)

Tableau 6.9 : Idées sur le sens des mots issues du questionnaire et de l'entretien.

Anne utilise le mot gaz avec le même sens que le mot air, uniquement dans le questionnaire. Cependant, cette idée est utilisée dans des situations ayant des traits de surface très différents (ballon de foot, balles de ping-pong cabossées, ballons de baudruche), ce qui témoigne d'une certaine stabilité au niveau des situations. Concernant le mot pression, Anne l'utilise avec la signification de l'action de pousser, on trouve notamment "*l'air exerce une pression*" ou la pression c'est "*la force que ça donne*". Cette idée est retrouvée dans le questionnaire et l'entretien pour des situations proches (seringue et pompe à vélo), ce qui témoigne de sa stabilité pour cette situation à travers ces deux types de données. De plus, Anne l'utilise dans des situations très différentes de l'entretien (pompe à vélo, verre+sucre et montgolfière), montrant une certaine stabilité entre ces situations de l'entretien.

1.1.3.2. Aspect particulaire

Le tableau 6.10, montre que l'idée *le gaz est composé de molécules* est particulièrement stable dans les situations du questionnaire demandant de représenter du gaz sur un schéma. De plus, on trouve que cette idée est stable pour les situations demandant : de définir le mot air et de décrire différents gaz contenus dans des ballons de baudruche. En effet, on la retrouve pour ces deux situations dans le questionnaire et dans l'entretien. Il est important de signaler qu'Anne utilise uniquement l'idée le gaz est composé de molécules et qu'elle n'utilise aucune idée sur leur fonctionnement.

	Idées d'Anne (questionnaire)	Idées Anne (entretien)
Aspect particulaire	-*gaz est composé de molécules* (mot air, quatre ballons S, mot gaz, ballon foot S, pompe S)	-*gaz est composé de molécules* (mot air, trois ballons (molécules))

Tableau 6.10 : Idées sur l'aspect particulaire du gaz issues du questionnaire et de l'entretien. Le domaine d'application est mis entre parenthèses et le S signifie que la situation demande de répondre sur un Schéma.

1.1.3.3. Présence du gaz

Le tableau 6.11 montre que l'idée *le gaz est présent partout* est stable à travers le questionnaire et l'entretien pour le mot air et pour les situations utilisant des objets ayant des traits de surfaces proches ("pompe à vélo" et "seringue"), mais avec des événements assez différents ("pas d'action" et "on tire puis on lâche le piston de la seringue"). De plus, cette idée semble particulièrement stable dans plusieurs situations de l'entretien, dans lesquelles la température ne varie pas. Dans les situations où la température varie, on voit qu'Anne utilise une idée mettant en lien la variation de température avec l'apparition ou la disparition de gaz. Cette idée est stable à travers le questionnaire et l'entretien pour des situations utilisant des objets avec des traits de surfaces proches (ballon de baudruche posé sur une bouteille en fer et film plastique posé sur un récipient en fer), mais avec des événements "opposés" (on chauffe et on refroidit). Anne utilise l'idée que le gaz traverse les parois dans plusieurs situations utilisant la seringue, mais mettant en jeu des événements différents (pousse, tire puis on lâche le piston...). Ceci montre que cette idée est particulièrement stable pour les situations utilisant une seringue.

	Idées d'Anne (questionnaire)	Idées Anne (entretien)
Présence	- *gaz est présent partout* (mot air, mot gaz, pompe sans action, chauffe ballon) - *chauffe → apparition de gaz* (chauffe ballon)	- *gaz est présent partout* (du mot air, seringue tire/lâche, attraper, attraper avec bouteille, attraper avec sac plastique, trois ballons(répartition & molécules), trois bouteilles(répartition)). - *refroidit→disparition de gaz* (refroidit récipient en fer, confiture) - *gaz traverse les parois* (seringue pousse (R agit), seringue pousse/lâche, seringue tire/lâche) - *Quantité gaz=volume* (trois ballons)

Tableau 6.11 : Idées sur la présence du gaz issues du questionnaire et de l'entretien.

1.1.3.4. Répartition du gaz

Le tableau 6.12 montre que l'idée *le gaz se répartit partout* est stable pour plusieurs situations du questionnaire et de l'entretien. Elle est particulièrement stable pour les situations utilisant différents gaz dans des ballons de baudruche, ainsi que pour celles utilisant des objets avec des traits de surfaces proches (pompe à vélo et seringue). De plus, il apparaît que l'idée *les molécules d'hélium se répartissent plus en haut* est stable, à travers les deux types de données recueillies, pour la situation utilisant plusieurs gaz dans des ballons de baudruche. De plus, l'idée *le gaz se répartit plus à un endroit,* qui englobe l'idée *les molécules d'hélium se répartissent plus en haut,* possède une certaine stabilité pour deux situations utilisant des objets (ballons de baudruche et récipient en fer recouvert de film plastique) et des événements (pas d'action et l'on chauffe) ayant des traits de surface très différents.

	Idées d'Anne (questionnaire)	Idées Anne (entretien)
Répartition	*-gaz se répartit partout* (chauffe ballon S, pompe sans action E) *-molécules se répartissent partout* (ballon de foot S, pompe sans action S, pompe avec action S, quatre ballons S) *-molécules d'hélium se répartissent en haut* (quatre ballons S)	*-gaz se répartit partout* (seringue tire/lâche, trois bouteilles(répartition), trois ballons(répartition et molécules), attraper, attraper avec une bouteille, attraper avec un sac plastique, chauffage) *-molécules se répartissent partout* (trois ballons (molécules)) *-air se répartit plus à un endroit* (chauffe récipient fer (R agit)) *-molécules d'hélium se répartissent plus en haut* (trois ballons (molécules))

Tableau 6.12 : Idées sur la répartition des gaz issues du questionnaire et de l'entretien.

1.1.3.5. Action du gaz

Le tableau 6.13 montre que l'idée *le gaz agit plus a un endroit* est stable dans le questionnaire et l'entretien pour des situations utilisant des objets (seringue et pompe à vélo) et des événements (pousse sur le piston) ayant des traits de surfaces très proches. On trouve que l'utilisation de la *variation de la quantité* de gaz dans les explications d'Anne est très stable à travers un grand nombre de situations très différentes de l'entretien et du questionnaire. Cette idée est utilisée dans des relations causales qui seront différentes selon les situations. Le tableau montre que l'on retrouve les mêmes relations causales dans le questionnaire et l'entretien, mais toujours pour des situations éloignées. La relation causale utilisant l'idée que l'air traverse les parois semble particulièrement stable dans l'entretien pour les situations utilisant une seringue.

	Idée d'Anne questionnaire	Idée Anne entretien
Action	- *gaz agit plus à un endroit* (pompe sans & avec action) - *action gaz* (pompe sans action, pompe avec action, pompe pousse/lâche) - air rentre = variation *quantité → effet gaz* (ballon de foot, ping-pong 1 & 2) - *chauffe→apparition de gaz = variation quantité→ effet du gaz* (chauffe ballon)	- *gaz agit plus à un endroit* (seringue pousse (R agit)) - *gaz agit partout* (trois ballons (R agit)) *-action gaz* (seringue pousse) - air rentre = variation *quantité → effet gaz* (attraper avec sac plastique, flambie languette) - gaz rentre = variation *quantité → action gaz* (montgolfière) - *refroidit→disparition gaz = variation quantité→ effet gaz* (refroidit récipient en fer, confiture) - *air traverse la paroi = quantité → action gaz* (seringue pousse/lâche, seringue tir/lâche) *-action air int<action air ext (seringue tire/lâche)* *-Peau<Pair* (verre+sucre)

Tableau 6.13 : Idées sur l'action du gaz issues du questionnaire et de l'entretien.

1.1.3.6. Lourdeur

Le tableau 6.14 montre que l'idée *le gaz pèse* est utilisée dans le questionnaire et l'entretien pour des situations très différentes. Cependant cette idée n'a jamais été énoncée clairement dans les explications d'Anne (noté par le signe ~ avant l'idée). Cette hésitation dans la formulation de ses explications pour deux situations très différentes, peut être interprété par le fait que cette idée est en cours de construction.

	Idée d'Anne questionnaire	Idée Anne entretien
Lourdeur	*~air pèse* (ballon de foot (masse) + E)	*~gaz pèse* (verre de coca)

Tableau 6.14 : Idées sur le caractère pesant du gaz issues du questionnaire et de l'entretien.

7. Même propriété pour l'air et le gaz

Dans le tableau 6.15, il apparaît dans le questionnaire et dans l'entretien, qu'Anne attribue les mêmes propriétés à l'air et au gaz pour des situations très variées, ce qui témoigne d'une certaine stabilité de cette idée.

	Idée d'Anne questionnaire	**Idée Anne entretien**
Propriétés du gaz	*-propriété gaz=air* (mot air, mot gaz, ballon foot, ping-pong 1 & 2)	*-propriété air=gaz* (chauffe récipient fer, refroidit récipient fer, confiture) *-gaz compressé* (seringue pousse/lâche)

Tableau 6.15 : Idées sur les propriétés équivalentes de l'air et du gaz issues du questionnaire et de l'entretien.

2.2 Quelles sont les idées d'Anne après l'enseignement sur les gaz ?

Comme dans la partie précédente, nous proposons de donner dans un premier temps les idées d'Anne reconstruites à partir du questionnaire, puis à partir de l'entretien. Afin d'alléger notre présentation, nous ne ferons pas dans un paragraphe séparer la comparaison des idées issues de ces deux types de données. Nous intégrons cette étape dans la comparaisons des idées d'Anne avant et après enseignement.

2.2.1. Questionnaire après

Cette partie se propose de donner les idées d'Anne reconstruite à partir du questionnaire passé après l'enseignement en ne détaillant que celles qui sont nouvelles. De plus, nous situons les réponses d'Anne par rapport à celles des autres élèves de la classe.

2.2.1.1. Sens des mots

Anne écrit que "*l'air est un gaz*", cependant elle n'utilise jamais le mot gaz avec le même sens que le mot air. De plus, elle utilise le mot pression avec la signification de l'action de pousser, on trouve notamment : "*l'air est présente partout par conte* ***elle exercera une plus forte pression***", "*les molécules [...] vont* ***exercer une pression***". Cette idée et son domaine d'application sont notés *pression = action de pousser* (pompe avec action, pompe pousse/lâche, ping-pong 2, ballon foot, chauffe ballon).

2.2.1.2. Aspect particulaire

Anne utilise l'idée que les *gaz est composé de molécules*, dans toutes ses représentations et aussi dans un grand nombre de ses explications, on trouve notamment les

phrases : "*les molécules se concentrent sur les parois qui st occupées par l'air*", "*[...] les molécules de ce gaz vont être concentrée sur les parois du ballon et vont exercés une pression qui va faire gonfler le ballon*". Cette idée est notée *gaz est composé de molécules* (mot air, mot gaz, ballon foot S+E, pompe sans action S+E, pompe (R agit), pompe pousse/lâche, quatre ballons S, chauffe ballon S+E), le S signifie une situation demandant de répondre par un Schéma et le E par une Explication.

2.2.1.3. Présence du gaz

Pour Anne, le gaz est présent partout pour un grand nombre de situations (noté *gaz est présent partout* (mots air, ballon foot S+E, pompe sans action S+E, pompe avec action S, quatre ballons S). De plus, nous remarquons aussi que lorsque l'on chauffe une bouteille en fer avec un ballon de baudruche dessus, Anne explique :"*le fait que le ballon se gonfle est que quand on chauffe il y a* ***formation d'un gaz à l'intérieur de la bouteille****, de plus les molécules de ce gaz vont être concentrée sur les parois du ballon et vont exercés une pression qui va faire gonfler le ballon*". Nous reconstruisons cette explication par la relation causale *chauffe→apparition gaz* (chauffe ballon). Cette idée semble spécifique à cette situation, car on ne la retrouve pas dans la situation des balles de ping-pong cabossées que l'on jette dans de l'eau très chaude.

2.2.1.4. Répartition

Dans trois des quatre dessins, Anne représente les gaz comme étant répartis partout (voir figure 6.7)

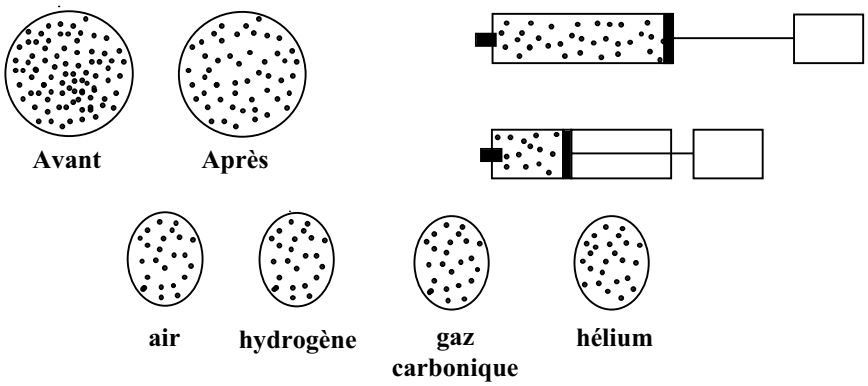


Figure 6.7 : Représentations du gaz dans trois situations du questionnaire.

À partir de ces représentations, nous reconstruisons l'idée *le gaz se répartit partout*. Cette idée est retrouvée dans les explications de deux autres situations, nous la notons avec son domaine d'application *le gaz se répartit partout* (mot air, pompe sans action, ballon foot S, pompe à vélo S, quatre ballons S). On trouve cependant dans le dessin de la bouteille en fer que l'on chauffe avec un ballon de baudruche dessus, que les molécules ne se répartissent que sur les parois (voir figure 6.8).

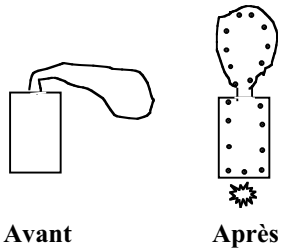


Figure 6.8 : Représentation du gaz dans la situation "chauffe ballon".

Dans l'explication de cette situation, on trouve que "*les molécules vont être concentrée sur les parois*", ce que nous modélisons par l'idée *molécules se concentrent sur les parois* (chauffe ballon S+E) le E signifie que la situation demande de donner une Explication. De plus, cette idée est retrouvée dans deux questions de la situation mettant en jeu la pompe à vélo : "*les molécules se* ***concentrent sur les parois*** *qui sont occupées par l'air*" et l'air agit sur toutes les parois de la pompe, "*car l'air est présent dans tout l'espace, donc les* ***molécules se concentrent spécialement sur toutes les parois***". Dans cette seconde explication, l'idée que les molécules se concentrent sur les parois est en contradiction avec le fait que l'air est présent dans tout l'espace. Cette contradiction peut être résolue en dessinant de l'air partout, mais en n'en représentant plus à cetains endroits. Comme le montre le dessin de l'air réparti partout

dans la pompe à vélo (voir figure 6.7), il semble que cette solution ne soit pas utilisée par Anne. En résumé, nous notons cette idée *molécules se concentrent sur les parois* (chauffe ballon S+E, pompe à vélo sans action, pompe à vélo (R agit)).

2.2.1.5. Action des gaz

Il apparaît que l'air agit dans toutes les directions pour la situation de la pompe à vélo (idée notée *action air dans toutes les directions* (pompe sans action, pompe avec action)). De plus, Anne parle explicitement de l'action de l'air dans plusieurs situations : "*le ballon sera moins dur car la pression exercée par l'air ds le ballon sera moins importante*", "*l'air est présente partout par contre elle exercera une plus forte pression*" et la balle de ping-pong trouée va retrouver sa forme normale "*grâce a l'air qui va exercé une pression sur les parois*". À travers ces explications, nous voyons qu'Anne utilise le mot pression avec la signification de l'action de pousser. C'est pourquoi, cette idée est notée *action air* (ballon de foot, pompe à vélo, balles de ping-pong).

Il semble qu'Anne établisse un lien entre la répartition des molécules et leur action, c'est-à-dire que les molécules ont besoin de se concentrer sur les parois pour agir. On trouve ce lien sur le dessin d'une bouteille avec un ballon de baudruche que l'on chauffe (figure 6.6).

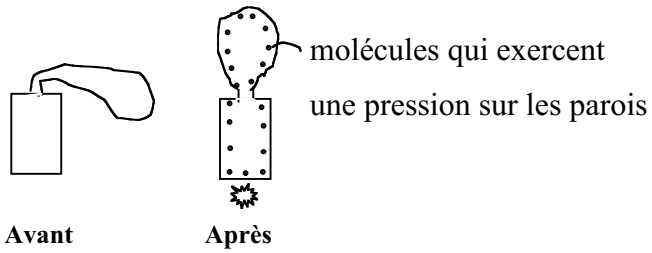


Figure 6.9 : Schéma d'Anne pour la situation "chauffe ballon"

Ce schéma illustre l'idée *les molécules se concentrent sur les parois → action des molécules*. De plus, pour cette situation et celle utilisant la pompe à vélo, on trouve les explications suivantes : "*[...] les molécules de ce gaz vont être concentrée sur les paroi du ballon et vont exercés une pression qui va faire gonfler le ballon*", l'air agit sur toutes les parois de la pompe "*car l'air est présent dans tout l'espace, des molécules se concentrent spécialement sur toutes les parois*" et l'air agit de la même façon pour la pompe sans action et avec action sur le piston car "*les molécules se concentrent sur les parois qui sont occupés par l'air*". Ce que nous modélisons par l'idée les *molécules se concentrent sur les parois→ action*

des molécules (ballon chauffe S+E, pompe à vélo sans action, pompe à vélo (R agit), le S signifie que la situation demande une réponse sur un Schéma et le E par une Explication.

Il semble que, pour Anne, la quantité soit reliée à l'action du gaz, c'est-à-dire que si la quantité augmente, l'action du gaz sera plus forte et si elle diminue l'action sera moins forte. À travers les explications d'Anne nous trouvons deux façons de faire varier la quantité, soit du gaz rentre ou sort de l'enceinte, soit l'enceinte est chauffée et il y a formation de gaz. Ces deux types d'idées avec leur domaine d'application sont notées : *air rentre ou sort = variation quantité → action du gaz* (ballon de foot (masse), balle de ping-pong) et *on chauffe → apparition de gaz = variation quantité → action des molécules* (chauffe le ballon).

2.2.1.6. Lourdeur

Concernant le caractère pesant des gaz, nous trouvons deux explications contradictoires. La première concerne le ballon de foot qui se dégonfle : une fois un peu dégonflé, "*le ballon sera **plus léger**, **car** il y a diminution du **volume d'air***" dans cette explication Anne ne dit pas explicitement que le gaz pèse, mais nous le déduisons à partir des mots mis en gras noté *~l'air pèse* (ballon foot (masse)). La seconde concerne un verre de boisson gazeuse : une fois que toutes les bulles seront parties le verre pèsera la même chose "*car le gaz et l'air n'exercent pas un poids*". Nous reconstruisons directement l'idée *le gaz ne pèse pas* (verre de coca).

Comparaison d'Anne avec les autres élèves de sa classe.

Il apparaît que la plupart des idées sur l'aspect particulaire, la répartition et la direction de l'action du gaz sont les mêmes que la majorité des réponses d'élèves (voir dans l'annexe de l'analyse fine avant/après). L'idée *chauffe →apparition de gaz* est aussi partagée par la majorité de la classe. Cependant, Anne est la seule à affirmer que les molécules sont collées aux parois et elle fait partie de la minorité d'élèves qui pense que la balle de ping-pong trouée va retrouver sa forme normale, car de l'air va rentrer dedans.

2.2.2. Entretien après

Cette partie se propose de donner dans un premier temps l'essentiel des idées d'Anne au terme de l'enseignement sur les gaz, pour dans un second temps, nous centrer sur le

comportement des molécules. L'ensemble de la transcription de l'entretien incluant la construction des idées d'Anne est disponible dans l'annexe de l'analyse fine avant/après.

2.2.2.1. L'essentiel des idées d'Anne

Concernant le sens des mots, la présence du gaz et leur aspect particulaire, Anne utilise les idées : *pression = action de pousser*, *le gaz est présent partout* et le *gaz est composé de molécules*, dans un grand nombre de situations. De plus, toutes ces situations, ont entre elles des traits de surfaces très différents, ce qui témoigne d'une grande stabilité à travers les situations de ces trois idées. Concernant le caractère pesant des gaz, Anne, après beaucoup d'hésitation, semble dire que le gaz ne pèse pas dans les trois bouteilles contenant trois gaz différents (noté *~ gaz ne pèse pas* (trois bouteilles (masse), le ~ signifie que cette idée est déduite et non pas reconstruite directement à partir d'un énoncé clair). En revanche, Anne dit explicitement que le gaz ne pèse pas pour les bulles contenues dans une boisson gazeuse : "*ben parc'que* ***le gaz/*** *comme j'lai dit tout à l'heure le gaz j'pense qu'il a pa::s/* ***i::l exerce pas (1s) un poids*** *particulier* ***il a pas un poids particulier***", ce que nous modélisons par *gaz ne pèse pas* (verre coca). Au niveau de la répartition, on trouve l'idée *le gaz se répartit partout* (seringue tire/lâches, chauffage, trois bouteilles), et l'idée *les molécules se répartissent plus à un endroit* (chauffe récipient fer, seringue pousse/lâche, trois ballons (quantité), quantité (R agit)). De plus, pour interpréter l'action du gaz, Anne fait appel à trois raisonnements différents. Le premier utilise la variation de la quantité, le second utilise la comparaison de deux systèmes et le troisième la répartition des molécules.

- Variation de la quantité de gaz. Anne utilise une relation de causalité du type : si la quantité varie alors l'action du gaz sera plus importante. Cette relation prend des formes différentes suivant le type de récipient (fermé (1) ou ouvert (2)).

  1- Pour les récipients fermés ne pouvant pas échanger de la matière avec l'extérieur, on trouve que : si l'on chauffe, le gaz passe à travers la paroi et si l'on refroidit le gaz disparaît (noté *chauffe→gaz traverse la paroi = variation quantité→action gaz* (chauffe récipient fer) et *refroidit→disparition gaz = variation quantité → effet gaz* (confiture)).

  2- Pour les récipients ouverts, c'est-à-dire étant susceptibles d'échanger de la matière avec le milieu extérieur, Anne interprète utilise le fait que de l'air rentre dans l'enceinte (*air rentre = quantité →action gaz* (flambie, montgolfière)).

- Comparaison de deux systèmes. Pour interpréter deux situations considérées comme des systèmes fermés, Anne compare l'action qui s'exerce des deux côtés du piston de la seringue, ainsi que l'action de l'air avec l'action de l'eau (noté *action eau<action air* (verre+sucre) et *action mol ext>action mol int* (seringue tire/lâche)).

- Répartition des gaz. Dans plusieurs situations Anne utilise l'idée que les molécules se concentrent plus à un endroit pour agir. Par exemple, les molécules sont réparties partout, mais elles sont beaucoup plus nombreuses au niveau du film plastique du récipient en fer que l'on chauffe, ce qui explique pourquoi il se gonfle. Pour cette situation, Anne précise le mécanisme en disant que "*les molécules exercent une pression due au fait [...] qu'elles se regroupent ensembles*". De même, Anne explique que lorsque l'on pousse sur le piston d'une seringue bouchée, les molécules se répartissent plus au niveau du piston, car c'est là que ça pousse. On trouve aussi qu'un ballon de baudruche rempli d'hélium monte, car les molécules se répartissent plus en haut et donc agissent plus à cet endroit. Cette relation causale et son domaine d'application sont notées *molécules se concentrent à un endroit → action des molécules* (chauffe récipient en fer, chauffe récipient en fer (R agit), seringue pousse/lâche, 3 ballons).

2.2.2.2. Comportement des molécules

Nous proposons maintenant de détailler un peu plus les idées d'Anne sur les molécules. Nous rappelons qu'Anne utilise l'idée *le gaz est composé de molécules* pour interpréter un grand nombre de situations. Dans la situation des ballons de baudruche remplies de gaz différents, elle définit la quantité de gaz comme étant le nombre de molécules (idée *Q = nbre molécules*). De plus, les molécules ont des chocs contre les parois (idée *chocs des molécules*) et leur vitesse augmente quand on les chauffe (idée *chauffe → molécules accélèrent*). Cependant, ces deux idées ne sont utilisées que dans une seule situation (chauffe récipient fer) et elles le sont de manière indépendante. C'est-à-dire qu'Anne n'a pas relié le fait que si les molécules accélèrent, il y aura plus de chocs sur les parois. De plus, Anne ne réinvestit pas ces idées dans d'autres situations, ce qui témoigne qu'elles ne sont pas encore stables d'un point de vue situationnel. La répartition des molécules varie en fonction des situations, elles sont soit réparties uniformément, soit concentrées à un endroit. Il semble qu'Anne utilise la "concentration" des molécules à un endroit pour rendre compte de leurs actions. Par exemple, les molécules d'hélium seront plus en haut, car elles agissent sur le haut

du ballon, ce qui le fait monter. Pour résoudre la contradiction entre l'idée *les molécules se répartissent partout* (qui semble liée au fait que le gaz est présent partout) et l'idée les molécules se répartissent plus à un endroit (qui semble dépendre de l'endroit où elles agissent), il semble qu'Anne fasse une combinaison des deux. Pour elle, les molécules sont réparties partout, mais en fonction des actions du gaz, il y en aura plus à certains endroits. Voici un extrait de l'entretien qui illustre, la combinaison de ces idées :

Temps	Question et transcription	Idées
23:10	**4.0** On pose un réchaud un récipient en fer fermé avec du film plastique, que va-t-il se passer? **4.0.3** ton avis, où les molécules sont réparties dans le récipient?	
	D : et donc tu m'as parlé des molécules après eu:::h/ comment eu::h elle se fait la répartition des molécules à l'intérieur A : (2s) un euh (montre le haut du gobelet) y'a y'en a (*A bouge la main de partout*) de part- (*A bouge la main de partout*) dans tout le à l'intérieur (*A montre le gobelet*) **j'pense qu'il y'en a de partout** (*A bouge la main de partout*) D : ouais A : mais la plupart (*A ouvre les doigts*) euh/ **les plus gransse(*A ouvre les doigts*) grosses (*A ouvre les doigts*) quantités sont autour des parois et sur le dessus** (*A montre l'intérieur du gobelet*) en fait [...] A : (2s) ben j'dirai j'dirai **aussi beaucoup plus sur le (*A touche le plastique*)** sur **l'plastique en fait le fait que ça (*A ouvre les doigts avec la paume vers le haut*) ça gonfle en fait**	Molécule se répartissent partout molécules se répartissent plus sur les parois molécules se répartissent plus en haut

Tableau 6.16 : Extrait de l'entretien d'Anne illustrant la combinaison de deux idées

Cet extrait montre, que pour Anne il y a des molécules partout, mais qu'il y en a plus sur les parois (endroit où l'air agit). De plus, pour expliquer le fait que le film plastique se gonfle, elle considère qu'il y a beaucoup plus de molécules sur le plastique (en haut). Lors de nos questionnaires posés à trois classes différentes, nous avons trouvé des explications d'élèves mélangeant le fait que le gaz soit partout et à la fois plus à un endroit (voir chapitre 5, partie répartition catégorie "répartition inhomogène"). Anne utilise simultanément l'idée *les molécules sont partout* et l'idée *les molécules se concentrent sur les parois*. Dans la situation "seringue pousse/lâche", Anne établit un lien entre l'état des molécules et leur action, elle

explique : "*elles* (les molécules) *sont* ***plus compactes*** *et donc comme tout à l'heure* ***elles exercent une pression*** *pour l'fait de* ***repousser***", noté *molécules compressées → action des molécules* (seringue pousse/lâche)**.**

2.2.2.3. Résumé des idées d'Anne après l'enseignement

Cette partie présente les idées d'Anne que l'on retrouve dans le questionnaire et dans l'entretien.

Concernant le sens des mots, Anne utilise le mot pression avec la signification de l'action de pousser dans de nombreuses situations du questionnaire et de l'entretien (tableau 6.17).

Questionnaire	Entretien
- *pression = action de pousser* (pompe avec action, pompe pousse/lâche, ping-pong 2, ballon foot, chauffe ballon)	- *pression = action de pousser* (verre+sucre, seringue pousse/lâche seringue tire/lâche, seringue pousse, flambie, trois ballons, chauffe récipient fer, chauffe récipient fer (R agit))

Tableau 6.17 : Le sens du mot pression.

De plus, on trouve que les idées : *le gaz est composé de molécules*, *le gaz est présent partout* et *le gaz se répartit partout* sont très stables pour de nombreuses situations du questionnaire et de l'entretien (tableau 6.18)

Questionnaire	Entretien
-gaz sont composés de molécules (mot air, mot gaz, ballon foot S+E, pompe sans action S+E, pompe (R agit), pompe pousse/lâche, quatre ballons S, chauffe ballon S+E)	-gaz sont composés de molécules (trois ballons, chauffe récipient fer, chauffe récipient en fer (répartition), refroidit récipient fer (répartition), seringue pousse/lâche, seringue tire/lâche)
-gaz est présent partout (mots air, ballon foot S+E, pompe sans action S+E, pompe avec action S, quatre ballons S)	-gaz est présent partout (attraper avec bouteille, seringue tire/lâche, trois bouteilles, verre+sucre, chauffe récipient en fer (répartition), seringue pousse/lâche, seringue tire/lâche, chauffage)
-gaz se répartit partout (mot air, pompe sans action, ballon foot S, pompe S, quatre ballons S)	-gaz se répartit partout (trois bouteilles (répartition), seringue tire/lâche, seringue pousse lâche, chauffage, seringue tire/lâche)

Tableau 6.18 : Stabilité des idées concernant l'aspect particulaire, la présence et la répartition du gaz.

À la suite de l'enseignement, on voit apparaître l'idée que les molécules se concentrent sur les parois pour agir. Cette idée, spécifique à Anne, est utilisée dans de nombreuses situations du questionnaire et de l'entretien. De plus, Anne utilise la variation de la quantité pour interpréter l'action du gaz dans un grand nombre de situations du questionnaire (tableau 6.19).

Questionnaire	Entretien
-molécules se concentrent sur les parois (chauffe ballon S+E, pompe sans action, pompe (R agit))	*-molécules se concentrent sur les parois* (chauffe récipient fer, seringue pousse/lâche, trois ballons (R agit))
-air rentre =variation quantité →action de l'air (ballon foot, ping-pong 1& 2) *- apparition de gaz = variation quantité → action des molécules* (chauffe ballon)	*-air rentre = variation quantité → action gaz* (flambie languette, montgolfière) *-gaz traverse la paroi =variation quantité→action gaz* (chauffe récipient fer) *- disparition gaz = variation quantité → effet gaz* (confiture)

Tableau 6.19 : Stabilité des idées les molécules se concentrent sur les parois et variation de quantité

2.3. Comment évoluent les idées d'Anne au cours du temps ?

Comme nous l'avons indiqué dans notre méthodologie, pour suivre l'évolution des idées d'Anne au cours du temps, nous comparons les idées d'Anne avant et après l'enseignement, pour établir la stabilité de ses idées du point de vue du temps et des situations. La stabilité "situationnelle" sera testée à travers les traits de surface des situations, que nous

analysons en termes d'objets et d'événements. La stabilité temporelle sera testée à partir des différentes données que nous avons recueillies à des temps différents (figure 6.10). Rappelons que plus l'intervalle de temps entre l'utilisation de la même idée dans des situations proches sera grand, et plus cette idée sera stable dans le temps.

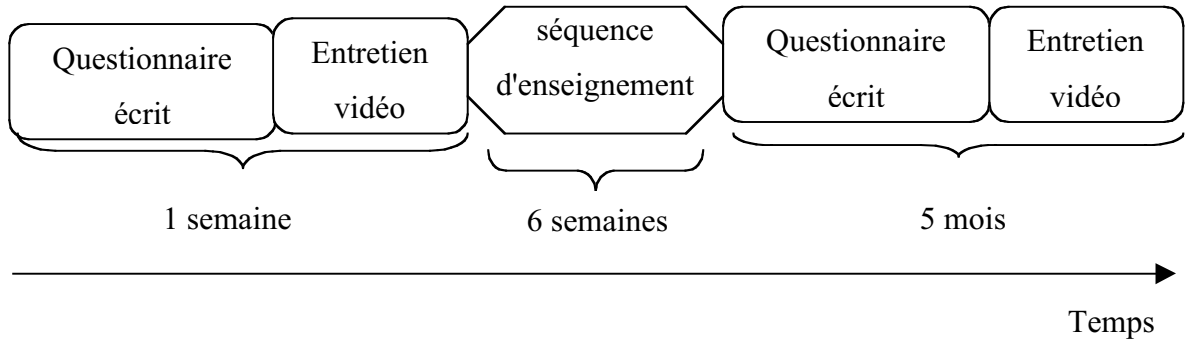


Figure 6.10 : Intervalle de temps entre le recueil des différentes données

2.3.1. Sens des mots

Le tableau 6.20 montre, qu'avant l'enseignement, Anne utilise le mot gaz avec le même sens que le mot air et que cette utilisation n'est plus faite après l'enseignement.

	Avant	**Après**
sens des mots Questionnaire	- *air = gaz* (ballon foot, ping-pong 1 & 2) - *pression = action de pousser* (pompe avec action, pompe pousse/lâche, pompe sans action)	- *pression = action de pousser* (pompe avec action, pompe pousse/lâche, ping-pong 2, ballon foot, chauffe ballon)
sens des mots Entretien	-*pression = action de pousser* (verre+sucre, seringue pousse/lâche, seringue tire/lâche, montgolfière)	- *pression = action de pousser* (verre+sucre, seringue pousse/lâche seringue tire/lâche, seringue pousse, flambie, trois ballons, chauffe récipient fer, chauffe récipient fer (R agit))

Tableau 6.20 : Évolution du sens des mots

Concernant l'utilisation du mot pression avec la signification de l'action de pousser, il apparaît que cette idée est déjà stable avant l'enseignement, pour les situations utilisant des enceintes avec un piston. À la suite de l'enseignement, l'idée *pression = action de pousser* est toujours utilisée dans les situations utilisant des enceintes avec un piston, mais on trouve qu'elle est aussi employée dans de nouvelles situations ayant des traits de surfaces très

différents. L'évolution de cette idée à la suite de l'enseignement peut être caractérisée par l'augmentation de son domaine d'application.

2.3.2. Aspect particulaire

Le tableau 6.21 montre qu'avant l'enseignement, l'idée les *gaz sont composés de molécules*, est très peu utilisée. On la retrouve essentiellement, dans la définition du mot air, ainsi que pour représenter le gaz sur des schémas. De plus, les molécules ne sont pas utilisées dans les explications. Après l'enseignement, il apparaît qu'Anne utilise cette idée pour expliquer un grand nombre de situations très différentes. De plus, lorsque l'on compare le questionnaire et l'entretien passés après l'enseignement, on trouve que cette idée est très stable à travers différentes situations.

	Avant	**Après**
Aspect particulaire Questionnaire	-*gaz sont composés de molécules* (mot air, mot gaz, ballon foot S, pompe S, quatre ballons S)	- *gaz sont composés de molécules* (mot air, mot gaz, ballon foot S+E, pompe sans action S+E, pompe (R agit), pompe pousse/lâche, quatre ballons S, chauffe ballon S+E)
Aspect particulaire Entretien	-*gaz sont composés de molécules* (mot air, trois ballons (molécules))	-*gaz sont composés de molécules* (trois ballons, chauffe récipient fer, chauffe récipient en fer (répartition), refroidit récipient fer(répartition), seringue pousse/lâche, seringue tire/lâche) -*chauffe → chocs des molécules* (chauffe récipient en fer) -*chauffe→molécules accélèrent* (refroidit récipient en fer) -*molécules compressés* (seringue pousse/lâche) -*Q= nbre de molécules* (trois ballons (quantité)) -molécules se regroupent pour agir (chauffe récipient fer (R agit))

Tableau 6.21 : Évolution des idées sur l'aspect particulaire du gaz

À la suite de l'enseignement le domaine d'application de l'idée *les gaz sont composés de molécules* augmente. De plus, de nouvelles idées sur les molécules apparaissent, notamment que la quantité correspond au nombre de molécules, qu'elles ont des chocs avec la paroi et qu'elles accélèrent lorsqu'on les chauffe. On trouve aussi l'idée que les molécules se

regroupent pour agir. Concernant ces nouvelles idées sur les molécules, il est important de préciser qu'elles restent très contextualisées puisqu'elles sont rattachées à une seule situation. Ceci témoigne qu'elles ne sont pas encore stabilisées pour des situations différentes.

2.3.3. Présence

Le tableau 6.22 montre qu'avant l'enseignement l'idée le *gaz est présent partout* est très stable pour un grand nombre de situations du questionnaire et de l'entretien. À la suite de l'enseignement, cette idée devient encore plus stable au niveau des situations, puisque son domaine d'application a augmenté pour le questionnaire et l'entretien.

	Avant	**Après**
Présence Questionnaire	- *gaz est présent partout* (mot air, mot gaz, ballon foot S, chauffe ballon S, pompe S, quatre ballons S) - *chauffe → apparition de gaz* (chauffe ballon)	-*gaz est présent partout* (mots air, ballon foot S+E, pompe sans action S+E, pompe avec action S, quatre ballons S) - *chauffe → apparition de gaz* (chauffe ballon)
Présence Entretien	-*gaz est présent partout* (attraper avec bouteille, seringue tire/lâche, trois bouteilles, mot air, attraper avec sac plastique, trois ballons(répartition molécules)). -*gaz traverse la paroi* (seringue pousse (R agit), seringue pousse/lâche, seringue tire/lâche) -*refroidit→disparition de gaz* (confiture, refroidit récipient en fer) Q+→V+ (trois ballons (quantité))	-*gaz est présent partout* (attraper avec bouteille, seringue tire/lâche, trois bouteilles, verre+sucre, chauffe récipient en fer (répartition), seringue pousse/lâche, seringue tire/lâche, chauffage) -*chauffe→gaz traverse la paroi* (chauffe récipient fer) -*refroidit→disparition de gaz* (confiture) Q = nbre de molécules (trois ballons (quantité))

Tableau 6.22 : Évolution des idées sur la présence des gaz

L'idée que *le gaz traverse les parois* n'est utilisée avant l'enseignement que dans la situation utilisant une seringue. À la suite de la séquence, on retrouve cette idée mais dans une situation très différente (chauffe récipient en fer). Compte tenu du fait que la séquence d'enseignement utilise une seringue dans la plupart des situations, il est fort probable qu'Anne ait construit le fait que l'air ne passe pas à travers les parois de la seringue.

En revanche, il semble que la séquence a très peu d'effet sur les idées concernant l'apparition ou la disparition des gaz lorsque la température varie, car elles sont utilisées exactement dans les mêmes situations avant et après l'enseignement. De plus, l'idée apparition de gaz lorsque l'on chauffe, n'est jamais réinvestie dans des situations de l'entretien, ce qui semble témoigner qu'elle reste très contextualisée à la situation "chauffe récipient en fer".

Avant l'enseignement, Anne relie la quantité au volume par une relation de causalité de type "plus-plus". À la suite de l'enseignement, il apparaît qu'Anne établit un lien entre la quantité et le nombre de molécules. Ce lien est le même que celui établi par la physique, ce qui nous laisse penser qu'il a été construit durant l'enseignement.

2.3.4. Répartition

À la suite de l'enseignement, on trouve que le domaine d'application de l'idée *les molécules se répartissent partout* n'a pas changé et se compose toujours de situations demandant de représenter du gaz sur un Schéma (tableau 6.23).

	Avant	**Après**
Répartition Questionnaire	*-gaz se répartit partout* (chauffe ballon S) *-molécules se répartissent partout* (ballon foot S, pompe S, quatre ballons S) *-molécules d'hélium se répartissent en haut* (quatre ballons S)	*-air se répartit partout* (mot air, pompe sans action) *-molécules se répartissent partout* (ballon foot S, pompe S, quatre ballons S) *-molécules se concentrent sur les parois* (chauffe ballon S+E, pompe sans action, pompe (R agit))
Répartition Entretien	*-gaz se répartit partout* (trois ballons (répartition et molécules), trois bouteilles (répartition), chauffage, attraper, attraper avec une bouteille, attraper avec un sac plastique, seringue tire/lâche) *-molécules se répartissent partout* (trois ballons (molécules)) *-air se répartit plus à un endroit* (chauffe récipient fer (R agit)) *-molécules d'hélium se répartissent plus en haut* (ballon d'hélium (molécules))	*-gaz se répartit partout* (trois bouteilles (répartition), seringue tire/lâche, seringue pousse lâche, chauffage) *-molécules se répartissent partout* (seringue tire/lâche) *-molécules se répartissent plus à un endroit* (chauffe récipient fer, seringue pousse/lâche, trois ballons (quantité + R agit)) : *-molécules se concentrent sur les parois* (chauffe récipient fer, seringue pousse/lâche, trois ballons (R agit))

Tableau 6.23 : Évolution des idées sur la répartition des gaz

Lorsqu'on regarde l'évolution des idées au sein de l'entretien, il apparaît qu'à la suite de l'enseignement, le domaine d'application de l'idée *le gaz se répartit partout,* diminue, alors que celui de l'idée *les molécules se répartissent plus à un endroit,* augmente. De plus, on trouve qu'Anne utilise l'idée *les molécules se concentrent sur les parois* dans le questionnaire et l'entretien après l'enseignement. Cette idée est particulièrement stable pour deux situations ayant des traits de surfaces très proches. Pour ces deux situations, il y a des objets relativement proches : (1) une seringue et une pompe à vélo et (2) ballon de baudruche posé sur une bouteille en fer et film plastique posé sur un récipient en fer. De plus les événements presque similaires : (1) on comprime le gaz et (2) on chauffe le gaz. Comme nous allons le voir par la suite il semble, que la répartition des molécules soit fortement liée à l'action des gaz.

2.3.5. Action du gaz

Le tableau 6.24 montre qu'à la suite de l'enseignement, les idées d'Anne sur la description de l'action du gaz se sont enrichies. En effet, on trouve beaucoup plus fréquemment des idées sur l'action du gaz ou des molécules. De plus, il semble qu'Anne établisse une relation entre la répartition des molécules et leurs actions. En effet, pour Anne les molécules sont partout et elles se concentrent à certains endroits pour agir. Cette relation est particulièrement stable dans le temps et dans un certain nombre de situations variées. On remarque que le domaine d'application des idées : utilisant la variation de la quantité et comparant deux systèmes, n'évolue quasiment pas à la suite de l'enseignement.

	Avant	**Après**
Action Questionnaire	- *action air plus à un endroit* (pompe sans action, pompe avec action) - *action air* (pompe avec action, pompe sans action, pompe pousse/lâche) - *variation quantité → effet gaz* (ballon foot, ping-pong 1 & 2) - *chauffe → apparition de gaz = variation quantité → effet du gaz* (chauffe ballon)	*-action air dans toutes les directions* (pompe sans action, pompe avec action) *-action air* (pompe avec action, ballon foot, ping-pong 1 & 2) *- variation quantité →action de l'air* (ballon foot, ping-pong 1& 2) *-chauffe → apparition de gaz = variation quantité → action des molécules* (chauffe ballon) *-répartition sur les parois→action des molécules* (ballon chauffe S+E, pompe sans action, pompe (R agit))
Action Entretien	*-gaz agit plus à un endroit* (seringue pousse (R agit)) *-gaz agit partout* (trois ballons (R agit)) *-action gaz* (seringue pousse) *-air traverse la paroi =variation quantité → action gaz* (seringue pousse/lâche, seringue tir/lâche) *-air rentre = variation quantité→effet gaz* (attraper avec sac plastique, flambie languette) *-chauffe→*gaz rentre *=variation quantité →action gaz* (montgolfière) *-refroidit→disparition gaz = quantité → effet gaz* (refroidit récipient en fer, confiture) *-action eau<action air* (verre+sucre) *-action air ext>action air int* (seringue tire/lâche)	*-répartition à un endroit→action des molécules* (chauffe récipient en fer (répartition), chauffe récipient fer (R agit), seringue pousse/lâche, trois ballons (agit)) *-chocs molécules* (chauffe récipient fer) *-chauffe→molécules accélèrent* (chauffe récipient fer) *-chauffe → gaz traverse la paroi =variation quantité→action gaz* (chauffe récipient fer) *-air rentre = variation quantité → action gaz* (flambie languette) *-chauffe → molécules rentre =variation quantité → action molécules à un endroit* (montgolfière) *-refroidit→disparition gaz = variation quantité → effet gaz* (confiture) *-action eau<action air* (verre+sucre) *-action mol ext>action mol int* (seringue tire/lâche) *-air se compresse→action de l'air* (seringue pousse)

Tableau 6.24 : Évolution des idées sur l'action du gaz

2.3.6. Lourdeur

Le tableau 6.25 montre qu'avant l'enseignement, Anne utilise l'idée *le gaz pèse* de manière hésitante(~) au cours de l'entretien et du questionnaire. Après l'enseignement, il apparaît qu'Anne utilise dans le questionnaire deux idées contradictoires : *l'air pèse* et *le gaz ne pèse pas,* mais toujours de manière hésitante.

	Avant	Après
Lourdeur Questionnaire	~ *air pèse* (ballon de foot (masse) + E)	~ *air pèse* (ballon de foot (masse)) ~ *gaz ne pèse pas* (verre de coca)
Lourdeur Entretien	~ *gaz pèse* (verre de coca)	~*gaz ne pèse pas* (trois bouteilles (masse)) *gaz ne pèse pas* (verre coca)

Tableau 6.25 : Évolution des idées sur le caractère pesant du gaz

Au cours de l'entretien, elle utilise deux fois l'idée *le gaz ne pèse pas* et sans hésitation pour le verre de coca. Le nombre de situations où cette idée apparaît est beaucoup trop faible pour que l'on puisse conclure à une quelconque stabilité.

2. Analyse d'Ellen

Cette partie propose de présenter l'évolution des idées d'Ellen à la suite de l'enseignement sur les gaz. Comme pour Anne, cette présentation se déroulera en fonction des trois étapes de notre méthodologie (voir figure 6.1).

2.1 Quelles sont les idées d'Ellen avant l'enseignement sur les gaz ?

Cette partie présente les idées d'Ellen reconstruites à partir du questionnaire, puis à partir de l'entretien et enfin la comparaison de ces idées.

2.1.1. Questionnaire avant

Nous proposons de faire une reconstruction des idées d'Ellen à partir de ses réponses écrites au questionnaire. Dans le but de situer Ellen par rapport au reste de sa classe, nous allons comparer au fur et à mesure de notre analyse, ses réponses avec celles des autres élèves (cette comparaison est disponible dans l'annexe de l'analyse fine avant/après). Durant cette analyse, nous utilisons les abréviations des situations du questionnaire (voir dans l'annexe de

l'analyse globale). Ceci nous permet de signaler qu'Ellen coche une réponse sans donner explication pour les questions "pompe vélo sans action", "pompe vélo avec action" et "ping-pong 1 & 2". De plus, elle n'a pas répondu à la question "pompe vélo pousse/lâche".

2.1.1.1. Sens des mots

Dans la totalité du questionnaire, Ellen n'utilise jamais le mot pression. De plus, on ne voit jamais apparaître dans ses explications le mot gaz employé avec la même signification que le mot air. Pour les questions demandant de faire quatre phrases avec le mot air puis avec le mot gaz, il est intéressant de voir qu'Ellen utilise un vocabulaire très différent pour chacun de ces mots. En effet, l'air semble être considéré comme ce qui compose l'atmosphère qui nous entoure : "*l'air est quelques chose de léger*", "*l'air se trouve partout*", "*l'air est quelque chose que l'on ne peut pas toucher*", "*on a besoin d'air pour vivre*", alors que le gaz semble être envisagé seulement avec les propriétés du gaz de ville : "*le gaz peut être dangereux*", "*le gaz est quelques que l'on peut sentir*", "*le gaz est utile dans la vie de tous les jours*", "*presque tout le monde utile le gaz*". Dans le reste du questionnaire, Ellen n'utilise que le mot air dans ses explications. L'apprentissage de la physique nécessite aussi de savoir utiliser un vocabulaire spécifique, il semble ce ne soit pas encore le cas pour Ellen, qui n'utilise ni le mot pression, ni le mot gaz dans ses explications.

2.1.1.2. Aspect particulaire

Dans toutes les questions du questionnaire, on trouve qu'Ellen ne fait jamais appel à des éléments relevant du niveau microscopique. En effet, on ne trouve dans aucune de ses explications l'utilisation des mots comme molécule, particule ou encore atome. De plus, elle représente le gaz comme un ensemble continu dans trois des quatre situations demandant de faire un dessin. Cependant pour la situation demandant de dessiner de l'air dans une pompe à vélo, Ellen utilise des traits discontinus pour le représenter. Il est assez surprenant qu'elle ait utilisé ce type de représentation uniquement pour cette situation. Un certain nombre d'éléments laisse penser qu'Ellen a peut-être copié pour cette réponse sur Anne. Particulièrement, le fait qu'elles aient coché toutes les deux les mêmes réponses concernant la direction de l'action de l'air dans la pompe à vélo et qu'Ellen ne donne aucune explication pour cette situation. Nous notons cette idée *~air composé de molécules* (pompe sans action S), le ~ signifie qu'il y a un doute sur la reconstruction de l'idée.

En résumé, Ellen n'utilise jamais les molécules dans ses explications et ne représente quasiment pas le gaz avec des traits discontinus, ce qui correspond à la majorité des réponses des élèves de sa classe. Notons que la représentation microscopique de l'air dans la situation de la pompe à vélo est utilisée par 26 % des élèves de sa classe.

2.1.1.3. Présence

Notre analyse montre qu'Ellen utilise l'idée que *le gaz est présent partout* dans plusieurs situations (mot air, ballon de foot S, pompe à vélo avec action S, chauffe récipient en fer S, quatre ballons S), le S signifie que la situation demande de réaliser un Schéma. Elle écrit que "*l'air se trouve partout*" et elle dessine, entre autres, les schémas suivants :

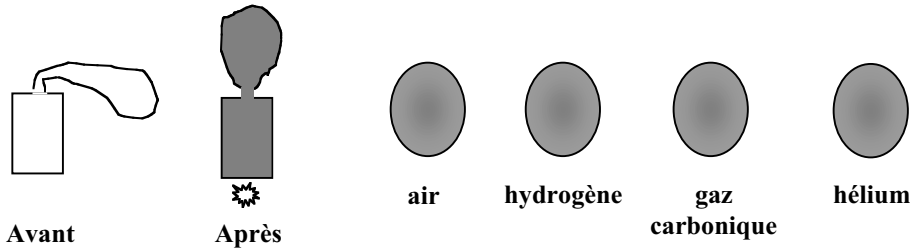


Figure 6.11 : Représentations d'Ellen utilisant l'idée que le gaz est présent partout

Ces représentations illustrent le fait que le gaz est présent partout. Cependant, il semble que, dans la bouteille recouverte d'un ballon de baudruche, il n'y a pas d'air avant que l'on chauffe mais qu'il y en a partout lorsque l'on chauffe. De plus, on trouve deux représentations dans lesquelles l'air est présent seulement à un endroit (figure 6.9)

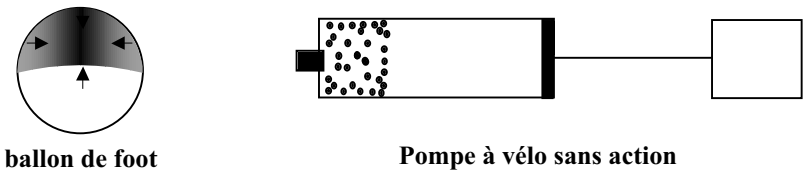


Figure 6.12 : Représentation d'Ellen utilisant l'idée *l'air se répartit à un endroit*

Ces deux représentations donnent l'impression qu'il y a de l'air d'un côté et du vide de l'autre, un peu comme si l'air formait un tout dont on avait enlevé une partie. Il est difficile de savoir, à partir de ces dessins, les propriétés qu'Ellen attribue effectivement à l'air. Cependant, il apparaît clairement, qu'elle n'utilise pas le fait que l'air est expansible et qu'il occupe tout l'espace dont il dispose.

2.1.1.4. Répartition

Concernant la répartition des gaz, Ellen considère que le gaz se répartit partout dans la plupart des situations (noté *gaz se répartit partout* (mot air, chauffe ballon S, pompe avec action S, quatre ballons S), le S signifie que la question demande de réaliser un Schéma. Cependant, comme le montre la figure 6.12, Ellen utilise l'idée le *gaz se répartit à un endroit* dans deux situations. En effet, elle représente l'air en haut pour le ballon de foot et au niveau du bouchon pour la pompe à vélo.

Les réponses d'Ellen utilisant l'idée *le gaz se répartit partout* sont partagées par 50 % des élèves de sa classe. L'idée *le gaz se répartit à un endroit* est retrouvée chez 50 % des élèves pour la situation du ballon et pour seulement 26 % des élèves dans la situation de la pompe à vélo sans action.

2.1.1.5. Action du gaz

Dans les questions utilisant la pompe à vélo, Ellen répond que l'air n'agit que dans une seule direction, sans donner d'explication. Comme nous l'avons déjà signalé, il semblerait qu'Ellen ait copié cette réponse sur Anne. C'est pourquoi, nous reconstruisons l'idée *~action air dans une direction* (pompe sans action, pompe avec action)), le ~ signifie qu'il y a un doute sur la reconstruction de l'idée.

Ellen interprète deux situations en utilisant la variation de la quantité. En effet, elle écrit pour la situation du ballon de foot que l'on dégonfle que "***l'air va partir*** *donc laisser la place à la parroi pour se détendre un peu*" et pour celle du ballon de baudruche posé sur une bouteille en fer que l'on chauffe que"*la bouteille va* ***se remplir d'air****, après que la bouteille soit pleine c'est le ballon qui va commencé à se remplir donc à se gonfler*". Dans ces deux situations, la variation de la quantité d'air est la cause des phénomènes observés. Cependant, Ellen ne parle pas explicitement de l'action de l'air, c'est pourquoi nous reconstruisons l'idée *effet air,* qui signifie que l'air joue un rôle mais sans préciser pas lequel. Finalement, nous notons la relation causale par *gaz part = variation quantité→effet air* (ballon foot, chauffe ballon).

En revanche, Ellen donne une description de l'action du gaz dans la situation des quatre ballons, elle écrit : "*je pense que les ballons vont retrouver leur formes normales car*

ce qui est à l'intérieur du ballon ***va pousser les parois*** *vers l'extérieur*". Cette explication montre que le gaz pousse sur les parois, ce que nous modélisons par l'idée *action gaz* (quatre ballons).

2.1.1.6. Lourdeur

On trouve que, pour Ellen, "*l'air est quelque* ***chose de léger***". Nous considérons que quelque chose de léger a une masse, c'est pourquoi, nous reconstruisons l'idée *~ le gaz pèse* (mot air), le ~ signifie qu'il y a un doute sur la reconstruction de l'idée. Dans la situation d'un verre rempli de boisson gazeuse, Ellen donne l'explication suivante : le verre pèsera la même chose "*car le gaz qui s'est dégagé* ***n'est pas assez lourd*** *pour faire la différence avant après*". À partir de cette explication, il est difficile de savoir si Ellen pense que le gaz pèse ou non. Cette phrase n'est pas assez claire pour que nous reconstruisions une idée. En résumé, Ellen utilise l'idée *~le gaz pèse* (mot air).

2.1.2. Entretien avant

Introduction

Cette partie présente les idées reconstruites à partir des productions (verbales et non-verbales) d'Ellen au cours de l'entretien que nous avons filmé. L'ensemble des questions de l'entretien, les abréviations des différentes situations, ainsi que la transcription de cet entretien passé avant l'enseignement sont disponibles dans l'annexe analyse fine avant/après. La transcription inclut, les unités de sens sur lesquelles nous nous sommes basées pour reconstruire les idées d'Ellen. Nous proposons de présenter l'essentiel de ses idées regroupées selon nos catégories.

2.1.2.1. Sens des mots

Dans tout l'entretien, Ellen n'utilise jamais le mot pression. De plus, le mot gaz n'est jamais employé avec le même sens que le mot air. Elle utilise le mot gaz pour désigner le gaz de ville et les bulles contenues dans une boisson gazeuse.

2.1.2.2. Aspect particulaire

Durant la totalité de l'entretien, aucune des explications d'Ellen n'utilise d'éléments microscopiques. En effet, ses explications n'emploient jamais les mots molécule, particule ou

encore atome. Ceci semble montrer que, pour Ellen, l'interprétation de phénomènes mettant en jeu des gaz ne nécessite pas d'utiliser des éléments microscopiques.

2.1.2.3. Présence

Ellen considère qu'il y a du gaz partout : dans la salle où s'est déroulé l'entretien, dans les trois bouteilles contenant des gaz différents, ainsi que dans la seringue bouchée. Nous notons cette idée *le gaz est présent partout* (trois bouteilles (répartition), seringue pousse, chauffage). Il est intéressant de remarquer la différence entre ces trois situations. En effet, la première met en jeu du gaz "libre", la seconde du gaz enfermé dans une enceinte (sans action) et la dernière du gaz enfermé dans une enceinte que l'on comprime. Malgré la variété de ces situations, Ellen ne réutilise pas cette idée pour attraper de l'air avec une bouteille (tableau 6.26).

Temps	Question et transcription	Idées
36:11	**6.1.0** Peux-tu attraper de l'air avec une bouteille ? explique comment ?	
	E : (7s) oui mais j'sais pas comment/ j'sais pas comment en mettre, j'allais dire l'air mais j'sais pas comment D : mais à ton avis là (*D montre la bouteille*) euh non/ oui peut-être E : oui p't'être D : oui mais là est-ce que tu pourrais le faire (?) (D montre la bouteille) E : ah non	

Tableau 6.26 : Extrait de la situation demandant d'attraper de l'air avec une bouteille

Cet extrait montre qu'Ellen ne sait pas comment faire pour attraper de l'air avec une bouteille. À travers cette explication, nous supposons qu'Ellen considère qu'il n'y a pas d'air dans la bouteille, sinon il suffirait de la boucher pour en attraper. Elle ne dit pas explicitement qu'il n'y a pas d'air, c'est pourquoi nous ne reconstruisons pas d'idée. Nous garderons à l'esprit, qu'elle ne sait pas comment attraper de l'air avec une bouteille et que, dans cette situation, elle ne semble pas utiliser l'idée *l'air est présent partout*.

Dans la question suivante demandant d'attraper de l'air avec un sac plastique, Ellen souffle dans le sac plastique et précise qu'on sait qu'il y a de l'air, car on voit que ça gonfle (idée *air présent partout* (attraper (sac plastique)).

2.1.2.4. Répartition

Il semble que pour Ellen les gaz se répartissent partout. L'extrait ci-dessous montre comment nous avons reconstruit cette idée dans deux situations différentes.

Temps	Question et transcription	Idées
38:37	**7.1-** Selon toi, comment sont répartis l'hélium, le gaz de ville et l'air dans les bouteilles ?	
	D : comment est réparti l'hélium dans la bouteille (?) A : (4s) de **partout** D : d'accord/ l'air (?) A : **pareils [ils sont tous pareils** D : [et le gaz de ville (?)	*gaz se répartit partout*
41:54	**9.0**- On place un appareil de chauffage devant l'interviewé et on l'allume. **9.1**- A ton avis comment l'air est-il réparti dans la pièce?	
	E (4s) ben **y'en a de partout** D : d'accord (1s) et l'air qu'est chaud par exemple (?) E :(3s) D : non pas d'idée	*air se répartit partout*

Tableau 6.27 : Reconstruction de l'idée *le gaz se répartit partout* dans deux situations

Dans cet extrait, les parties en gras sont les unités de sens sur lesquelles nous nous appuyons pour reconstruire cette idée, nous la notons *gaz se répartit partout* (trois bouteilles (répartition), chauffage). Il est intéressant de voir qu'Ellen considère que des gaz différents (l'air, l'hélium, et le gaz de ville) se répartissent de la même façon.

2.1.2.6. Action du gaz

On trouve que le gaz agit sur toutes les parois du récipient qui le contient, dans des situations mettant en jeu des actions très différentes sur les gaz : lorsque l'on chauffe un récipient en fer avec un film plastique dessus (action de chauffer), ou que l'on pousse sur le piston d'une seringue bouchée (action de compresser) ou encore qu'il y a trois ballons remplis de gaz différents (pas d'action). L'utilisation de l'idée *le gaz agit partout* dans des situations privilégiant certaines directions (le haut lorsque l'on chauffe et la direction du mouvement du piston dans le cas de la seringue), témoigne d'une forte stabilité à travers les situations. En résumé, cette idée avec son domaine d'application est notée *gaz agit partout* (chauffe récipient en fer, refroidit récipient fer, seringue pousse, trois ballons (R agit)).

Pour décrire l'action du gaz, Ellen semble utiliser deux raisonnements différents :

1. Pour les situations utilisant des systèmes fermés, qui ne peuvent échanger de la matière avec l'extérieur, il semble que l'effet du gaz sur les parois est attribué au fait que le gaz ne puisse pas sortir lorsqu'on exerce une action dessus. Pour la seringue fermée, on ne peut pas pousser le piston jusqu'au bout "*parc'que y'a de l'air et* ***ça l'empêche de sortir***" et pour le récipient en fer avec du film plastique dessus, elle explique qu'il se gonfle parce qu'il "*y a du gaz qui* ***veut sortir ça l'empêche***". Cette idée dans les différentes situations est notée par la relation de causalité *empêche gaz de sortir → effet gaz* (chauffe récipient fer, seringue pousse, seringue pousse/lâche). Nous parlons de l'effet du gaz, et non pas de son action, car Ellen ne donne aucune description sur la façon dont le gaz agit.

2. Pour les situations utilisant des systèmes ouverts, capables d'échanger de la matière avec l'extérieur, Ellen utilise l'idée que la variation de la quantité est la cause de l'action du gaz. De plus, à chaque fois, cette variation est provoquée par du gaz qui rentre dans l'enceinte ouverte. Pour le flambie, elle explique qu'il "*y a un trou donc ça fait* ***arriver de l'air***" (cause) et "*qui va* ***pousser***" le flambie (effet) et lorsque l'on chauffe l'intérieur d'un sac plastique "***il se remplit*** *[...] d'air et de gaz j'pense*" (cause) et "***ça l'pousse***" (effet). Ce que nous modélisons par la relation de causalité *air rentre = variation quantité → action air* (flambie, montgolfière).

2.1.2.6. Lourdeur

Concernant la masse des gaz, Ellen considère que les bulles d'une boisson gazeuse ne pèsent pas (tableau 6.28).

Temps	Question et transcription	Idées
29:24	**3.1**- Lorsqu'il n'y aura plus de bulles dans la boisson, à ton avis, le verre pèsera : plus lourd, moins lourd ou pareil explique ?	
	E : j'pense pareil [j'pense **ça doit pas être assez lourd** D : [d'accord D : et alors pourquoi pareil E : (5s) ben **j'pense pas qu::e le gaz qui parte** ça ça/ **y'est un poids** qui/ **qu'ça va différencier** D : et le gaz qui part est-ce que tu penses que le gaz il pèse quelque chose ou pas E : **non j'pense pas** D : tu penses pas quoi qu'il pèse quelque chose E : **j'pense pas qu'il pèse quelque chose** D : d'accord (1s) donc si il part ça va rien changer E : **ouais**	*gaz ne pèse pas* *gaz ne pèse pas*

Tableau 6.28 : Extrait de l'entretien concernant le poids des bulles d'un verre de boisson gazeuse.

Cet extrait montre que le gaz ne pèse pas dans cette situation (noté *gaz pèse pas* (verre coca)). Il est difficile de se faire une opinion sur cette idée, car le fait que les bulles montent favorise ce type d'explication. De plus, cette idée n'est pas réutilisée dans d'autres situations.

Conclusion

À travers cet entretien, il apparaît qu'Ellen n'utilise jamais les molécules dans ses explications. De plus, pour elle, le gaz est présent partout, il se répartit partout et agit partout dans plusieurs situations. Pour décrire, le fait que les gaz agissent, elle utilise deux raisonnements distincts. Le premier concerne les récipients fermés et utilise le fait qu'on empêche le gaz de sortir comme la cause de l'effet observé (gonfle le film plastique, repousse le piston de la seringue). Le second utilise la variation de la quantité de gaz comme étant la cause de l'action du gaz, il apparaît uniquement dans des situations avec des enceintes ouvertes à l'intérieur desquelles le gaz peut rentrer à l'intérieur (flambie, sac plastique). Pour finir, Ellen considère que le gaz ne pèse pas dans une seule situation utilisant un verre de boisson gazeuse.

2.1.3. Comparaison du questionnaire et de l'entretien

Après avoir reconstruit les idées d'Ellen à partir du questionnaire et de l'entretien, nous proposons de faire une comparaison entre ces idées, afin d'étudier leur stabillité à travers ces

deux types de données (rappelons que l'entretien et le questionnaire ont été proposés à une semaine d'intervalle).

2.1.3.1. Sens des mots et aspect particulaire

Compte tenu du peu d'idées reconstruites dans les catégories "sens des mots" et "aspect particulaire", nous avons les regroupons dans le tableau 6.29.

	Questionnaire avant	Entretien avant
Sens des mots		
Aspect particulaire	*~air est composé de molécules* (pompe S)	

Tableau 6.29 : Comparaison des idées sur le sens des mots et l'aspect particulaire entre l'entretien et le questionnaire (le S dans signifie que la situation demande de faire un Schéma).

Ce tableau montre que, pour l'ensemble des situations du questionnaire et de l'entretien, Ellen n'utilise jamais dans ses explications le mot pression et ne donne jamais la même signification aux mots gaz et air. Ceci témoigne qu'elle ne fait pas encore usage de ce vocabulaire pour décrire les situations que nous lui avons proposées. La catégorie "aspect particulaire" montre qu'Ellen ne fait appel qu'une seule fois au niveau microscopique dans ses explications. De plus, il semble qu'elle ait copié cette réponse sur Anne. La faible utilisation des molécules dans ses réponses montre qu'elle n'éprouve pas le besoin de les utiliser pour rendre compte du fonctionnement des gaz.

2.1.3.2. Présence

Le tableau 6.30 montre la stabilité dans le questionnaire et l'entretien de l'idée *le gaz est présent partout.* De plus, cette idée semble particulièrement stable à travers les situations, puisqu'elle est utilisée dans des situations mettant en jeu des objets et des événements très différents.

	Questionnaire avant	Entretien avant
Présence	*gaz est présent partout* (quatre ballons S, mot air, ballon de foot S, chauffe récipient fer S)	*gaz est présent partout* (trois bouteilles (répartition), seringue pousse, chauffage)

Tableau 6.30 : Comparaison des idées d'Ellen sur la présence du gaz dans l'entretien et le questionnaire.

2.1.3.3. Répartition

Le tableau 6.31 montre la stabilité de l'idée le *gaz se répartit partout* dans plusieurs situations du questionnaire et de l'entretien. Il montre aussi que l'idée *l'air se répartit à un endroit* possède un tout petit domaine d'application et n'est utilisée que dans le questionnaire.

	Questionnaire avant	Entretien avant
Répartition	*gaz se répartit partout* (quatre ballons S, mot air, ballon de foot S1, chauffe un ballon S) *molécules se répartissent partout* (pompe avec action S) *air se répartit à un endroit* (ballon foot S2) *molécules se répartissent à un endroit* (pompe sans action S)	*gaz se répartit partout* (trois bouteilles (répartition), chauffage)

Tableau 6.31 : Comparaison des idées d'Ellen sur la répartition du gaz dans l'entretien et le questionnaire (le S signifie que la situation demande de faire un Schéma. S1 et S2 correspondent respectivement au schéma du ballon avant qu'on le dégonfle et une fois dégonflé).

2.1.3.4. Action du gaz

Le tableau 6.32 montre que les idées *l'air agit dans une direction* et *~l'air agit partout* ne sont pas utilisées dans le questionnaire et l'entretien. De plus, la première idée semble se limiter à la situation utilisant une pompe à vélo, alors que la seconde semble posséder un domaine d'application beaucoup plus large, mettant en jeu des situations avec des traits de surface très différents. Ceci nous amène à penser que l'idée *l'air agit partout* est plus stable à travers les situations que *~l'air agit dans une direction*. Nous rappelons que le ~ signifie qu'il y a eu un doute lors de la reconstruction de cette idée. Dans ce cas précis, il semble qu'Ellen ait copié la réponse d'Anne.

	Questionnaire avant	Entretien avant
Action	*~air agit dans une direction* (pompe sans action, pompe avec action) *variation quantité→effet air* (ballon de foot, chauffe le ballon) *action gaz* (quatre ballons)	*air agit partout* (seringue pousse, chauffe récipient en fer, refroidit récipient fer, trois ballons) *air rentre = variation quantité→action air* (flambie, montgolfière) *empêche le gaz de sortir→effet gaz* (chauffe récipient fer, seringue pousse, seringue pousse/lâche)

Tableau 6.32 : Comparaison des idées d'Ellen sur l'action du gaz dans l'entretien et le questionnaire.

L'utilisation de la variation de la quantité de gaz comme étant la cause de l'action du gaz semble stable. En effet, on la trouve aussi bien dans le questionnaire que dans l'entretien et de surcroît dans des situations très différentes. De plus, l'idée *l'action du gaz* est retrouvée dans trois situations très différentes (quatre ballons, flambie, montgolfière). Nous remarquons, qu'Ellen utilise l'idée *empêche le gaz de sortir → effet gaz* dans des situations différentes. Cependant, elle est utilisée seulement pour l'entretien, c'est pourquoi, nous considérons qu'elle est stable à travers plusieurs situations de l'entretien.

2.1.3.5. Lourdeur

Le tableau 6.33 montre qu'Ellen utilise deux idées contradictoires à des moments différents et dans des situations différentes. Comme ces deux idées ne sont pas utilisées dans d'autres situations, il nous est impossible de conclure à une quelconque stabilité.

	Questionnaire avant	Entretien avant
Lourdeur	*~air pèse* (mot air)	*gaz ne pèse pas* (verre coca)

Tableau 6.33 : Comparaison des idées d'Ellen sur le caractère pesant du gaz dans l'entretien et le questionnaire.

2.2 Quelles sont les idées d'Ellen après l'enseignement sur les gaz ?

Cette partie propose d'étudier les idées d'Ellen à la suite de la séquence d'enseignement sur les gaz. L'entretien d'Ellen nous a été volé et elle a refusé de le repasser cinq mois plus tard, c'est pourquoi, notre analyse des idées d'Ellen après l'enseignement se limite au questionnaire.

2.2.1. Questionnaire après uniquement

Avant de présenter les idées d'Ellen en fonction de nos catégories, nous tenons à signaler qu'elle a répondu à toutes les questions.

2.2.1.1. Sens des mots

Lorsque l'on demande de faire quatre phrases avec le mot air, Ellen écrit notamment que "*l'air est un gaz*". Cependant, on ne retrouve dans aucune de ses explications le mot gaz utilisé avec le même sens que le mot air.

Elle utilise le mot pression dans la phrase : "*on a appuyer sur le piston donc il y aura une **plus grande pression** donc l'air va agir sur les parois plus fort".* À travers cette explication, il semble qu'Ellen utilise le mot pression comme si c'était une grandeur. En effet, elle ne dit pas que l'air exerce une pression ou que la pression de l'air sur les parois est plus forte. De plus, elle sépare la pression (qui est plus grande) de l'air (qui agit plus fort sur les parois). Nous notons cette idée *pression = grandeur* (pompe avec action (R agit)).

2.2.1.2. Aspect particulaire

À la suite de l'enseignement, il apparaît qu'Ellen utilise les molécules dans la plupart des situations du questionnaire. Concrètement, on les retrouve dans 5 des Explications d'Ellen et dans 3 des Schémas où elle représente du gaz. Cette idée avec son domaine d'application est notée *l'air est composé de molécules* (mot air, ballon de foot S + E, pompe sans action S, pompe avec action S +E, quatre ballons S + E, ping-pong 1). Le domaine d'application de cette idée montre qu'Ellen l'utilise à travers deux registres sémiotiques différents (langue naturelle et schéma) et dans des situations ayant des traits de surfaces très éloignés. Ceci témoigne de sa grande stabilité dans plusieurs situations et d'une certaine "maîtrise" dans son utilisation. En plus de son utilisation "massive", Ellen fait appel à certains comportements des molécules dans ses explications. Elle écrit : "*les molécules vont **pousser** sur les parois*", "*les molécules vont être comprimés, mais elle auront toujours des **chocs** sur toutes les parois*" et "*les molécules d'air vont **taper** contre les parois*". Pour reconstruire les idées à partir de ces explications, nous distinguons les unités de sens qui décrivent une action des molécules (utilisation du verbe pousser) de celles qui font appel aux chocs (utilisation des mots avoir des chocs et du verbe taper). À partir de ces trois explications, nous reconstruisons les idées :

action des molécules (ping-pong 1) et *chocs des molécules* (pompe avec action, quatre ballons).

2.2.1.3. Présence

À la suite de l'enseignement, il apparaît qu'Ellen utilise l'idée l'*air est présent partout* dans plusieurs situations (mot air (2fois), ballon foot S, pompe sans action S + E, pompe à vélo avec action S, quatre ballons). Nous remarquons que, pour la situation de la pompe à vélo sans action sur le piston, Ellen utilise cette idée dans deux registres sémiotiques différents (Explication en langue naturelle et dessin sur un Schéma). De plus, dans les quatre phrases à écrire avec le mot air, elle écrit que "*l'air est présent partout*" et que "*l'air occupe tout le volume d'un récipient*". Ces deux phrases utilisent l'idée que l'air est présent partout. De plus, la deuxième semble spécifier que l'air est présent partout dans un récipient.

En résumé, l'idée l'*air est présent partout* est utilisée dans plusieurs situations assez différentes et on trouve, pour la situation de la pompe à vélo qu'elle est mobilisée dans deux registres sémiotiques.

2.2.1.4. Répartition

Pour Ellen, le gaz se répartit partout dans la plupart des situations. Elle donne une description de cette répartition aussi bien au niveau macroscopique (idée *gaz se répartit partout* (mot air, ballon de foot S1, pompe sans action)) que microscopique (idée *molécules se répartissent partout* (ballon de foot S2 + E, pompe S, quatre ballons S)), le S1 représente le ballon de foot avant qu'on le dégonfle et S2 le ballon une fois dégonflé (figure 6.13).

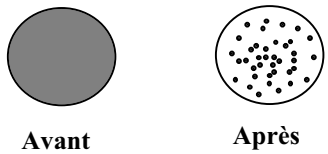


Figure 6.13 : Représentation de l'air dans le ballon de foot que l'on dégonfle

La figure 6.13 montre que le gaz est représenté dans la même situation au niveau macroscopique (ensemble continu) et microscopique (trait discontinu). De plus, l'idée *molécules se répartissent partout* est utilisée dans deux registres sémiotiques dans la situation du ballon de football (Schéma + Explications).

Anne utilise aussi l'idée *le gaz se répartit à un endroit* dans la situation du ballon de baudruche posé sur une bouteille en fer que l'on chauffe (figure 6.14).

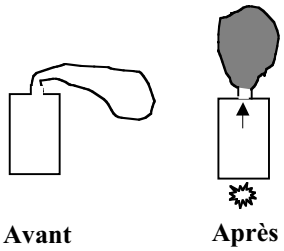


Figure 6.14 : Représentation du gaz par Ellen dans la situation "chauffe ballon"

Dans cette figure, le gaz est réparti en haut du ballon. Ce dessin semble illustrer la conception "l'air chaud monte" déjà identifiée par Séré (1985). Cependant, il n'y a rien dans les explications d'Ellen, qui permette de le supposer. C'est pourquoi, nous nous contentons de reconstruire l'idée *le gaz se répartit plus à un endroit* (chauffe ballon S).

En résumé, pour Ellen, le gaz se répartit partout dans plusieurs situations et cette idée est utilisée aussi bien au niveau macroscopique que microscopique. De plus, Ellen l'utilise dans des registres sémiotiques différents. Cependant, elle utilise aussi l'idée *le gaz se répartit à un endroit* dans la situation d'un ballon de baudruche posé sur une bouteille en fer que l'on chauffe.

2.2.1.5. Action du gaz

Ellen donne une description de l'action du gaz dans un grand nombre de situations. De plus, mis à part une situation où l'air pousse seulement dans la direction du piston (noté *action air dans une direction* (pompe pousse/lâche)), l'action du gaz se fait dans toutes les directions : "*Il* (l'air) *agit sur* ***toutes les parois***"(pompe sans action), "*elles* (les molécules) *auront toujours des chocs* ***sur toutes les parois***"(pompe avec action), "*car les molécules vont pousser* ***sur les parois***"(ping-pong 1).

En plus d'utiliser le fait que le gaz agit partout, Ellen utilise des idées différentes pour décrire l'action du gaz :

- *Action air partout* (pompe sans action, pompe avec action), concerne les explications donnant une description de l'action de l'air, par exemple que l'air agit sur les parois.

- *Action des molécules partout* (ping-pong 1), concerne les explications décrivant l'action des molécules sans utiliser explicitement les chocs, comme par exemple "*les molécules vont **pousser** sur les parois*".

- *Chocs des molécules partout* (pompe avec action, quatre ballons), concerne les explications utilisant explicitement les chocs des molécules, comme par exemple les molécules tapent sur les parois.

Dans une question utilisant la pompe à vélo, Ellen met en relation la pression avec l'action du gaz, elle écrit : "*car on a appuyer sur le piston donc il y aura **une plus grande pression** donc **l'air va agir** sur les parois **plus fort***". Dans cette explication, il semble que la pression soit reliée à l'action du gaz sur toutes les parois par la relation causale de type "plus-plus", c'est-à-dire que plus la pression est importante et plus l'action du gaz sera forte. Cette relation est notée : *variation pression* +→+ *action air partout* (pompe (Ragit)), le +→+ signifie relation causale de type "plus-plus".

Ellen utilise la variation de quantité pour expliquer deux situations :

1. pour la situation du ballon de foot, elle explique que "*lorsque l'on dégonfle le ballon, **il devient moins dur car on enlève de l'air***"

2. pour le ballon de baudruche posé sur une bouteille en fer que l'on chauffe, elle explique que "*lorsque qu'on chauffe la bouteille, il y a du gaz qui s'échappe et donc si on met un ballon dessus, **le gaz va aller dans le ballon** et **il va se gonfler***".

À partir de ces deux phrases, nous reconstruisons l'idée *variation quantité → effet gaz* (ballon foot, chauffe ballon). Nous parlons d'effet du gaz, car dans ces explications, il semble que le gaz joue un rôle, mais Ellen ne précise pas lequel.

2.2.1.6. Lourdeur

Dans les deux situations visant à tester si le gaz pèse (ballon de foot, verre coca), Ellen donne les explications suivantes : "*le ballon sera **plus léger** quand on l'aura dégonfler **car** on aura **enlevé de l'air***" et le verre pèsera la même chose, "*car **l'air est plus léger** par rapport au liquide on ne s'en apercevra pas*". Dans ces deux explications, Ellen ne dit pas explicitement

que le gaz a une masse. Cependant, il est possible de le déduire. En effet, la première explication, donne une relation causale : le ballon sera plus léger (effet) car on a enlevé de l'air (cause), qui semble montrer que le gaz a une masse. La seconde explication précise que le gaz est plus léger, ce qui signifie qu'il a une masse.

En résumé, Ellen utilise l'idée *air pèse* dans deux situations (ballon de foot, coca). Cependant, cette idée n'est pas reconstruite directement à partir des ses explications, c'est pourquoi, nous la notons *~air pèse* (ballon de foot, coca).

Pour conclure sur les idées d'Ellen après l'enseignement, nous proposons d'en faire un rapide résumé. Tout d'abord, Ellen fait appel aux molécules dans presque toute les situations du questionnaire. De plus, elle les utilise aussi bien dans les questions demandant des explications que celles demandant de représenter l'air sur un schéma. Pour Ellen, le gaz est présent partout et se répartit partout pour un certain nombre de situations. De plus, dans les explications d'Ellen on trouve que le gaz agit sur toutes les parois du récipient qui le contient et que ce fait est décrit par l'action du gaz, l'action des molécules, ainsi que les chocs des molécules. Elle interpréte dans des proportions beaucoup plus faible, l'effet du gaz à l'aide de la variation de quantité et elle relie dans une situation la variation de la pression avec l'action du gaz. Concernant, le caractère pesant des gaz, Ellen leur attribue une masse, mais elle ne l'énonce jamais explicitement. En résumé, à la suite de l'enseignement sur les gaz, Ellen utilise un grand nombre d'idées traitant des différents aspects des gaz.

Comparaison des réponses d'Ellen avec le reste de la classe

Lorsque l'on compare les réponses d'Ellen avec les autres élèves de sa classe (voir l'annexe analyse fine avant/après), il apparaît que la plupart des élèves répondent comme Ellen dans toutes les situations, sauf dans celle qui met en jeu le ballon de baudruche posé sur une bouteille en fer que l'on chauffe. Dans cette situation, Ellen fait partie des 27 % d'élèves qui représentent le gaz à un endroit. À l'exception de cette question, il apparaît que les réponses d'Ellen correspondent à celle de la majorité des élèves de sa classe.

2.3 Comment évoluent les idées d'Ellen à la suite de l'enseignement sur les gaz ?

Cette partie propose d'analyser l'évolution des idées d'Ellen à la suite de la séquence d'enseignement sur les gaz. Pour cela, nous effectuons une comparaison des idées reconstruites avant l'enseignement (à partir du questionnaire et de l'entretien) avec celles reconstruites après (à partir uniquement du questionnaire). Cette comparaison est faite pour chacune de nos catégories.

2.3.1. Sens des mots

Le tableau 6.34 montre qu'après l'enseignement, Ellen utilise le mot pression comme une grandeur physique. Cependant, cette idée est utilisée uniquement pour décrire l'air dans une pompe à vélo, ce qui montre que son utilisation reste très contextualisée à cette situation, qui est d'ailleurs très proche des situations, utilisant une seringue, mises en oeuvre durant la séquence d'enseignement.présente les idées d'Ellen concernant le sens des mots.

	Avant	**Après**
Sens des mots questionnaire		pression = grandeur physique (pompe avec action (R agit))
Sens des mots Entretien		

Tableau 6.34 : Évolution des idées d'Ellen sur le sens des mots.

2. Aspect particulaire

Le tableau 6.35 montre qu'à la suite de la séquence d'enseignement, l'idée l'*air est composé de molécules* a considérablement augmenté son domaine d'application, en passant de 2 à 9 situations. De plus, cette idée est parfois utilisée dans deux registres sémiotiques différents (Schéma + Explication). Ce tableau montre également que l'idée *air est composé de molécules* est stable dans le temps pour les situations utilisant la pompe à vélo et qu'elle est stable à travers plusieurs situations. Ainsi outre l'extension du domaine d'application de cette idée après l'enseignement, Ellen emploie de nouvelles idées sur le comportement des molécules. Elle utilise notamment les chocs des molécules pour expliquer deux situations ayant des traits de surfaces assez différents.

	Avant	Après
Aspect particulaire Questionnaire	*-l'air est composé de molécules* (pompe sans action S, pompe avec action S)	*-l'air est composé de molécules* (mot air, ballon de foot S + E, pompe sans action S, pompe avec action S +E, quatre ballons S + E, ping-pong 1) *-chocs des molécules* (pompe avec action, quatre ballons) *-action des molécules* (ping-pong 1)
Aspect particulaire Entretien		

Tableau 6.35 : Évolution des idées d'Ellen sur l'aspect particulaire des gaz.

2.3.3. Présence du gaz

Le tableau 6.36 montre qu'avant l'enseignement l'idée *le gaz est présent partout* est très stable dans différentes situations du questionnaire et de l'entretien. À la suite de l'enseignement, il apparaît que cette idée est très stable dans le temps pour plusieurs situations (mot air, ballon de foot S, quatre ballons S, chauffe récipient en fer S). De plus, son domaine d'application s'est élargi en incorporant les situations utilisant la pompe à vélo. Ce tableau montre aussi que cette idée est stable dans la situation de la pompe à vélo, puisqu'elle est exprimée à travers une Explication et un Schéma d'Ellen.

	Avant	Après
Présence Questionnaire	*gaz est présent partout* (mot air, ballon de foot S, quatre ballons S, chauffe récipient en fer S)	*gaz est présent partout* (mot air (2 fois), ballon foot S, quatre ballons S, pompe sans action S + E, pompe à avec action S)
Présence Entretien	*gaz est présent partout* (trois bouteilles (répartition), seringue pousse, chauffage)	

Tableau 6.36: Évolution des idées d'Ellen sur la présence des mots.

2.3.4. Répartition du gaz

Le tableau 6.37 montre qu'avant l'enseignement, l'idée le *gaz se répartit partout* est stable pour plusieurs situations ayant des traits de surface très différents de l'entretien et du questionnaire. En revanche, l'idée le *gaz se répartit à un endroit* semble être très

contextualisée à deux situations (pompe sans action S et ballon foot S2). À la suite de l'enseignement, l'idée le *gaz se répartit partout* (somme des idées utilisant utilisant le gaz et les molécules) augmente son domaine d'application de 5 à 8 situations, alors que le *gaz se répartit à un endroit* (somme des idées utilisant l'air et les molécules) diminue de 2 à 1 situations. Après l'enseignement, cette idée est utilisée uniquement dans la situation "chauffe ballon".

	Avant	**Après**
Répartition Questionnaire	-*gaz se répartit partout* (mot air, ballon de foot S1, chauffe un ballon S, quatre ballons S) -*molécules se répartissent partout* (pompe avec action S) -*molécules se répartissent à un endroit* (pompe sans action S) -*air se répartit à un endroit* (ballon foot S2)	-*gaz se répartit partout* (mot air, ballon de foot S1, pompe sans action) -*molécules se répartissent partout* (pompe avec action S, pompe sans action S, ballon de foot S2 + E, quatre ballons S) -*gaz se répartit à un endroit* (chauffe ballon S)
Répartition Entretien	-*gaz se répartit partout* (trois bouteilles (répartition), chauffage)	

Tableau 6.37 : Évolution des idées d'Ellen sur la répartition des gaz.

2.3.5. Action du gaz

Le tableau 6.38 montre qu'avant l'enseignement, Ellen utilise la variation de la quantité de gaz pour expliquer des situations du questionnaire et de l'entretien. De plus, dans le questionnaire *l'air agit dans une direction* alors que dans l'entretien *l'air agit partout*. En comparant le domaine d'application de ces deux idées, il apparaît qu'elles sont utilisées dans des situations très proches (pompe avec action et seringue pousse). L'idée *l'air agit dans une direction* a été reconstruite avec un doute, car il est possible qu'Ellen ait copié sur Anne, ce qui pourrait expliquer cette utilisation d'idées contradictoires pour des situations proches.

À la suite de l'enseignement, il apparaît qu'Ellen utilise l'idée *le gaz agit dans toutes les directions* pour 6 situations. De plus, elle utilise plusieurs idées pour décrire l'action du gaz faisant appel à la pression, l'action gaz, l'action des molécules et les chocs des molécules. Cependant, elle utilise encore l'idée *le gaz agit dans une direction*, mais uniquement dans une

situation. Il est intéressant de remarquer que l'idée *variation quantité → effet gaz,* n'évolue pas à la suite de l'enseignement et qu'elle est retrouvée exactement dans les mêmes situations.

	Avant	**Après**
Action gaz Questionnaire	*-variation quantité→effet air* (ballon de foot, chauffe ballon) *-action gaz* (quatre ballons) *~ action air dans une direction* (pompe sans action, pompe avec action)	*-variation quantité → effet gaz* (ballon foot, chauffe ballon) *-chocs des molécules partout*(pompe avec action, quatre ballons) *-action des molécules partout* (ping-pong 1) *-action air partout* (pompe sans action, pompe avec action) *-pression +→+ action air partout* (pompe (Ragit)) *-action air dans une direction* (pompe pousse/lâche)
Action gaz Entretien	*-air rentre = variation quantité→action air* (flambie, montgolfière) *-air agit partout* (chauffe récipient en fer, refroidit récipient fer, seringue pousse, trois ballons) *-empêche le gaz de sortir→effet gaz* (chauffe récipient fer, seringue pousse, seringue pousse/lâche)	

Tableau 6.38 : Évolution des idées d'Ellen sur l'action du gaz.

2.3.6. Lourdeur

Le tableau 6.39 montre qu'avant l'enseignement Ellen utilise l'idée *~l'air pèse*(mot air) pour le questionnaire et *le gaz ne pèse pas*(verre coca) pour l'entretien. À la suite de l'enseignement, elle utilise uniquement l'idée *l'air pèse* et cela même dans la situation du verre de coca, où elle utilisait initialement son contraire.

	Avant	Après
Lourdeur Questionnaire	*~air pèse* (mot air)	*~air pèse* (ballon de foot, verre coca)
Lourdeur Entretien	*gaz pèse pas* (verre coca)	

Tableau 6.39 : Évolution des idées d'Ellen sur le caractère pesant des gaz.

Conclusion sur l'évolution des idées d'Anne et Ellen avant et après l'enseignement

Dans ce chapitre, notre analyse s'est basée sur la comparaison des idées, reconstruites à partir des questionnaires et des entretiens proposés avant et après l'enseignement. Notre méthodologie d'analyse s'est déroulée en plusieurs étapes : (1) reconstruction des idées à partir des données récoltées avant l'enseignement, (2) reconstruction des idées à partir des données récoltées après l'enseignement, (3) comparaison de l'ensemble des idées. En guise de conclusion, nous donnons l'essentiel des idées d'Anne et d'Ellen.

Concernant le sens du mot pression, avant l'enseignement Anne utilise ce mot comme l'action de pousser dans quelques situations de l'entretien et du questionnaire. À la suite de l'enseignement, cette idée est utilisée dans un grand nombre de situations du questionnaire et de l'entretien, ayant des traits de surfaces très différents. Ainsi son évolution correspond à un élargissement important de son domaine d'application. En revanche, Ellen n'utilise pas le mot pression avant l'enseignement et à la suite de la séquence, elle l'emploie avec la signification d'une grandeur mesurable pour une seule situation du questionnaire, ayant des traits de surface très proches des situations rencontrées durant l'enseignement (rappelons qu'après enseignement nous n'avons que le questionnaire d'Ellen).

Concernant l'aspect particulaire des gaz, Anne utilise les molécules, avant l'enseignement, essentiellement pour représenter les gaz dans le questionnaire. Après l'enseignement, elle les utilise dans un très grand nombre de situations du questionnaire et de l'entretien. De plus, elle leur attribue certaines propriétés (chocs, vitesse …). Ellen n'utilise quasiment pas les molécules avant l'enseignement. En revanche, après l'enseignement, elle les

utilise dans un grand nombre de situations, et emploie les chocs des molécules pour interpréter deux situations ayant des traits de surfaces très différents.

Concernant la présence des gaz, le domaine d'application de l'idée d'Anne *le gaz est présent partout* augmente considérablement après l'enseignement. En revanche, les idées concernant l'apparition d'un gaz dans une enceinte fermée sont utilisées exactement dans les mêmes situations après l'enseignement. Anne utilise l'idée que le gaz traverse les parois dans les situations utilisant une seringue avant l'enseignement. À la suite de l'enseignement, Anne emploie toujours cette idée, mais dans une situation où l'on chauffe de l'air dans une enceinte fermée. Pour Ellen, le domaine d'application de l'idée *le gaz est présent partout* augmente de manière importante suite à l'enseignement, c'est la seule idée qu'elle utilise concernant la présence du gaz.

Concernant la répartition des gaz, avant l'enseignement, Anne considère qu'ils se répartissent partout dans la plupart des situations du questionnaire et de l'entretien. Cependant, l'idée *le gaz se répartit à un endroit* est mis en oeuvre pour quelques situations, particulièrement pour celles avec de l'hélium. Après l'enseignement, le domaine d'application de l'idée *gaz se répartit partout* diminue et celui de l'idée *le gaz se répartit à un endroit* augmente. On constate notamment l'apparition de l'idée *les molécules sont concentrées sur les parois* pour un nombre important de situations du questionnaire et de l'entretien. Avant l'enseignement, Ellen utilise l'idée *le gaz se répartit partout* dans plusieurs situations de l'entretien et du questionnaire et l'idée *le gaz se répartit à un endroit* pour deux situations différentes du questionnaire. À la suite de l'enseignement, le domaine d'application de l'idée *le gaz se répartit partout* augmente de manière importante, alors que l'idée *le gaz se répartit à un endroit* est utilisée dans une nouvelle situation.

Concernant l'action des gaz, Anne considère qu'ils agissent seulement dans une direction pour quelques situations, ayant des traits de surfaces proches, du questionnaire et de l'entretien. De plus, elle utilise la variation de la quantité de gaz pour interpréter l'action du gaz dans un grand nombre de situations différentes du questionnaire et de l'entretien. Pour deux situations de l'entretien, elle compare l'action du gaz, qui se trouve à l'intérieur de l'enceinte avec celle du gaz qui est à l'extérieur. À la suite de l'enseignement, Anne utilise l'idée que le gaz agit dans toutes les directions pour une seule situation du questionnaire. De

plus, elle interprète l'action du gaz par le fait que les molécules se concentrent à l'endroit de l'action dans un grand nombre de situations du questionnaire et de l'entretien, ayant des traits de surfaces très différents. De plus, l'utilisation de la variation de la quantité pour rendre compte de l'action du gaz est beaucoup moins employée (seulement dans quelques situations de l'entretien et du questionnaire). Toujours après l'enseignement, elle emploie dans les mêmes situations la comparaison de l'action de l'air à l'intérieur et à l'extérieur d'une enceinte. Quant à Ellen, avant l'enseignement, elle utilise la variation de la quantité pour interpréter l'action du gaz dans plusieurs situations du questionnaire et de l'entretien, ayant des traits de surfaces très différents. De plus, l'air agit dans toutes les directions, pour un nombre important de situations de l'entretien. À la suite de l'enseignement, Ellen utilise la variation de la quantité dans les mêmes situations du questionnaire. De plus, elle emploie pour quelques situations de nouvelles idées, qui utilisent la pression et les chocs des molécules pour décrire l'action du gaz.

Anne et Ellen ne sont pas très claires dans l'utilisation des idées sur la masse des gaz avant l'enseignement, mais aussi après.

En conclusion, Anne a beaucoup plus d'idées sur les gaz qu'Ellen avant l'enseignement. Pour ces deux élèves, la plupart de leurs idées initiales correctes du point de vue de la physique augmentent leur domaine d'application. De plus, Anne construit de nouvelles idées sur le comportement des molécules (chocs, vitesses) qui sont correctes du point de vue de la physique, qu'elle utilise de manière incorrecte pour interpréter l'action du gaz, notamment à travers les molécules qui se concentrent sur les parois. Elle continue d'utiliser, pour les mêmes situations, certaines idées sur la présence des gaz, qui sont erronées du point de vue de la physique. À la suite de l'enseignement, Ellen développe l'idée que le gaz chaud se répartit en haut, ce qui est incorrect du point de vue de la physique. Cependant, Ellen construit aussi plusieurs idées adaptées (du point de vue de la physique) pour décrire l'action du gaz. Elle établit notamment le lien entre la variation de la pression et l'action du gaz. De plus, elle utilise les chocs des molécules pour décrire l'action du gaz que l'on comprime dans une pompe à vélo, ainsi que pour différents gaz contenus dans des ballons de baudruche. Ces deux situations ont des traits de surface très différents, ce qui témoigne d'une certaine stabilité de cette idée.

Maintenant que nous avons vu l'évolution des idées d'Anne et Ellen à la suite de la séquence d'enseignement, nous proposons de suivre l'évolution de leurs idées pendant l'enseignement en essayant d'identifier les éléments responsables de cette évolution.

Chapitre 7. Analyse des idées de deux élèves pendant l'enseignement en classe

Introduction

Ce chapitre présente l'analyse fine des idées d'Anne et Ellen durant la séquence d'enseignement sur les gaz. Nous rappelons que les cours et les TP de cette séquence se sont déroulés dans l'ordre suivant (figure 7.1) :

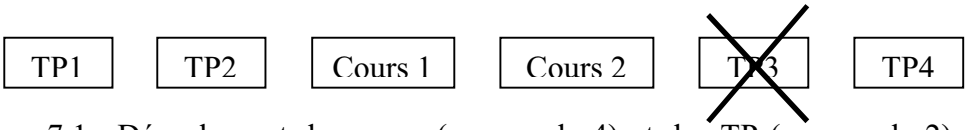


Figure 7.1 : Déroulement des cours (groupe de 4) et des TP (groupe de 2) de la séquence d'enseignement sur les gaz (les vidéos du TP3 ont été volées).

Durant les cours, les élèves travaillent par groupes de quatre (Anne, Ellen, Marie et Adèle) et pendant les TP ils travaillent par groupes de deux (Anne et Ellen). Le déroulement des questions en fonction des cours et des TP est donné dans l'annexe de l'analyse fine pendant (voir la partie : le déroulement de la séquence d'enseignement sur les gaz pour Anne et Ellen). Nous donnons dans l'annexe de l'analyse a priori les feuilles d'énoncés de la séquence d'enseignement sur les gaz, ainsi qu'un tableau donnant l'ensemble des abréviations des questions (voir le tableau des abréviations de la séquence dans l'analyse a priori), que nous utiliserons dans la suite de ce texte.

Nous avons structuré cette analyse en fonction de différents aspects des gaz. Pour chacun de ces aspects, nous présentons l'essentiel des idées des deux élèves, leurs éventuelles évolutions, ainsi que les éléments du milieu responsables de cette évolution. Comme nous allons le montrer durant toute cette analyse, l'utilisation de chacune des idées d'Anne et Ellen dépend des situations proposées par la séquence d'enseignement et chaque question va conditionner les d'idées employées.

1. Sens des mots

Nous présentons, tout d'abord, le sens qu'Anne et Ellen donnent aux mots air et gaz, puis au mot pression. Nous présentons, ensuite, les différentes significations du mot macroscopique lors de la description des gaz et les difficultés qu'elles peuvent engendrer.

1.1. Sens des mots gaz et air

Comme nous l'avons montré lors de l'analyse lexicologique des mots mis en jeu par le savoir à enseigner (voir chapitre 4), en physique le mot gaz est un hyperonyme du mot air, il désigne un nombre plus important "d'objets" que le mot air. En physique, ce mot peut être utilisée à la place du mot air. Cependant, cette utilisation ne fonctionne pas dans le quotidien. En effet, les phrases : "je respire de l'air" et "je respire du gaz" ont une signification très différente dans le quotidien. Cette différence entre le quotidien et la physique est particulièrement intéressante pour suivre la construction par les élèves du sens de ces deux mots au cours de l'enseignement. C'est pourquoi, nous avons cherché à repérer les différents moments où Anne et Ellen utilisent de manière équivalente les mots gaz et air (cette idée est notée *gaz = air*).

Durant la totalité de la séquence d'enseignement, Ellen n'utilise jamais explicitement le mot gaz pour désigner de l'air. En revanche, Anne utilise explicitement ces deux mots avec le même sens dans la Question b de l'Activité 2 de la Partie 2 (noté P2A2Qb). Cette question a été traitée en groupes de quatre pendant le cours 1. Les élèves ont élaboré une réponse à cette question qui met en jeu une seringue et un pressiomètre (tableau 7.1).

Temps	Question traitée par le groupe	Descriptions des actions des élèves	Transcriptions	Idées
Partie 2 Activité 2 Expérience et question b. Pousser doucement le piston et observer sur le pressiomètre comment varie la pression de l'air dans la seringue. Attention à ne jamais dépasser la pression maximale indiquée sur le pressiomètre. b. À votre avis, comment évolue l'action du gaz sur les parois lorsque sa pression augmente ?				
00:14:02:22	P2A2Qb	Groupe discute de la question b A lit l'énoncé de la question	[...] (A lit l'énoncé de la question b) A à E : l'action du gaz c'est quoi l'action du gaz (?) M à A : c'est l'action de l'air le **le gaz c'est de l'air** [...]	M *air = gaz*

Tableau 7.3 : Discussion pour répondre à la question b (A représente Anne, E représente Ellen et les lettres M et Ad désignent les autres élèves du groupe que nous nommerons Marie et Adèle).

L'énoncé de l'expérience (marquée d'un point) utilise le terme "pression de l'air" alors que celui de la question b emploie le terme "action du gaz". Dans ces énoncés, le mot gaz est utilisé comme hyperonyme puisqu'a priori la seconde question est plus générale. En effet, l'air est contextualisé à la seringue et dans la question b on généralise à l'action du gaz. Cet extrait montre qu'Anne s'interroge sur l'action du gaz, et que Marie lui explique que le gaz c'est de l'air (idée *M air = gaz* (P2A2Qb)). Cet extrait ne permet pas de savoir si Anne s'interroge sur la signification du mot "action" ou sur celle du mot "gaz". La suite de cette question montre qu'Anne s'interroge sur le mot action (tableau 7.2).

Partie 2 Activité 2 Question b. À votre avis, comment évolue **l'action du gaz** sur les parois lorsque sa pression augmente ?				
00:14:26:04	Act 2 Qb	le groupe parle de l'action du gaz sur les parois A, Ad & M lisent E écrit	M : <u>à votre avis comment évolue l'action du gaz lorsque sa pression augmente (?)</u> (M lit l'énoncé) / ben il/ elle est plus forte (1s) A : c'est quoi **l'action du de l'air** (?) M : l'action de l'air sur les parois quand tu pousses [...]	A *gaz = air*

Tableau 7.2 : Anne s'interroge sur le mot action (la phrase soulignée, signifie que M lit l'énoncé en même temps qu'elle parle)

Cet extrait montre, qu'en plus de s'interroger sur le terme "action", Anne reprend le terme employé par Marie en parlant de "l'action de l'air", alors que l'énoncé utilise "l'action du gaz". Pour nous, Anne utilise le mot air en lui donnant le même sens que le mot gaz, cette idée est notée *air = gaz.* Dans la suite de cette question, Anne va réutiliser cette idée lors d'une explication qu'elle donne à Ad (tableau 7.3).

Temps	Question	Descriptions	Transcriptions	Idées
00:15:22:14	P2A2Qb	Groupe discute	E : t'as écrit quoi alors M : alors si (2s) si la pression augmente/ et bien l'air se compense voilà (3s) A : l'action du gaz se (3s) t'écris l'air ou l'action du gaz (?) (2s) M : l'air (2s) Ad : c'est l'action du gaz <u>là</u> (Ad montre l'énoncé) A **: ouais mais c'est la même chose**/ l'air ou - [...]	A *gaz = air*
00:16:22:01		Groupe rédige la réponse		

Tableau 7.3 : Anne réutilise l'idée *gaz = air*

Le tableau 7.3 montre qu'Anne demande à Marie s'il faut rédiger la réponse en utilisant le mot air ou le mot gaz. Il est intéressant de voir que ces deux mots semblent être différents

pour Adèle. En effet, elle s'appuie sur l'énoncé et propose d'employer l'action du gaz dans sa réponse. Anne lui explique que ces deux mots sont identiques (idée *gaz = air*).

Anne utilise le mot gaz avec le même sens que le mot air dans une nouvelle situation, ce qui correspond à ce que nous avons défini dans notre cadre théorique comme l'établissement d'un nouveau lien entre une idée et une situation (voir partie l'évolution des idées).

Nous pensons que ce nouveau lien provient de deux facteurs :

1. L'énoncé des questions, qui permet aux élèves d'employer les mots air et gaz avec la même signification.

2. L'élève Marie, qui explique à Anne que ces deux mots sont identiques.

Cette idée n'est utilisée que pour la question b, nous la notons avec son domaine d'application *gaz = air* (P2A2Qb). Les éléments du milieu qui paraissent jouer un rôle dans cette évolution sont la feuille de TP et l'élève du groupe.

Dans les questions suivantes de la séquence d'enseignement, Anne emploie le mot gaz pour décrire les situations mettant en jeu de l'air dans une enceinte. Cependant, ce mot est à chaque fois présent dans l'énoncé des questions, et la vidéo ne nous permet pas de savoir, si Anne utilise le mot gaz avec le même sens que le mot air ou si elle reprend simplement les termes de l'énoncé.

1.2. Le(s) sens du mot pression.

Le mot pression peut être employé avec plusieurs significations (voir chapitre 4) :

- soit la pression correspond à l'action de pousser ou de presser quelque chose.

- soit la pression correspond à une grandeur physique mesurable, qui peut varier et qui sert à rendre compte de l'état du gaz.

Chacune de ces significations correspond à une idée, que nous notons respectivement *pression = action de pousser* et *pression = grandeur.* Nous utilisons des critères lexicaux pour reconstruire ces deux idées. Si le mot pression est utilisé avec les verbes "**exercer**" ou

"**mettre**", alors il correspond à l'idée *pression = action de pousser*, par exemple, dans les phrases du type "l'air exerce une pression sur la seringue" ou "le gaz a mis une pression sur la paroi du ballon ". Si le mot pression est employé avec le verbe "**être**" ou des verbes décrivant la variation comme "**augmenter**" ou "**diminuer**", alors il correspond à l'idée *pression = grandeur.* Par exemple dans les phrases du type "la pression de l'air augmente", "la pression est de 1023 pascals".

1.2.1. Sens du mot pression lorsqu'il n'est pas employé dans l'énoncé

Dans les questions de l'activité 1 de la première partie de la séquence d'enseignement (P1A1Q1,2&3), il est demandé de décrire ce qui change pour l'air : (1) lorsqu'il est enfermé dans une seringue et (2) lorsque l'on appuie sur le piston en le gardant enfermer dans la seringue. Le mot pression n'apparaît pas dans l'énoncé des questions de cette activité, ce qui laisse les élèves libres de l'employer comme bon leur semble. L'extrait suivant illustre une discussion entre Anne et Ellen à propos de la pression (tableau 7.4).

Question **2.** En gardant l'air enfermé, appuyer sur le piston (situation 2). Faire un nouveau schéma.				
Temps	**Questions**	**Description**	**Transcription**	**Idées**
00:10:39:04	P1A1Q2	A & E discutent de l'énoncé A manip	A : fais voir (*A tire le piston et ça fait poc*) (rire) tu tires/ tu fermes et t'appuies (1s) (***A pousse sur le piston***) et y'a **une pression qui s'exerce** en fait/ **la pression de l'air qui s'exerce** E : ouais	**A** *pression = action de pousser*

Tableau 7.4 : Extrait d'une discussion entre Anne et Ellen à propos de la pression

Cet extrait montre qu'Anne utilise le mot pression avec le verbe exercer, ce qui correspond à la signification de pousser. Cette idée est notée *pression = action de pousser*. Dans la suite de cette question, Ellen réutilise ce mot pour décrire l'action de l'air (tableau 7.5).

Temps	Questions	Description	Transcription	Idées
00:12:11:00	P1A1Q2	A & E discutent A manip E rédige	(***A pousse sur le piston en bouchant la seringue***) A : **on ne peut pas de toutes façons aller jusqu'au bout** E : (2s) j'sais pas	
00:12:15:00		A & E discutent A rédige	E : (1s) tu mets qu'il y a une **pression** (?) (3s) A : non parc'qu'après/ ah au niveau macroscopique et microscopique/ attends (4s) E : mais c'est quoi la différence/ entre les deux A: attends j'vais marquer	E *pression = action de pousser*

Tableau 7.5 : Extrait d'une discussion entre Anne et Ellen à propos de la pression

Cet extrait montre qu'Ellen utilise le mot pression pour décrire l'action de l'air qui pousse sur le piston. De plus, le fait qu'elle parle d'une pression et non pas de la pression qui augmente, nous conforte dans le fait qu'elle utilise ce mot avec la signification de pousser (idée *pression = action de pousser*). Dans la question suivante, Anne et Ellen utiliseront encore cette idée (tableau 7.6).

<table>
<tr><td colspan="5">Partie 1 Activité 1 Question 3.
En se plaçant au niveau microscopique, indiquez par écrit ce qui a changé pour l'air et ce qui n'a pas changé, entre les deux situations.
Faire de même en se plaçant au niveau macroscopique.</td></tr>
<tr><td>00:16:09:15</td><td></td><td>A & E parlent de ce qui n'a pas changé
A manip</td><td>A : c'est tout hein c'qui a changé/ c'qui a pas changé c'est qu'on laisse le doigt
E : c'qui a pas changé/ attends c'qui a changé/ on a pas une pression
A (1s, manipule la seringue)
E : on peut pas dire qu'il y a une pression
A : si (1s) c'qui a changé
E : c'qui a changé
A : oui/ y'a une pression/ oui/ quand on appuie/ on peut dire quand on appuie y'a une pression/ qui fait qu'on peut pas arriver jusqu'au bout en fait/
E : ouais
A : on peut dire qu'on sent une pression de l'air
E : qu'on sent une pression</td><td>A pression = action de pousser

A & E pression = action de pousser</td></tr>
<tr><td>00:16:39:08</td><td></td><td>A & E rédigent leur réponse</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="5">Réponses écrites :
A : “3. au niveau macroscopique, ce qui a changé : on a appuyé sur le piston et quand on appuye sur le piston, on remarque une pression de l’air”
E:
“3) Au niveau macroscopique, ce qui a changé :
-on a appuyé sur le piston
-on sent une pression de l’air”</td></tr>
</table>

Tableau 7.6 : Extrait d'une discussion entre Anne et Ellen à propos de la pression

Comme le montre ce tableau, Anne et Ellen utilisent encore le mot pression avec la signification de ce qui pousse et cela aussi bien durant la discussion que dans leurs réponses écrites.

Elles utilisent cette signification dans l'ensemble des extraits que nous venons de présenter, ce qui correspond à une augmentation du domaine d'application de cette idée (notée *pression = action de pousser* (P1A1Q2, P1A1Q3)). Les énoncés des questions 2 et 3

n'emploient pas le mot pression et n'utilisent pas non plus de pressiomètre, ce qui minimise leur influence sur le sens donné à ce mot par les deux élèves. Nous pensons que l'élément du milieu responsable de l'augmentation du domaine d'application est essentiellement l'expérience mettant en jeu la compression de l'air dans une seringue.

1.2.2. Sens du mot pression lorsqu'il est employé dans l'énoncé

Nous proposons d'étudier maintenant la manière dont les deux élèves utilisent le mot pression lorsqu'il est employé dans l'énoncé et qu'un pressiomètre est mis en jeu, ce qui correspond pratiquement à toutes les questions allant de l'activité 2 de la partie 2, jusqu'à la fin de la séquence (voir la séquence d'enseignement dans l'annexe de l'analyse a priori). Ces questions ont été traitées par Anne et Ellen de la fin du TP2 jusqu'à la fin de la séquence (voir transcriptions des TP2, cours 1, cours 2, TP4 dans l'annexe de l'analyse fine pendant). Nous présentons l'utilisation du mot pression dans l'activité 2 de la partie 2, puis son utilisation dans la suite de la séquence.

Utilisation des idées sur le sens du mot pression dans l'activité 2

Dans les trois premières questions de l'activité 2 (les expériences 1 et 2, ainsi que la question a), Anne et Ellen utilisent le mot pression comme une grandeur. En effet, elles écrivent notamment que la pression est de 1028 hpa (idée *pression = grandeur*). Ces questions utilisent un pressiomètre et demandent de mesurer la pression de l'air. En revanche, la question suivante demande de décrire comment évolue l'action du gaz lorsque la pression augmente. Le tableau 7.7 présente une discussion entre les quatre élèves (A, E, Ma et Ad) pour répondre cette question (b) se déroulant pendant le cours 1.

Temps	Questions	Description	Transcription	Idées
Partie 2 Activité 2 Question b. Pousser doucement le piston et observer sur le pressiomètre comment varie la pression de l'air dans la seringue À votre avis, comment évolue l'action du gaz sur les parois lorsque sa pression augmente ?				
00:14:52:02	P2A2Qb	Groupe parle de la réponse à rédiger	A : si **elle (l'air)** se compresse et (2s) M : il me manque les mots là et exerce voilà et A : et quoi (?) M : et **exerce une pression sur les parois**/ une pression plus forte A : si elle se <u>presse</u> (*geste métaphorique*) **<u>elle exerce une pression partout</u>** (*geste métaphorique*) hein [...] Ad : ça y'est on en a sauté en route/ (rires) l'action du gaz sur les parois (2s) se compense lorsque sa pression augmente/ c'est ça (?) A : ouais **elle <u>exerce une forte pression</u>** [...]	M *pression = action de pousser* A *pression = action de pousser* A *pression = action de pousser*
Réponses écrites : A "b. Lorsque sa **pression augmente**, **l'air** se compense et **exerce une forte pression** sur les parois de la seringue " E "b) Si la **pression augmente**, l'air se compense et **exerce une plus forte pression** sur les parois de la seringue"				

Tableau 7.7 : Utilisations de l'idée *pression = action de pousser* et *pression = grandeur.*

À travers les réponses écrites d'Anne et Ellen, nous pouvons voir que le mot pression est utilisé avec deux significations différentes :

1. Celle d'une grandeur, à travers la phrase la "*pression augmente*".
2. Celle de l'action de pousser, à travers la phrase "*l'air* [...] *exerce une forte pression*".

En regardant de plus près l'énoncé de la question, il apparaît qu'il demande de décrire l'action du gaz, lorsque la pression augmente. C'est pourquoi, nous pensons que la première signification du mot pression (comme une grandeur) provient directement de l'énoncé, alors que la seconde (comme l'action de pousser) est utilisée par les élèves pour décrire l'action de l'air dans la seringue. Ceci semble être confirmé par la discussion entre Anne et Marie, qui

utilisent le mot pression pour décrire l'action du gaz qui pousse sur les parois. Les élèves utilisent cette signification pour décrire l'action de l'air.

Utilisation de l'idée *pression = grandeur* dans le reste de la séquence

Dans la suite de la séquence, les énoncés portent sur la mesure de la pression et non plus sur les éventuelles actions du gaz. On trouve par exemple : "Noter l'indication du pressiomètre", " En utilisant le paragraphe 1 du modèle, indiquer la valeur de la pression que l'on mesurerait si on pouvait relier le pressiomètre comme indiqué sur le schéma de la question a." ou bien "Indiquer par une phrase comment évolue la pression d'un gaz dans une enceinte lorsque son volume augmente". Pour l'ensemble de ces questions, nous trouvons qu'Anne et Ellen utilisent le mot pression avec la signification d'une grandeur (idée *pression = grandeur*), on trouve entre autres les réponses écrites suivantes :

-pour Anne : "*la mesure obtenue avec le pressiomètre est de 1028*", "*d'après le modèle macroscopique des gaz, on en conclut que la valeur de la pression est de 1028 car la pression est la même ds le récipient fermé*", "*lorsque sa température augmente, la pression d'air augmente*".

-pour Ellen : "*la pression de l'air est de 1028*", "*c'est la même chose que si on avait mit le pressiomètre au bout car la pression est la même partout ds le récipient*", "*lorsque la température augmente sur la seringue sa pression augmente*".

Pour conclure, il apparaît que les significations du mot pression évoluent pour Anne et Ellen au cours de la séquence d'enseignement sur les gaz. Au début, elles utilisent spontanément le mot pression pour décrire l'action du gaz (idée *pression = action de pousser*). En effet, l'énoncé des questions de l'activité 1 de la partie 1, demande simplement de décrire l'air dans une seringue.

Au début de l'activité 2 de la partie 2, Anne et Ellen donnent au mot pression la signification d'une grandeur dans les questions demandant de mesurer la pression. Dans la question b de l'activité 2 (partie 2), qui demande de décrire l'action du gaz en fonction de la mesure de la pression, Anne et Ellen utilisent dans leurs réponses les deux significations (idées *pression = action de pousser* et *pression = grandeur*).

Dans la suite de la séquence, elles utiliseront la pression uniquement comme une grandeur (*pression = grandeur*), précisons que toutes les questions mettent en jeu un pressiomètre et demandent de mesurer la pression.

Pour résumer, voici les deux idées concernant la signification du mot pression, avec entre parenthèse leurs domaines d'applications :
- idée 1 *pression = action de pousser* (P1A1Q2&3, P2A2Qb),
- idée 2 *pression = grandeur* (P2A2Ex1&2,Qa&c, P2A2Qb, P2.2A1Qa, P2.2A2Qb,c&d).

L'évolution de ces deux idées est décrite par une augmentation du domaine d'application de l'idée 1 sur les premières situations de la séquence et une augmentation de l'utilisation de l'idée 2 sur le reste des situations de la séquence. Anne et Ellen utilisent ces deux idées de manière distinctes et il n'y a pas de contradiction entre ces idées. En effet, l'idée 1 (*pression = action de pousser*) est utilisée pour décrire l'action du gaz et l'idée 2 (*pression = grandeur*) est utilisée pour décrire la mesure de la pression. L'utilisation de l'idée dépend de l'énoncé des questions et de la présence du pressiomètre.

1.3. Le(s) sens donné au mot macroscopique

L'analyse lexicologique du mot macroscopique à partir du dictionnaire de la langue française (voir chapitre 4), montre qu'il est possible de définir ce mot :
- soit par ce que l'on voit : "Se dit des objets, des phénomènes qui peuvent êtres observés à l'œil nu (opposé à microscopique)", ce que nous modélisons par l'idée *macro = voir*
- soit par ce que l'on perçoit : "Se dit des objets, des phénomènes à l'échelle humaine, tels qu'ils peuvent être perçus directement par les sens, par opposition aux phénomènes à l'échelle moléculaire et atomique", noté par l'idée *macro = perceptible par les sens*.

Durant la séquence d'enseignement le mot macroscopique apparaît la plupart du temps lorsque les élèves lisent à voix haute les énoncés des questions, ce qui ne nous donne aucune information particulière sur sa signification. Cependant, au cours du TP1, Anne et Ellen débattent de la signification de ce mot. Comme le montre le graphique "TP1 utilisation du mot macroscopique" (voir dans l'annexe de l'analyse fine pendant, partie graphique Kronos), ce mot est utilisé au début du TP par l'enseignante lors de la présentation de la séquence d'enseignement, puis essentiellement durant l'activité 1 par Anne et Ellen ainsi que lors de la

correction de cette activité. Nous présentons tout d'abord la définition qu'Anne donne à ce mot, puis nous illustrons les difficultés que cela peut engendrer pour les deux élèves. Nous finirons en illustrant son évolution au cours de cette activité. Voici donc un extrait de la discussion entre Anne et Ellen suite à la lecture de l'énoncé de la question P1A1Q3 (tableau 7.8).

Énoncé de l'activité 1 :
1. Enfermer de l'air dans la seringue (situation 1). Faire un schéma.

2. En gardant l'air enfermé, appuyer sur le piston (situation 2). Faire un nouveau schéma.

3. En se plaçant au niveau microscopique, indiquer par écrit ce qui a changé pour l'air et ce qui n'a pas changé, entre les deux situations.
Faire de même en se plaçant au niveau macroscopique.

Temps	Question	Description	Transcriptions	Idées
00:13:08:01	P1A1Q3 macro	A lit la consigne à voix haute		
00:13:14:18		A & E discutent	A : au niveau macroscopique- E : c'est quoi (?) A : **macroscopique/ c'est euh tu vois/** micro c'est petit et macro/ c'est/ en gros	**A** *macro = voir*

Tableau 7.8: Définition du mot macroscopique question P1A1Q3.

Cet extrait montre que, pour Anne, le niveau macroscopique correspond à ce que l'on voit (idée *macro = voir*). Cette définition est suffisante du point de la physique pour décrire les solides ou les liquides, cependant elle pose un certain nombre de difficultés concernant les gaz, puisque la plupart ne sont pas visibles à l'œil nu. L'extrait suivant illustre une difficulté liée à l'utilisation de cette définition (tableau 7.9).

Temps	Question	Description	Transcriptions	Idées
00:13:20:01	P1A1Q3 macro	A & E discutent de ce qui change au niveau macro A manipule la seringue	A : <u>donc indiquez/ ce qui a changé (?)</u> (A lit la consigne) une **petite quantité d'air** (1s) **ben non sans ça on y voit pas** ça E : ben non A : attends **macroscopique qu'est-ce qu'on voit/** ben qu::e/ que le piston il est plus près (1s) du bout que l'autre/ ben j'sais pas moi j'te dis/ dis-moi ce qui va pas (?) E : (1s) mais moi j'sais pas (A lit la consigne)	A *macro= voir & Q n'est pas macro* A *macro = voir*
00:13:51:00	P1A1Q3 micro	A & E discutent de ce qui change au niveau macro A manipule la seringue	A : microscopique/ y'a déjà la/ y'a y'a moins lon- **une plus petite quantité d'air** E : ouais A : t'es d'accord E : ouais j'pense A : (5s) c'est ça qu'a changé/	A *Q dim au niveau micro*

Tableau 7.9 : Difficultés engendrées par la définition "le niveau macroscopique c'est ce que l'on voit"

Le tableau 7.9 montre qu'Anne se limite à la définition : "le macroscopique c'est ce qu'on voit" et donc qu'une quantité d'air ne peut pas être macroscopique, ce qui semble être approuvé par Ellen. De manière tout à fait cohérente avec cette idée, Anne considère que la quantité d'air dépend donc du niveau microscopique. Lorsque l'on appuie sur le piston d'une seringue fermée, il est possible de sentir de manière indirecte l'action de l'air. Pour rendre compte de ce phénomène macroscopique, il faut passer par le toucher, ce qui nécessite d'utiliser une définition différente. Dans la suite de cette question, l'enseignante va définir le niveau macroscopique (tableau 7.10).

Temps	Question	Description	Transcriptions	Idées
00:14:05:06	P1A1Q3 micro	A & E parlent de ce qui change au niveau micro		
00:14:30:01		Prof définit à la classe le niveau macroscopique	Prof à la classe : pour Th. et compagnie le **niveau macroscopique c'est le niveau qui est à notre échelle/ c'est des choses que vous pouvez percevoir directement/ voir sentir toucher/** d'accord/ le niveau microscopique/ c'est le niveau qui concerne les molécules [...]	Prof *macro = perceptible avec les sens*

Tableau 7.10 : Définition du niveau macroscopique par l'enseignante

Cet extrait montre la définition donnée par l'enseignante du mot macroscopique, comme ce qui est perceptible par les sens (toucher, vue ...), ce que nous notons par l'idée *macro = perceptible par les sens*. Il est intéressant de voir que cette idée est ensuite réutilisée par Ellen (tableau 7.11).

Temps	Question	Description	Transcriptions	Idées
00:16:09:15	P1A1Q3 macro	A & E parlent de ce qui n'a pas changé au niveau macro A manip	A : c'est tout hein c'qui a changé/ c'qui a pas changé c'est qu'on laisse le doigt E : c'qui a pas changé/ attends c'qui a changé/ on a pas une pression (1s, A manipule la seringue) E : on peut pas dire qu'il y a une pression A : si (1s) c'qui a changé E : c'qui a changé A : oui/ **y'a une pression/ oui/ quand on appuie/ on peut dire quand on appuie y'a une pression/ qui fait qu'on peut pas arriver jusqu'au bout en fait/** E : ouais A : **on peut dire qu'on sent une pression de l'air** E **:** qu'on sent une pression	A *macro = perceptible par nos sens* A *macro = perceptible par nos sens*
00:16:39:08		A & E rédigent leur réponse		
Réponses écrites : **A** : "3. au niveau **macroscopique**, ce qui a changé : on a appuyé sur le piston et quand on appuye sur le piston, on remarque **une pression de l'air**" **E** : "3) Au niveau **macroscopique**, ce qui a changé : -on a appuyé sur le piston -on sent une **pression de l'air**"				

Tableau 7.11 : Illustration de l'idée le niveau macroscopique c'est qui est perceptible par nos sens

Dans le début du tableau 7.11, Anne s'en tient à ce qui est visible : pour elle, ce qui n'a pas changé entre les deux situations, c'est que le doigt bouche toujours la seringue. La suite de la discussion entre Anne et Ellen ainsi que leurs réponses écrites montrent qu'elles utilisent l'idée *macro = perceptible par les sens*, en s'appuyant particulièrement sur le toucher. Nous pensons que cette évolution au niveau du sens est vraisemblablement due à la définition que le professeur vient de donner juste avant, ainsi qu'au fait qu'Anne manipule la seringue et qu'elle a pu sentir indirectement par le toucher l'action de l'air. En revanche, comme le montre la discussion (tableau 7.12), la quantité reste au niveau microscopique pour Anne.

Temps	Question	Description	Transcriptions	Idées
00:17:32:13	P1A1Q3 macro	A & E discutent de ce qui ne change pas au niveau macro	A : et après ce qui a changé E : non ce qui ne change pas A : ouais qui n'a pas changé (3s) E : **il y a toujours la même quantité d'air** A : non **ça c'est microscopique** E : ah ben oui A : c'est le doigt (2s) que le le que le [la seringue E : [que le bout et toujours bouché A : voilà	A *Q = micro*

Tableau 7.12: Extrait d'une discussion entre Anne et Ellen.

Le tableau 7.12 montre que, pour Anne, la quantité dépend toujours du niveau microscopique. Nous pensons qu'Anne réutilise l'idée *macro = perceptible avec les sens*, et compte tenu du fait que la quantité n'est pas perceptible directement avec les sens, elle considère qu'elle relève du niveau microscopique. L'extrait suivant présente la discussion entre l'enseignante et les élèves durant la correction de la question 3 (tableau 7.13).

Temps	Question	Description	Transcriptions	Idées
00:55:18:01	Correction A1 Q3 macro Ce qui ne change pas	Prof discute la correction avec la classe	Prof : alors on est encore au niveau **macroscopique** A à E : **ben c'qu'on voit** Prof à un élève : autre proposition Patrick Autre : **la quantité d'air reste la même** Prof à la classe : la quantité d'air reste la même A : ouais Prof à la classe : est-ce que vous êtes d'accord (?) A à Prof : oui Prof à la classe : ça on le voit pas A à E : c'est au niveau macroscopique hein (?) E : hm	A *macro = voir* A *Qid niveau macro*

Tableau 7.13 : Extrait de la correction de la question 3

Ce dernier extrait montre qu'Anne définit toujours le niveau macroscopique par ce que l'on voit, mais elle semble accepter que la quantité d'air relève de ce niveau. Suite à ce premier TP, il ne nous est pas possible de déterminer si l'une de ces idées (*macro = voir* ou *macro = perceptible par les sens*) s'est stabilisée pour Anne et pour Ellen. Cependant, il apparaît que durant l'activité 1, elles ont utilisé la seconde idée, ce qui témoigne d'un élargissement du sens donné au mot macroscopique. De plus, il semble que cet élargissement soit lié à l'intervention de l'enseignante ainsi qu'à la manipulation de la seringue par Anne et Ellen. Ces éléments du milieu sont notés : Professeur, Expérience (seringue).

Généralisation de cette difficulté

En regardant les vidéos de classes des autres dyades d'élèves que nous avons filmées durant la récolte de nos données, nous avons observé que toutes les dyades (6 élèves en tout) donnent la même définition : macroscopique c'est ce que l'on voit. Durant l'activité 1, seulement une dyade d'élèves se limite strictement à cette définition en rédigeant une réponse ne faisant appel qu'à la vue : "*l'air a moins de place*". Les autres dyades (4 élèves) élargissent cette définition à ce qui est perceptible et donnent des réponses faisant appel au toucher, comme par exemple : "*la pression de l'air exerce une résistance*". Cette difficulté est retrouvée chez les élèves que nous avons filmés durant le second recueil de données utilisant

la nouvelle séquence d'enseignement, que nous avons améliorée (voir chapitre 3 partie recueil des données), ce qui témoigne qu'elle n'est pas simplement spécifique à deux élèves, mais semble concerner au moins seize élèves.

2 Aspects particulaires

Introduction

Avant de décrire les idées d'Anne et Ellen à propos de l'aspect particulaire, nous rappelons quelques précisions à propos du déroulement de la séquence d'enseignement. La première partie de cette séquence vise à introduire le modèle microscopique, afin de pouvoir décrire un gaz à l'échelle microscopique. La seconde partie a pour but de faire établir aux élèves des relations entre les grandeurs macroscopiques pour rendre compte de l'état d'un gaz, ainsi que de donner une interprétation microscopique de ces grandeurs. Nous présentons les idées d'Anne et Ellen à propos des aspects particulaires des gaz durant la première partie de la séquence, puis durant la seconde.

2.1 Les idées d'Anne et Ellen pendant la première partie de la séquence d'enseignement

Introduction

Avant de reconstruire les idées d'Anne et Ellen à propos de l'aspect particulaire des gaz, nous avons d'abord repéré tous les moments où les mots faisant référence au niveau microscopique étaient prononcés. Concrètement, nous avons regardé chaque fois où les mots molécule, particule ou atome, ont été prononcés. Le graphique Kronos intitulé "TP1 utilisation du mot molécule" (voir dans l'annexe de l'analyse fine pendant, partie graphique Kronos) donne l'utilisation de ces différents mots (regroupés dans la catégorie Molécule/particule). Ce mot est prononcé au début par l'enseignante durant la présentation du TP, ainsi qu'une autre fois pour expliquer le niveau microscopique durant la question 3 de l'activité 1 (voir tableau 7.10 partie difficultés liées au sens du mot macroscopique). Le graphique Kronos montre qu'Anne et Ellen utilisent le mot molécule à partir de l'activité 2 jusqu'à la fin de ce TP. Ce travail préalable a permis de cibler les moments à analyser pour

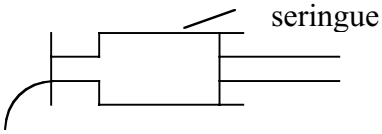
comprendre le comportement qu'Anne et Ellen attribuent aux molécules. Nous présentons maintenant, l'analyse de ces différents moments.

Analyse des idées d'Anne et Ellen sur les molécules

Durant l'activité 1 (question 1 et 2), il est demandé de représenter l'air contenu dans une seringue. Dans ces questions, les élèves ont le choix de représenter l'air au niveau macroscopique ou microscopique. Le tableau 7.14 montre les réponses d'Anne et Ellen à ces deux questions.

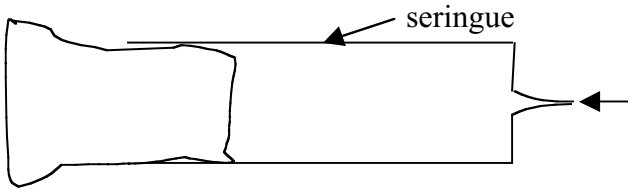
Réponses écrites à la question 1 :

A :



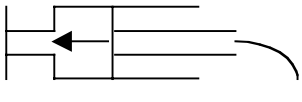
On bouche avec le doigt pour enfermer de l'air

E :



Réponses écrites à la question 2 :

A :



E :

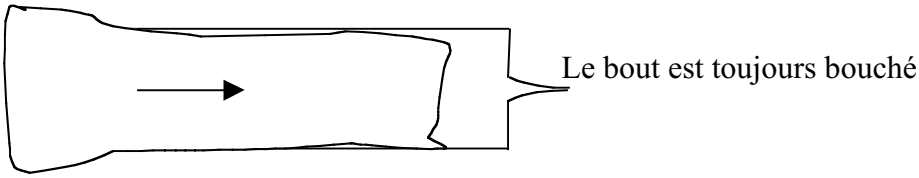


Tableau 7.14 : Réponses écrites d'Anne et Ellen (P1A1Q1&2)

Ces dessins montrent qu'Anne et Ellen n'utilisent pas les molécules pour représenter l'air. De plus, dans la question suivante demandant de décrire ces deux situations au niveau microscopique, puis au niveau macroscopique, Anne définit ces niveaux comme : "*macroscopique/ c'est euh tu vois/ micro c'est petit et macro/ c'est/ en gros*". À travers cette définition, Anne n'utilise pas les molécules. Durant les discussions entre Anne et Ellen pour répondre à la question se plaçant au niveau microscopique, il apparaît que les molécules ne sont jamais employées pour décrire l'air. Comme nous l'avons montré dans l'analyse du sens attribué au mot macroscopique (voir plus haut), il semble que les éléments du niveau

microscopique sont essentiellement ce que l'on ne voit pas, on trouve notamment la quantité d'air, qui n'est pas visible. Le tableau 7.15 donne les réponses écrites d'Anne et Ellen.

Réponses écrites à la question 3 microscopique :
A :
"-Au niveau microscopique, ce qui a changé :
-le volume de l'air occupé dans la seringue
Ceux qui n'a pas change est la quantité d'air."

E :
"Au niveau microscopique : ce qui a changé
- le volume d'air occupé
: ce qui n'a pas changé :
-la quantité d'air"

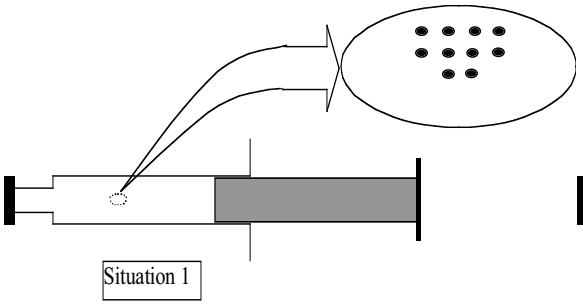
Tableau 7.15 : Réponses écrites d'Anne et Ellen (P1A1Q3)

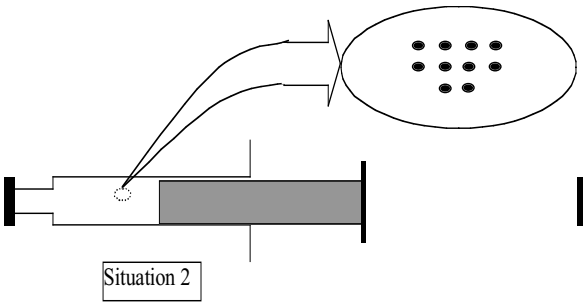
Les réponses ci-dessus montrent que l'air au niveau microscopique est décrit à l'aide de la quantité et du volume, ce qui signifie qu'Anne et Ellen ne font pas appel aux molécules pour représenter ce niveau.

L'activité 2 demande d'isoler par la pensée une petite partie de l'air contenu dans la seringue et de représenter les molécules d'air dans cette partie. Pour cette question Anne et Ellen pensent que, si on isole des petites parties d'air de même volume, il y aura la même quantité dedans. La tableau 7.16 illustre les réponses d'Anne et Ellen pour cette question.

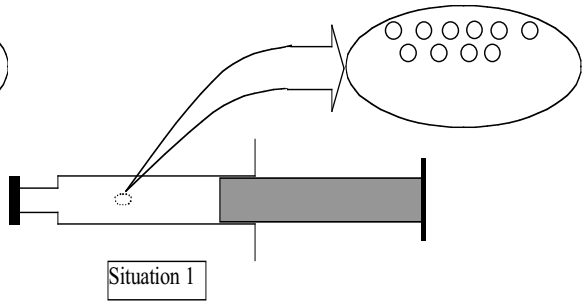
Réponses écrites :

A :





E:



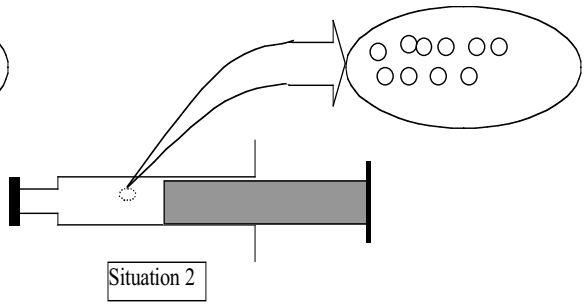


Tableau 7.16 : Réponses écrites d'Anne et Ellen (P1A2Q1)

Ce tableau montre que, conformément à l'énoncé, Anne et Ellen représentent l'air par des molécules. Cependant, leurs représentations montrent que les molécules ne se répartissent pas partout et qu'elles n'arrivent pas encore à faire l'opération mentale qui consiste à isoler une partie d'air de même volume et de représenter les molécules dans les deux situations. Cette abstraction les aurait conduites à considérer qu'il y a plus de molécules dans la deuxième situation.

Au cours de cette activité, Anne relie la quantité au nombre de molécules. L'émergence de ce lien, ainsi que sa stabilisation au cours de la séquence sera décrite plus en détail dans la partie "Présence" de ce chapitre. Anne considère que les molécules sont plus compressées lorsque l'on appuie sur le piston de la seringue remplie d'air. Cette idée est retrouvée à plusieurs reprises au cours de ce TP (voir le graphique "TP1 utilisation de l'idée les molécules sont compressées" dans l'annexe de l'analyse fine pendant, partie graphique Kronos).

Suite à la lecture du modèle, Anne et Ellen représentent les molécules partout. De plus, pour Anne, les molécules sont collées aux parois. La répartition des molécules est décrite plus en détail dans la partie "Répartition" de ce chapitre.

Comme le montre le tableau 7.16 ci-dessus, Anne et Ellen n'arrivent pas à faire "l'abstraction" mentale d'une petite partie d'air, puisque le nombre de molécules ne varie pas entre les deux situations. Durant la correction de cette question, une discussion s'établit dans la classe, entre d'un côté les élèves qui pensent qu'il y aura plus de molécules dans l'échantillon de la situation 2 et de l'autre ceux qui disent que le nombre de molécules sera identique. Au cours de cette discussion, l'enseignante explique à la classe "l'abstraction" qui consiste à isoler par la pensée une petite partie d'air et à imaginer comment varie le nombre de molécules dans deux situations différentes. Comme le montre cet extrait, il semble que, suite à cette explication, Anne comprend cette expérience de pensée (tableau 7.17).

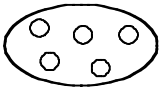
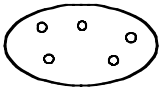
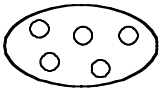
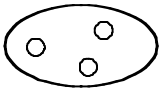
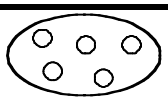
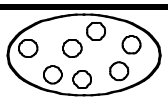
Temps	Question	Description	Transcriptions	Idées
00:49:22:18	Correction P1A2Q1	Prof discute avec la classe s'il faut mettre la même quantité dans des échantillons de même volume	Prof : au moment où j'ai poussé les molécules qui sont dans l'air/ qui sont là/ sont plus resserrées puisqu'elles ont moins de place lorsque je regarde le volume global/ maintenant comme j'ai pris un échantillon de même volume/ une petite partie/ de même volume/ lorsque je regarde/ j'ai pris deux petites parties qui ont la même taille (1s) dans l'une des petites parties les molécules seront plus espacées que dans l'autre/ ça veut dire que dans l'autre il y'en aura plus A : ah ben ouais/ c'est vrai ça/ dans la **quantité il y'en a plus**/ **mais quand tu prends la quantité elles sont plus serrées** E : j'sais pas	A ?

Tableau 7.17 : Extrait de la correction de la question 1 de l'activité 2

Dans cet extrait, il semble qu'Anne comprend l'abstraction (qui est une expérience de pensée consistant à prendre un échantillon de même volume et à évaluer le nombre de

molécules pour les deux situations) expliquée par l'enseignante, ce qui ne semble pas être le cas pour Ellen. En effet, Anne dit "*ah ben ouais/ c'est vrai ça*". De plus, elle ajoute que "*dans la quantité* (isolée par un petit volume) *il y'en a plus/ mais quand tu prends la quantité* (dans toute la seringue) *elles* (les molécules) *sont plus serrées*". Nous avons mis entre parenthèses les précisions que nous déduisons de ce qui vient d'être dit juste avant. Anne semble adhérer à ce que dit l'enseignante, mais compte tenu du manque de clarté dans son explication, nous pensons que le meilleur moyen de savoir si elle a vraiment compris ou non est de regarder si elle réutilise cette abstraction dans d'autres activités de la séquence d'enseignement. L'extrait suivant montre qu'Anne la réutilise pour la question 1 de l'activité 3 (tableau 7.18).

Question 1. Pour représenter des petites parties de même **volume** dans les situations 1 et 2, des élèves ont proposé les schémas ci-dessous.
Ces représentations vous paraissent-elles convenir ?

	Situation 1	Situation 2	La représentation	Pourquoi ?
Elève A			❒ convient ❒ ne convient pas	
Elève B			❒ convient ❒ ne convient pas	
Elève C			❒ convient ❒ ne convient pas	

01:00:21:00	P1A3Q1	A & E discutent des réponses qui conviennent	E : et là ça va pas y'en a trop A : donc là il convient pas là (?) E : moi j'ai mis qu'il convenait A : pourquoi (?) E : ben c'est c'qu'on a mis attends (1s) non A : non moi j'dis c'est la dernière si **on prend une partie/ y'en a plus de molécules** E : (3s) A : que là le volume il sera (inaud) (2s) là pourquoi y'aurai pas la même quantité (5s) E : euh j'sais pas (10s) A : on met des croix et après on dira pourquoi E : t'as mis quoi pour la dernière convient (?)	

Tableau 7.18 : Extrait d'une discussion entre Anne et Ellen (P1A3Q1)

Cet extrait montre qu'Anne et Ellen discutent afin de définir quelle réponse convient. Au cours de cette discussion Anne utilise la même expérience de pensée (que nous nommons abstraction) pour expliquer à Ellen, pourquoi c'est la dernière question qui convient (mis en noir dans le texte). Le silence (3s) et les hésitations d'Ellen ("*euh j'sais pas*") nous font penser que cette dernière n'a pas encore compris cette "abstraction". En revanche, le fait qu'Anne réutilise ce raisonnement dans son explication à Ellen témoigne d'une bonne compréhension de cette "abstraction". Pour répondre aux questions de l'activité 3, Anne et Ellen utilisent

certaines règles du modèle, notamment que les molécules ne se coupent pas et qu'elles ne se déforment pas.

Conclusion sur les idées d'Anne et Ellen pour la première partie de la séquence

Il apparaît qu'Anne n'utilise pas "l'abstraction" pour répondre aux questions de l'activité 2 et que ce n'est qu'à la suite de l'explication donnée par l'enseignante lors de la correction de cette activité, qu'elle semble la comprendre. Par la suite, Anne réutilise cette abstraction pour répondre aux questions de l'activité 3, ce qui témoigne d'une certaine compréhension. Il semble que cette évolution soit due essentiellement à l'intervention de l'enseignante au cours de la correction. Nous pensons que l'élément du milieu responsable de cette évolution est le Professeur.

Durant toute la première partie de la séquence d'enseignement sur les gaz, Anne et Ellen ne parlent jamais explicitement du mouvement des molécules, même pendant la partie 1.2 demandant de décrire le mélange de deux gaz. En effet, Anne explique que les gaz se mélangent grâce à la propriété du modèle "les gaz se répartissent dans tout le récipient qui les contient" et n'utilise pas le fait que les molécules qui composent un gaz sont en mouvement incessant et désordonné. Ellen rédige la même réponse qu'Anne concernant la répartition des molécules.

2.2 Les idées d'Anne et Ellen pendant la seconde partie de l'enseignement sur les gaz

La seconde partie de la séquence d'enseignement sur les gaz a pour but de décrire l'état d'un gaz à l'aide de grandeurs macroscopiques et de donner une interprétation microscopique de ces grandeurs. Ceci se traduit par le fait que la plupart des questions de cette partie proposent de décrire les situations à l'aide des grandeurs macroscopiques et qu'un petit nombre de questions demande d'utiliser les molécules pour interpréter ces situations. Nous avons essayé de déterminer les moments où Anne et Ellen utilisent les molécules durant la seconde partie en étudiant si cette utilisation est spontanée ou non, c'est-à-dire si les énoncés des questions demandent de faire appel explicitement aux molécules ou non. Le tableau 7.19 donne les questions dans lesquelles Anne et Ellen utilisent les molécules.

Questions où Anne utilise les molécules	Questions où Ellen utilise les molécules
P2A1Ex2Qc (répartition des molécules)	P2A1Ex2Qc (répartition des molécules)
P2A2Qa	
P2A2Qd (action du gaz ↔ chocs des molécules)	P2A2Qd (action du gaz ↔ chocs des molécules)
P2A2Qf (chocs des molécules)	P2A2Qf (chocs des molécules)
P2.2 A1Qa	
P2.2A2Qc (pression ↔ chocs des molécules)	P2.2A2Qc (pression ↔ chocs des molécules)
P2.2A2Qd (température ↔ vitesse des molécules)	P2.2A2Qd (température ↔ vitesse des molécules)

Tableau 7.19 : Utilisation des molécules en fonction des questions (les questions en gras ne demandent pas d'utiliser les molécules et pour les autres questions, nous précisons entre parenthèses les propriétés des molécules souhaitées par l'énoncé)

Ce tableau montre qu'Anne et Ellen utilisent les molécules dans toutes les questions qui demandent de les employer. De plus, il apparaît qu'Anne les mobilise "spontanément" dans deux questions (en gras dans le tableau) ne demandant pas de les utiliser. Dans un premier temps, nous présentons la manière dont Anne utilise les molécules dans ces deux questions, pour dans un second temps observer les idées d'Anne et Ellen à propos des molécules dans les questions demandant explicitement de les utiliser.

2.2.1. Utilisation "spontanée" des molécules par Anne

Lien entre la répartition des molécules et la pression (cours 1 P2A2Qa)

Le tableau 7.20 donne la réponse écrite d'Anne à la question a. Nous rappelons que cette réponse a été rédigée durant le cours 1, faisant travailler les élèves par groupes de quatre.

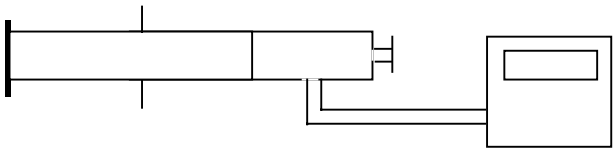
Question a. En utilisant le paragraphe 1 du modèle macroscopique des gaz, indiquer la valeur de la pression que l'on mesurerait si on pouvait relier le pressiomètre comme indiqué sur le schéma ci-dessous : 
Réponse écrite : A "a.La valeur de la pression sera la même que precedement c'est a dire 1028 Pa. En effet, grâce au modèle nous pouvons affirmer que la pression est identique a celle d'avant : -"les grandeurs température et pression st les mêmes partout dans le recipient fermé, de plus, la pression du gaz rend compte de l'action de ce gaz sur ttes les parois du recipient". On en conclut que même si le pressiomètre se situe sur le côté, il aura tjrs la m(ême) pression **a cause que les molécules st dispersés de partout** ainsi que la pression."

Tableau 7.20 : Réponse écrite d'Anne P2A2Qa

Anne explique que la pression est la même partout en s'appuyant sur le modèle macroscopique des gaz. De plus, elle relie cette propriété au fait que les molécules sont dispersées partout (idée notée *molécules se répartissent partout → pression est la même*). Anne établit un nouveau lien entre les molécules et la pression et elle est la seule élève de son groupe à utiliser les molécules dans son explication écrite. De plus, les discussions entre les quatre élèves du groupe (Anne, Ellen, Marie, Adèle), pour résoudre cette question se centrent sur l'utilisation du modèle macroscopique pour décrire la pression, et les molécules ne sont jamais employées dans aucune de leurs explications (voir la transcription du cours 1 de 9m18s à 12m15s, dans l'annexe de l'analyse fine pendant). C'est pourquoi, nous n'avons pas réussi à identifier le ou les éléments du milieu responsable(s) de cette évolution.

Lien entre le nombre de molécules et le volume (cours 2 P2.2A1Qa)

Pour répondre à cette question, Anne utilise les molécules durant les discussions au sein du groupe, ainsi que dans sa réponse écrite (tableau 7.21).

Temps	Question	Description	Transcription	Idée
Question a. À partir des observations de l'activité 2 du paragraphe I, indiquer par une phrase comment évolue la pression d'un gaz dans une enceinte lorsque son volume augmente. On cherche ici à déterminer expérimentalement la relation entre cette pression et le volume correspondant.				
00:14:03:21	P2.2A1Qa	A propose une solution au groupe	A : non mais moi je pense c'est parc'que quand t'as un plus grand volume/ **quand t'as un plus grand volume les molécules elles euh elles euh/ y'en a plus donc elles occupent une plus grande place** M : ouais mais alors pourquoi y'aurait la même pression A : j'sais pas	A V aug +→ + nbre molécule aug +→+ molécules occupent plus de place
Réponse écrite : A "-a- Lorsque son volume augmente, la pression du gaz augmente c**ar les molécules prennent plus de place**". (noté Vaug+→+Paug+→+molécules occupent plus de place)				

Tableau 7.21 : Utilisation des molécules durant l'explication et la réponse écrite d'Anne (le "+→+" signifie une causalité simple de type plus-plus).

Anne utilise les molécules pour traiter une situation visant à faire établir un lien entre les grandeurs macroscopiques pression et volume. Dans sa réponse écrite, l'augmentation de la pression semble être reliée à la place occupée par les molécules. En observant, la discussion qui s'est déroulée entre Anne et Marie avant la rédaction de cette réponse, il apparaît qu'Anne explique que les molécules occupent plus de places par l'idée que leur nombre augmente lorsque l'on augmente le volume (*V aug*+ →+ *nbre molécules aug*). Anne établit un nouveau lien entre l'augmentation du volume et l'augmentation du nombre de molécules. De plus, elle ne reprend pas les termes du modèle microscopique. C'est pourquoi, nous n'avons identifié aucun élément responsable de cette évolution.

Les deux extraits où Anne utilise les molécules, dans des questions ne nécessitant pas de les employer, témoignent de la pertinence qu'elle accorde aux molécules pour traiter ces situations.

2.2.2. Utilisation des molécules imposée par l'énoncé

Les molécules d'eau

La question P2A1Ex2Qc, demande de décrire à l'aide du modèle microscopique pourquoi il est possible de rajouter de l'air dans une bouteille pleine d'air et pourquoi il est impossible de rajouter de l'eau dans une bouteille pleine d'eau. Au cours de la correction faite par l'enseignante à cette question, Ellen établit que les molécules d'eau se touchent entre-elles (voir la transcription du TP2 de 52m36s jusqu'à 54m54s, dans l'annexe de l'analyse fine pendant). Il semble que pour cette nouvelle idée Ellen ne s'appuie sur aucun élément du milieu.

Les chocs des molécules

Anne et Ellen utilisent les chocs des molécules uniquement dans les questions qui demandent de les utiliser (P2A2Qd, P2A2Qf & P2.2A2Qc). De plus, pour chacune de ces questions, les chocs des molécules ont été mentionnés au préalable soit par l'enseignante soit par un autre élève interrogé par l'enseignante. Nous donnons à titre d'exemple un extrait issu du cours 1, montrant comment des idées survenues lors de la correction de la question P2A2Qd sont réutilisées dans la rédaction des réponses d'Anne et Ellen (tableau 7.22).

Temps	Question	Description	Transcription	Idées
Partie 2 Activité 2 Question d : Proposer une interprétation microscopique de l'action du gaz sur les parois				
00:29:39:00	Correc P2A2Qd	Prof discute de la correction avec la classe	[...] Prof : elles (les molécules) se sont rapprochées/ elles sont plus regroupées/ mais par rapport à la paroi Autre élève : **y'en plus sur la paroi** (inaudible) Prof : Y'en a plus qui vienne taper la paroi/ **y'a plus de chocs sur la paroi**	Autre: molécules sont concentrées sur les parois Prof : plus de chocs sur la paroi
00:30:24:00		Prof discute de la correction avec la classe	[...]	
00:31:36:06		Prof discute de la correction avec la classe Groupe discute de l'interprétation microscopique lorsque l'action du gaz augmente sur les parois	E : t'as marqué quoi à la d (3s) A : que les <u>que les</u> (*rapproche les deux mains*) (3s) ouais c'est-à-dire <u>que les molécu-</u> (*écarte les deux mains et lâche son stylo*) merde/ y'a **beaucoup plus de molécules sur les parois** <u>donc ça les</u> (*écarte les deux mains en ouvrant les doigts*) M : y'en a pas plus elles sont **<u>plus serrées</u>** (***rapproche les doigts de sa main***)	A molécules sont concentrées sur les parois M molécules sont compressées
Réponses écrites à la question d : A : "l'action du gaz sur une paroi est liée au fait que **les molécules sont plus nombreuses** et s'entrechocs." E : "l'action du gaz sur une partie est liée aux **chocs des molécules sur cette paroi**. Les molécules s'entrechocs."				

Tableau 7.22 : discussion en aparté d'<u>A</u>nne, <u>E</u>llen et <u>M</u>arie pour répondre à la question d, pendant que l'enseignante fait la correction avec la classe.

Cet extrait montre, dans un premier temps (29m 39s), une discussion entre des élèves de la classe et l'enseignante. Au cours de cette discussion, un élève dit qu'il y a plus de molécules sur les parois (idée notée *molécules se concentrent sur les parois*), et l'enseignante parle des chocs des molécules sur les parois. Dans un second temps (31m 36s), au cours de la discussion entre les élèves du groupe, nous voyons qu'Anne réutilise l'idée *les molécules se concentrent sur les parois,* alors que Marie défend l'idée *les molécules sont plus compressées.* Suite à la rédaction des réponses écrites, il apparaît qu'Ellen utilise explicitement les chocs

des molécules, alors qu'Anne utilise le fait que les molécules sont plus nombreuses sur les parois. Compte tenu de l'explication qu'elle donne lors de la discussion "*y'a beaucoup plus de molécules sur les parois*", nous interprétons sa réponse écrite comme voulant dire que les molécules sont plus nombreuses sur les parois et donc que l'action du gaz est reliée au fait que les molécules se concentrent sur les parois (noté *molécules concentrent sur les parois → action du gaz*). Les réponses écrites montrent qu'Anne réutilise l'idée émise par un autre élève, alors qu'Ellen reprend l'explication de l'enseignante utilisant les chocs des molécules. Cette question est la première de la séquence qui nécessite d'utiliser les chocs des molécules. Le fait qu'Anne et Ellen ne répondent pas directement à cette question et reprennent les idées d'autres personnes pour la traiter, semble témoigner qu'une nouvelle idée (concentration des molécules pour Anne et chocs des molécules pour Ellen) pour interpréter l'action de l'air dans une seringue est en cours d'acquisition. Nous modélisons cette évolution par un lien entre une nouvelle idée et une situation (voir la partie sur l'évolution des idées dans le chapitre cadre théorique). Ce lien est dû à l'intervention d'un autre élève.

Dans la question P2.2A2Qc issue du TP4, Anne et Ellen réutilisent encore une idée émise par un autre élève, cependant cette réutilisation semble beaucoup plus rapide dans le temps (tableau 7.23).

Temps	Question	Description	Transcription	Idée
Question c. Rappeler l'interprétation microscopique de l'augmentation la pression.				
00:21:43:00	P2.2A2Qc	Prof discute avec la classe	Prof à la classe : essayez de vous rappeler c'qu'on avait dit/ au lieu de chercher dans le modèle/ qu'est-ce qu'on avait dit sur l'interprétation microscopique de la pression (4s) essayer de vous en rappeler la **pression elle est liée** à quoi (?) Autre élève : **au nombre de chocs** A à prof : ah oui **au nombre de chocs**/ c'est tout (A & E rédigent)	Autre P = nbre chocs A P ↔ nbre chocs
Réponses écrites : A "c- L'augmentation de la pression est liée aux chocs des molécules sur la paroi" E "c) L'augmentation de la pression est liée aux chocs des molécules sur la paroi"				

Tableau 7.23 : Réutilisation d'une idée émise par un autre élève.

Cet extrait montre qu'après l'intervention d'un élève, reliant la pression au nombre de chocs, Anne et Ellen réutilisent cette idée dans leurs réponses écrites (idée *pression ↔ nombre de chocs*). Nous modélisons cette évolution par la mise en relation de deux idées. De plus, nous considérons que l'élément du milieu responsable de ce nouveau lien est l'intervention d'une autre l'élève.

Anne et Ellen utilisent "spontanément" les chocs des molécules pour répondre à la question demandant de donner une interprétation microscopique de la température (tableau 7.24).

Temps	Question	Description	Transcription	Idées
Partie 2.2 Activité 2 Question d : Utiliser la réponse de la question b. et l'interprétation microscopique de la pression pour proposer une interprétation microscopique de la température.				
00:23:48:01	P2.2A2Qd	A & E discutent	A : attends <u>l'augmentation de la pression/ elle est liée aux chocs des parois</u>(A lit sa feuille de TP)/ ben lorsque sa température augmente/ c'est liée donc E : ben oui c'est lié A : nan quand sa **température augmente/ les molécules** sont/ deviennent **plus nombreuses au niveau du choc**/ non (?) (1s) **ça accélère** E : ben ouais A : **elles deviennent plus nombreuses** (?) (5s) E : j'sais pas si c'est ça (E lit sa feuille de TP) E : oh si/ **si la température augmente il y'a plus de chocs (2s) donc la pression augmente** [...]	A *T aug →+de chocs sur les parois* A *T aug → mol accélère* A *T aug →+ de molécule* E *T aug →+ de chocs → P aug*
00:24:50:13		A & E rédigent		
Réponses écrites : A "Lorsque la température augmente, le nbre de chocs des molécules sur les paroi devient plus important dc la pression augmente." E "Si la température augmente, le nombre de choc augmente donc la pression augmente."				

Tableau 7.24 : Discussion pour interpréter microscopiquement la température durant le TP4

Anne utilise deux idées pour répondre à la question. La première est que lorsqu'on augmente la température les molécules deviennent plus nombreuses (idée *T aug→ plus de molécules*) et la seconde relie l'augmentation de la température au fait que les molécules accélèrent (*T aug→ molécules accélèrent*). Cependant cette idée n'est employée qu'une seule fois durant ses explications et à la fin de cette question Anne et Ellen n'utilisent que les chocs dans leur réponse écrite.

Conclusion générale sur les idées d'Anne et Ellen sur les molécules

En conclusion, il apparaît que, pour répondre aux premières questions de la partie 1, Anne et Ellen n'utilisent pas les molécules spontanément ; ce n'est que lorsque les questions

demandent explicitement de les utiliser, qu'elles commencent à établir certaines relations, notamment entre la quantité et le nombre de molécules et que les molécules se répartissent partout et qu'elles ne se coupent pas. De plus, après l'intervention de l'enseignante, Anne arrive à isoler une petite quantité d'air et à décrire le comportement des molécules au sein de cette quantité. Durant la seconde partie de la séquence d'enseignement, Anne utilise les molécules pour répondre à des questions ne demandant pas explicitement de les utiliser. Cependant, les données vidéo ne permettent pas de déterminer le ou les facteurs de cette évolution. Nous avons aussi constaté qu'Anne et Ellen reliaient la pression aux chocs des molécules, et qu'au début cette idée provenait des autres élèves ou de l'enseignante, pour finalement être utilisée spontanément dans la dernière question de la séquence. Cette évolution est liée aux autres élèves et à l'enseignante.

3. Présence d'un gaz dans une enceinte

Il est nécessaire d'avoir au préalable construit l'idée de la présence d'un gaz dans un volume délimité (comme un récipient) avant d'utiliser les grandeurs volume, masse ou quantité pour décrire ce gaz. De plus, ces grandeurs permettent de décrire beaucoup plus précisément l'état d'un gaz. Nous présentons l'évolution des idées d'Anne et Ellen sur la présence d'un gaz dans un récipient, puis sur la notion de quantité, particulièrement ses liens avec le volume et le nombre de molécules.

3.1. L'évolution des idées d'Ellen et Anne sur la présence de l'air dans une enceinte

Introduction

Au cours de la séquence d'enseignement sur les gaz, nous avons constaté une évolution des idées d'Ellen sur la présence de l'air dans une enceinte, alors que les idées d'Anne sur ce point semblent stables. Pour Ellen, cette évolution s'est faite en plusieurs étapes à travers certaines questions du TP1 et du TP2 (figure 7.2).

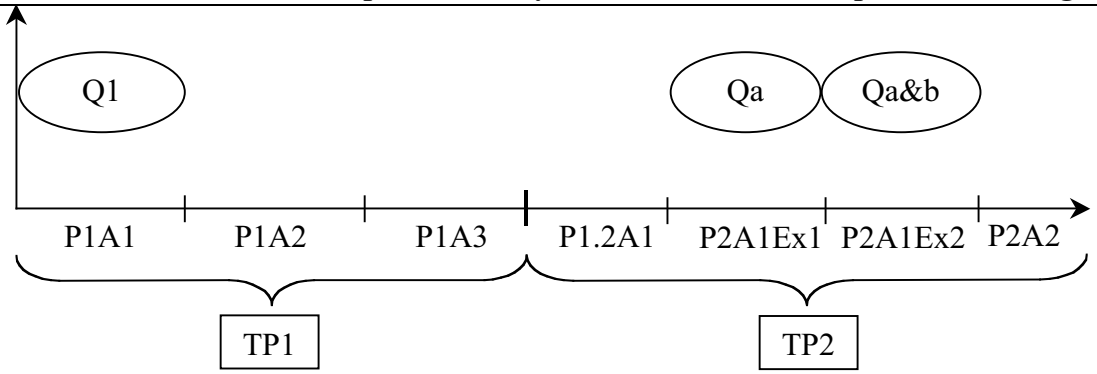


Figure 7.2 : Questions donnant des indications sur les idées d'Ellen à propos de la présence de l'air dans une enceinte.

La figure 7.2 montre les différentes questions permettant de reconstruire les idées d'Ellen sur la présence de l'air dans une enceinte. Ces questions utilisent des situations différentes : enfermer de l'air dans une seringue (P1A1Q1), chauffer une bouteille sur laquelle est posé un ballon (P2A1Ex1Qa) et ajouter de l'air dans une bouteille à l'aide d'une seringue (P2A1Ex2Qa&b). L'évolution des idées d'Ellen semble dépendre en partie des objets qu'elle manipule. C'est pourquoi, nous présentons nos résultats pour chacune de ces situations.

3.1.1. Enfermer de l'air avec une seringue (P1A1).

Au cours de la première question de la séquence d'enseignement se déroulant durant le TP1, nous avons identifié deux passages dans lesquels Anne et Ellen discutent de la présence de l'air. Pour des raisons de commodité, nous avons divisé le premier passage en deux extraits (tableaux 7.25 et 7.26).

Temps	Question	Description	Transcription	Idées
00:05:23:01	P1A1Q1	A & E lisent l'énoncé		
Partie 1 activité 1 question 1 : Enfermer de l'air dans la seringue (situation 1). Faire un schema				
00:05:32:23		A & E parlent d'enfermer de l'air A manipule la seringue	A : on pose la même question en fait/ faut faire comme ça pour enfermer de l'air/ hein/ **pour enfermer de l'air on bouche**/ attends tu fais comme ça/ tu **bouches** (A bouche la seringue) et tu **tires** (A tire sur le piston) E : j'sais pas A : ben si/ t'enfermes de l'air/ **si t'ouvres t'enfermes pas de l'air**	**A** *bouche = enferme de l'air* **A** *bouche + tire = enferme de l'air* **A** *ouvert = enferme pas air*

Tableau 7.25 : 1er Extrait montrant une discussion entre Anne et Ellen pour enfermer de l'air (Anne manipule la seringue)

Dans ce premier extrait, Anne propose deux idées pour enfermer de l'air, la première consiste à boucher la seringue (idée *bouche = enferme de l'air*) et la seconde à boucher et à tirer le piston (idée *bouche + tire = enferme de l'air*). Dans la suite de l'extrait, on retrouve la première idée, mais Anne utilise sa réciproque : si on ouvre l'air n'est pas enfermé. Face à ces deux idées, Ellen ne donne pas d'opinion. Il est intéressant de remarquer que, pendant cette discussion, Anne a la seringue dans les mains et la manipule. Nous pensons qu'Ellen attend d'avoir la seringue pour avoir un point de vue, c'est ce qui se passe dans l'extrait suivant durant lequel Ellen manipule la seringue (tableau 7.26).

Temps	Question	Description	Transcription	Idées
00:05:54:06	P1A1Q1	A & E parlent d'enfermer de l'air E manipule la seringue	(E bouche et tire sur le piston de la seringue) A : **regarde là y'a de l'air là (A montre la seringue)** E : ouais (E bouche, tire sur le piston de la seringue) (E lache le piston et il revient) E : **et si tu fais ça (E tire sur le piston sans boucher la seringue) t'en enfermes pas de l'air (?)** A : **ben non/ regarde/ t'en enfermes pas/ c'est pas enfermé là y'a le contact de l'air avec le dehors** E : ouais A : que là si tu enfermes là/ tu tires/ 'tend	**A** *l'air est présent dans la seringue* **E** *tire = enferme de l'air* **A** *ouvert = enferme pas air*
00:06:28:00	P1A1Q1	A & E parlent d'enfermer de l'air A manipule la seringue	A : **là juste en faisant ça (A bouche la seringue)/ là t'enfermes de l'air là dedan**s/ t'es d'accord (?) E : ouais [...]	**A** *bouche* **=** *enferme de l'air*

Tableau 7.26 : 2ème extrait montrant une discussion entre Anne et Ellen pour enfermer de l'air (Ellen manipule puis Anne manipule).

Ellen refait la manipulation faite par Anne dans l'extrait précédent, c'est-à-dire qu'elle bouche l'entrée de la seringue puis tire sur le piston. Ellen semble considérer que pour attraper de l'air, il suffit de l'aspirer en tirant sur le piston (idée *tire = enferme de l'air*). Elle propose d'ailleurs cette idée à Anne qui la rejette. Les actions mises en oeuvre pour enfermer de l'air ne sont pas les mêmes pour Anne et Ellen. En effet, il suffit de boucher la seringue pour Anne alors qu'il faut tirer sur le piston pour Ellen. Ceci semble montrer que pour Anne, l'air est partout, et donc qu'il y en a dans la seringue, elle le précise d'ailleurs à Ellen : "*regarde là il y a de l'air là (A montre la seringue)*". En revanche, pour Ellen, il semble qu'il n'y a pas d'air dans la seringue, puisqu'il faut l'aspirer. Cependant, elle ne le dit pas explicitement, c'est pourquoi, nous ne pouvons pas reconstruire d'idée sur la présence de l'air, mais simplement supposer que pour Ellen il n'y a pas d'air dans la seringue. Ellen semble accepter l'explication d'Anne montrant qu'il suffit de boucher la seringue pour enfermer de l'air. Cependant, comme le montre le tableau 7.27, il semble qu'un doute persiste.

Temps	Question	Description	Transcription	Idées
00:08:22:00	P1A1Q1	A & E parlent d'attraper de l'air E manipule la seringue	E : mais je sais pas si c'est ça où **on enferme de l'air (E tire sur le piston)** (on ne voit pas si la seringue est bouchée) A : si si c'est ça/	E *tire = enferme de l'air*
00:08:27:00		A & E parlent parlent d'attraper de l'air A manipule la seringue	A : mais si parc'qu'attends/ si t'es comme ça (la seringue est ouverte)/ y'a de l'air mais tu l'enfermes pas/ si t'es comme ça/ tu bouches (A bouche et tire sur le piston)/ tu tires (A tire le piston) par exemple et tu bouches (**A bouche la seringue**)/ **au moment où tu bouches là t'enfermes un un une quantité d'air** E : (2s) ouais	A *bouche = enferme Q*

Tableau 7.27 : Discussion entre Anne et Ellen pour enfermer de l'air

Sur la vidéo, nous n'arrivons pas à voir si la seringue est bouchée ou non. Cependant, nous voyons avec certitude qu'Ellen tire sur le piston de la seringue. Ceci signifie que, malgré les explications d'Anne, Ellen continue de tirer sur le piston pour enfermer de l'air (idée *tire = enfermer de l'air*). Anne explique à nouveau qu'il suffit de boucher la seringue, cependant comme le piston est complètement rentré à l'intérieur de la seringue, elle est obligée de tirer dessus. Nous ne savons pas si le "*ouais*" d'Ellen est pour le fait de boucher la seringue ou pour le fait de tirer sur le piston. Dans la suite de ce TP, nous ne trouvons aucune discussion permettant de trancher sur ce sujet.

3.1.2. Il y a de l'air dans le ballon de baudruche posé sur une bouteille (P2A1Ex1).

L'expérience 1 demande de comparer le comportement de l'air avec celui de l'eau lorsqu'ils sont chauffés. Anne et Ellen ont fait cette expérience au cours du TP2. Lors de la préparation du matériel, Ellen enfile le ballon sur la bouteille (tableau 7.28).

Temps	Question	Description	Transcription	Idée
Partie 1 Activité 1 Expérience 1 On cherche à comparer l'évolution du volume d'un gaz et d'un liquide, chauffés dans les mêmes conditions. - Mettre 500 mL d'eau dans un bécher de 600 mL et chauffer cette eau à 60°C. Pendant que l'eau chauffe, lire la suite. - Adapter sur une fiole pleine d'air un ballon de baudruche dégonflé. a. Prévoir ce qu'il se passerait si on plongeait cette fiole d'air dans l'eau à 60 °C du bécher. - Faire l'expérience décrite dans la question a. et observer. Comparer votre observation avec votre prévision.				
00:15:34:10	P2A1Ex1Ex2	A & E discutent E ajuste le ballon sur la bouteille	E : c'est bon A il n'est pas gonflé hein (RIRE) A : je sais (5s) (*E ajuste le ballon sur la bouteille*) E : voilà (***E appuie trois fois sur le ballon***) A : tu regardes quand même	

Tableau 7.28 : Préparation du matériel par Ellen.

Cet extrait montre qu'après avoir ajusté le ballon sur la bouteille, Ellen appuie à plusieurs reprises dessus. Nous pensons qu'en appuyant sur le ballon, Ellen perçoit l'air qui est enfermé dedans. Le fait qu'elle appuie plusieurs fois dessus, nous laisse penser qu'elle ne s'attendait pas percevoir une résistance de l'air et nous interprétons la répétition de ce geste comme une prise d'information pour vérifier qu'il y a bien de l'air dans le ballon.

Dans la suite de cette expérience, Ellen appuie sur le ballon à plusieurs reprises (voir la transcription du TP2 de 15m 34s jusqu'à 20m 21s, dans l'annexe de l'analyse fine pendant). Nous avons regroupé dans un graphique Kronos les différents moments où Ellen appuie sur le ballon (voir le graphique Kronos "TP2 Ellen appuie sur le ballon", dans l'annexe de l'analyse fine pendant) et il apparaît que ce geste est répété à quatre moments distincts au cours de cette expérience. Nous pensons qu'Ellen est en train de construire, en passant par le toucher, la présence de l'air dans un récipient (constitué ici par le ballon posé sur la bouteille). Ellen ne fait aucune verbalisation durant ces moments, c'est pourquoi nous ne pouvons faire que des suppositions sur ce geste. Néanmoins, nous supposons qu'initialement il n'y a pas d'air pour Ellen dans le ballon et dans la bouteille, et que ce geste est une prise d'information pour vérifier qu'il y en a. L'utilisation de ce geste à plusieurs reprises semble témoigner de la construction de l'idée que l'air est présent dans le ballon posé sur la bouteille.

3.1.3. Il y a de l'air dans une bouteille ouverte (P2A1Ex2)

L'expérience 2, demandant de rajouter de l'air dans une bouteille pleine d'air, apporte des éléments sur les idées d'Ellen à propos la présence de l'air. Tout d'abord, Ellen explique qu'il n'est pas possible de rajouter de l'air avec la seringue, puisque pour attraper de l'air, il faut boucher la seringue puis tirer sur le piston. Ellen interprète le bruit que, l'on entend (ça fait "pshh") lorsque l'on enlève le doigt du bout de la seringue, comme étant le fait que l'air qui sort de la seringue, alors que du point de vue de la physique l'air rentre à l'intérieur de la seringue. Comme l'air s'échappe de la seringue, il n'est pas possible de le mettre dans le récipient (voir la transcription du TP2 de 43m 57s à 44m 19s, dans l'annexe de l'analyse fine pendant).

Suite à cette explication d'Ellen, Anne lui montre qu'il est possible de rajouter de l'air dans une bouteille pleine d'air en mettant la seringue sur la bouteille et en appuyant sur le piston (tableau 7.29)

Temps	Question	Description	Transcription	Idées
Partie 2 Activité 1 Expérience 2 Prendre deux bouteilles, l'une remplie d'eau, l'autre d'air, les boucher. a. On veut rajouter de l'air dans la bouteille d'air et de l'eau dans la bouteille d'eau avec le matériel dont vous disposez. Pensez-vous que c'est possible pour l'air ? pour l'eau ? Proposer un ou des modes opératoires et les réaliser afin de vérifier vos réponses. b. Conclusion : est-il possible de rajouter de l'air dans une bouteille pleine d'air ? de l'eau dans une bouteille pleine d'eau ?				
00:44:19:01	P2A1Ex2Qa	A explique à E que l'on peut rajouter de l'air A manipule	A : mais si tu fais ça (*A mets la seringue sur la bouteille*) E : ben vas-y essaye (8s, *E vide l'eau de la bouteille*) tiens voilà (*A met la seringue sur la bouteille/ appuie sur le piston et enlève la seringue/ ça fait pshh*) (3s) A : t'es d'accord regarde E : ouais **mets <u>là t'as pas d'air</u>** (*E montre la bouteille ouverte*)	E *l'air n'est pas présent dans une bouteille ouverte*

Tableau 7.29 : démonstration d'Anne montrant qu'il est possible de rajouter de l'air.

Cet extrait montre Anne en train de démontrer expérimentalement que l'on peut rajouter de l'air dans une bouteille pleine d'air. Durant cette "démonstration", Ellen dit explicitement qu'il n'y a pas d'air dans la bouteille ouverte (idée *air n'est pas présente dans une bouteille ouverte*), ce qui confirme les interprétations, que nous avons faites dans la situation de la seringue et celle du ballon posé sur une bouteille (voir ci-dessus). Suite à l'affirmation d'Ellen, Anne va s'appuyer sur l'expérience pour prouver qu'il y a de l'air dans la bouteille (tableau 7.30).

Temps	Question	Description	Transcription	Idée
00:44:37:01	P2A1Ex2Qa	A explique à E que l'on peut rajouter de l'air et le prouve en manipant	(A met la seringue et appuie/ le piston remonte) A : **la preuve y'a d'l'air ça remonte (A appuie sur le piston et il remonte)** E : ouais A : la preuve qu'il y a de l'air et que là je le pousse (A pousse sur le piston) pour en mettre dedans/ **parc'que regarde (le piston remonte**) (3s) **(A enlève la seringue et ça fait pshhh) tu vois y'a de l'air/ que j'en est mis** E : ouais	A *le piston remonte = l'air est présent dans la bouteille* A *le piston remonte = l'air est présent dans la bouteille* A *ça fait pshhh = l'air est présent dans la bouteille*

Tableau 7.30 : Les preuves d'Anne pour convaincre Ellen

Cet extrait montre qu'Anne utilise le fait que le piston remonte (perceptible grâce à la vue) et celui que l'on entend "pshh" (perceptible grâce à l'ouïe), pour convaincre Ellen qu'il y a de l'air dans la bouteille. Ellen semble adhérer aux arguments d'Anne puisqu'elle répond de manière positive, en disant "ouais". Cependant, ce "ouais" peut-être interprété de deux façons différentes. La première interprétation possible est qu'Ellen est d'accord avec Anne et la seconde est que ce "ouais" est un feedback pour maintenir l'interaction entre les deux élèves, signifiant qu'Ellen écoute ce qu'on lui dit. Pour nous le seul moyen de savoir si Ellen a changé d'avis est de voir si elle réutilise cette idée dans la suite de la séquence.

Au cours d'une discussion ultérieure, toujours pour savoir si l'on peut rajouter de l'air dans une bouteille pleine d'air, c'est Ellen qui défend l'idée que l'on peut rajouter de l'air (tableau 7.31).

Temps	Question	Description	Transcription	Idée
00:48:10:00	P2A1Ex2Qb	A&E discutent du fait que l'on peut rajouter de l'air	[...] A: mais de l'air on peut par contre/ l'air on y arrivera toujours/ mais pas l'eau E : ouais/ ben ouais A : ben non E : ben si A : **du moment où t'as de l'air de partout tu peux plus après** E : **mais si tu peux toujours/ tu peux toujours** (3s)	A *air partout = peut pas en rajouter* E *on peut rajouter de l'air*

Tableau 7.31 : Discussion entre Anne et Ellen sur la possibilité de rajouter de l'air dans une bouteille pleine d'air.

Cet extrait montre qu'Anne soutient que l'on ne peut pas rajouter de l'air, car s'il y a de l'air partout, il n'est pas possible d'en rajouter. Il est intéressant de voir que c'est Ellen qui soutient maintenant l'idée que l'on peut rajouter de l'air. Cependant, dans son explication, elle ne parle pas de la présence de l'air. Nous pensons que ce changement provient des arguments (visuels et auditifs) d'Anne s'appuyant sur l'expérience lors de la précédente discussion (tableau 7.30).

Suite à cette discussion, Ellen va vérifier expérimentalement que l'on peut rajouter de l'air (tableau 7.32).

Temps	Question	Description	Transcription	Idée
00:48:36:01		E essaie la manip	E à elle même: j'vais essayer (E mets la seringue sur la bouteille et appuie sur le piston/ le piston remonte/ elle appuie/ ça remonte/ puis elle enlève la seringue et ça fait pshhh) (E reappuie sur le piston, il remonte et ça fait pshhh)	

Tableau 7.32 : Vérification expérimentale que l'on peut rajouter de l'air

Cet extrait montre les gestes manipulatoires qu'effectue Ellen pour vérifier que l'on peut rajouter de l'air dans une bouteille remplie d'air. Il est intéressant de voir, qu'Ellen observe le fait que le piston remonte et que l'on entend "pshhh".

Conclusion sur la présence de l'air dans une enceinte

En conclusion, nous avons vu qu'au début de la séquence, Ellen considère qu'il n'y a pas d'air dans une seringue et qu'il faut l'aspirer pour pouvoir en attraper. Au cours de l'expérience 1 du TP 2, Ellen appuie à plusieurs reprises sur le ballon de baudruche qui est posé sur une bouteille. Nous pensons que l'élément du milieu "expérience" a joué un rôle dans la construction de l'idée *l'air est présent dans un récipient*. Au cours de l'expérience 2 du TP2, Ellen change d'avis et considère qu'il est possible de rajouter de l'air dans une bouteille pleine d'air. Ellen établit un nouveau lien entre cette idée et la situation. Nous pensons que cette dernière évolution provient de la démonstration d'Anne qui s'appuie sur certains éléments perceptibles de l'expérience. Ces éléments du milieu sont notés Expérience (seringue bouteille) et élève A.

3.2. L'évolution des idées d'Anne et Ellen sur la notion de quantité

Les différentes explications d'Anne dans l'analyse précédente (voir ci-dessus) semblent montrer qu'elle a déjà construit le fait que l'air est présent partout, notamment dans des enceintes ouvertes. La présence d'un gaz dans un récipient fait appel à la notion de quantité. Nous proposons d'étudier comment cette notion est utilisée par Anne et Ellen au cours de la

séquence d'enseignement. La figure ci-dessous donne les activités dans lesquelles elles utilisent cette notion.

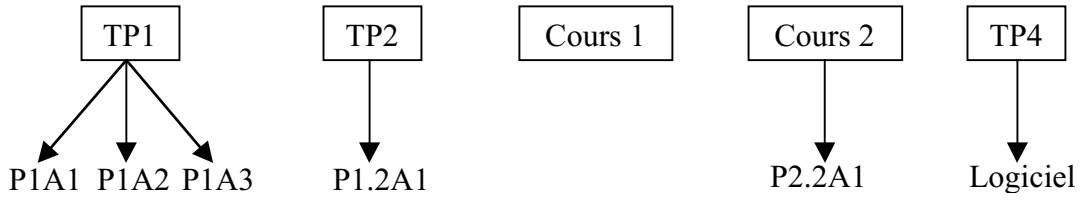


Figure 7.3 : Activités dans lesquelles les idées sur la quantité apparaissent

La notion de quantité évolue essentiellement au cours du TP1, c'est pourquoi, nous proposons dans un premier temps de regarder l'évolution du lien entre la quantité et le volume, ainsi que d'étudier comment s'établit le lien entre la quantité et le nombre de molécules. Nous observons dans un second temps ce que deviennent ces liens dans le reste de la séquence d'enseignement, notamment le lien entre la quantité et le nombre de molécules dans le TP2 et le lien entre la quantité et le volume dans le cours 2 et le TP4.

3.2.1. Évolution de la notion de quantité au cours du TP1 : le lien entre la quantité et le volume

Au cours de l'activité 1, qui demande de manipuler une seringue, Anne utilise à plusieurs reprises, que la quantité varie lorsque le volume varie, c'est-à-dire que si on augmente le volume d'une seringue bouchée la quantité d'air contenu dedans va augmenter (Vaug↔ Qaug). Nous donnons à titre d'exemple, un extrait dans lequel Anne utilise ce raisonnement (tableau 7.33)

Temps	Question	Description	Transcription	Idées
Partie 1 Activité 1 question 1. Enfermer de l'air dans la seringue (situation 1). Faire un schéma				
00:06:28:00	P1A1Q1	A & E parlent d'enfermer de l'air A manipule la seringue	A : **là juste en faisant ça (*A bouche la seringue*)/ là t'enfermes de l'air là dedan**s/ t'es d'accord E : ouais A : donc **en tirant**/ après (*A tire sur le piston en bouchant la seringue*) c'est juste une question de pression je pense/ et t'sais là **la quantité elle sera plus grande**	**A** *bouche* = *enfermer de l'air* **A** *Vaug ↔ Qaug*

Tableau 7.33 : Extrait d'une discussion dans la quelle Anne utilise l'idée *V aug↔ Q aug*

Anne utilise le mot quantité dans son explication et il nous semble important de s'interroger sur le sens qu'elle lui donne. En effet, si elle considère ce mot comme un synonyme du volume, il est tout à fait normal que la quantité d'air augmente lorsque le volume de la seringue augmente, puisque ces deux mots désignent la même chose. L'explication qu'Anne donne dans l'extrait est trop courte pour pouvoir attribuer une quelconque signification au mot quantité. Cependant, dans la suite de la question 1 (voir la transcription du TP1 de 8m 27s jusqu'à 8m 46s, dans l'annexe de l'analyse fine pendant), Anne explique que "*au moment où tu bouches* (la seringue) *là t'enfermes un un une quantité d'air*", cette utilisation du mot quantité est relativement proche de la définition de la physique. De plus, comme nous le verrons par la suite Anne fait clairement la différence entre la quantité et le volume (voir tableau 7.34).

Dans l'extrait ci-dessus, Anne explique que lorsque l'on tire sur le piston d'une seringue bouchée la quantité d'air augmente. Dans cette explication Anne établit un lien entre l'augmentation du volume de la seringue et l'augmentation de la quantité (idée *Vaug ↔ Q aug*). Ce lien n'est pas correct du point de vue du savoir enseigné. En effet, lorsque l'on fait varier le volume d'une seringue bouchée la quantité d'air ne varie pas. L'utilisation de l'idée *Vaug ↔ Q aug* peut être interprétée de plusieurs façons : soit Anne n'a pas encore construit le fait qu'une seringue bouchée est étanche et elle considère que l'air peut traverser les parois, soit elle applique à l'air une propriété qui n'est valable que pour les solides, c'est-à-dire que si

son volume augmente, sa quantité augmente aussi. L'explication d'Anne ne nous permet pas de savoir laquelle de ces interprétations est la plus proche de ce qu'elle veut dire.

Au cours de la question 3, Anne utilise un lien similaire entre la quantité et le volume. En effet, elle explique que lorsque l'on appuie sur le piston d'une seringue bouchée, la quantité d'air diminue (idée *V dim* ↔ *Q dim*). Au cours de cette question, Anne utilise ce lien à plusieurs reprises.

Comme nous l'avons déjà signalé, Anne considère que la quantité d'air relève du niveau microscopique, puisqu'on ne peut pas la voir directement (voir notre analyse sur l'évolution du sens donné au mot macroscopique), et qu'elle diminue lorsque le volume de la seringue diminue. C'est précisément, en essayant de répondre à la question 3 en se plaçant au niveau microscopique, que le lien entre la quantité et le volume va évoluer (tableau 7.33).

Temps	Question	Description	Transcription	Idées
Partie 1 Activité 1 Question **1.** Enfermer de l'air dans la seringue (situation 1). Faire un schéma **2.** En gardant l'air enfermé, appuyer sur le piston (situation 2). Faire un nouveau schéma. **3.** En se plaçant au niveau microscopique, indiquer par écrit ce qui a changé pour l'air et ce qui n'a pas changé, entre les deux situations. Faire de même en se plaçant au niveau macroscopique.				
00:13:51:00	P1A1 Q3 micro	A & E discutent de ce qui change micro	A : microscopique/ y'a déjà la/ y'a y'a moins lon- **une plus petite quantité d'air** E : ouais A : t'es d'accord E : ouais j'pense A : (5s) c'est ça qu'a changé/	A *Vdim* ↔ *Qdim*
00:14:05:06		A & E discutent de ce qui change pas micro A manipule la seringue	A : et ce qui a pas changé/ bah(1s) j'pense que E : ben **c'qui n'a pas changé**/ ben y'a toujours l'air dedans (*E montre la seringue*)/ **l'air est toujours dedans** (*E montre la seringue*) A : ouais/ mais/ on peut pas dire qu'y a une qu- (1s) y'a pas une plus petite non regardes y'a pas une plus petite pression(1s) une plus petite quantité on en sait rien ça/ l'air/ non/ c'qu'on voit	

Tableau 7.34 : Discussion entre Anne et Ellen à propos de la question 3

La première partie (13m 51s) de cet extrait montre qu'Anne considère que la quantité d'air contenu dans la seringue est plus petite lorsque l'on appuie sur le piston de la seringue. Dans la seconde partie (14 m 05s) de cet extrait, Ellen dit que lorsque l'on appuie sur le piston l'air est toujours dans la seringue, c'est-à-dire que sa quantité ne varie pas. Cette remarque semble faire changer d'avis Anne, qui malgré de nombreuses hésitations dans la construction de ses phrases va finalement réussir à dire que la quantité d'air n'est pas plus petite. Ces nombreuses hésitations semblent témoigner qu'Anne est en pleine réflexion. Nous pensons que c'est au cours de cette réflexion qu'elle commence à construire un nouveau lien entre la quantité et le volume. Son explication est interrompue par l'enseignante qui définit à la classe le niveau macroscopique et le niveau microscopique (Tableau 7.35).

Temps	Question	Description	Transcription	Idée
00:14:32:00		Prof parle à la classe	Prof à la classe : pour thomas et compagnie le niveau macroscopique c'est le niveau qui est à notre échelle/ c'est des choses que vous pouvez percevoir directement/ voir sentir toucher/ d'accord/ le niveau microscopique/ c'est le niveau qui concerne les molécules	
00:14:49:00		A & E discutent de ce qui change pas micro A manipule la seringue	A : et ben que les molécules/ ben regarde/ **si j'fais ça (*A pousse sur le piston en bouchant la seringue*)/ et là il y a toujours la même quantité d'air** sauf **qu'elle est plus compressée**	**A** *Vdim ↔Q id* **A** *air compressée*

Tableau 7.35 : Évolution du lien entre la quantité et le volume.

Cet extrait montre que suite à l'explication de l'enseignante à la classe, Anne établit que la quantité reste identique lorsque l'on diminue le volume de la seringue fermée (idée *Vdim ↔ Q id*). Anne ne parle pas explicitement du volume, cependant le fait d'appuyer sur le piston d'une seringue bouchée, revient à diminuer son volume. Cette évolution est interprétée par l'établissement d'un nouveau lien entre deux idées. Les causes responsables de cette évolution sont nombreuses et diverses, il nous est impossible de les identifier avec certitude. Cependant, nous pensons que la remarque d'Ellen a joué un rôle important, car finalement Anne reprend l'idée que la quantité d'air ne varie pas. De plus, nous pensons que le fait qu'Anne soit en train de manipuler a probablement joué un rôle. Cependant les explications d'Anne ne nous permettent pas de préciser lequel.

Il est intéressant de voir que, dans la suite de cette question, Anne explique à Ellen que le volume change mais pas la quantité (tableau 7.36).

Temps	Question	Description	Transcription	Idées
00:18:41:00	P1A1Q3 micro	A & E discutent de ce qui a changé A manipule la seringue	E : ce qui a changé A : (3s, *A écrit*) euh/ la la(1s) ben j'sais pas/ la quantité d'air eu::h/ pas la **quantité** comment dire/ le **volume d'air** E : moi je dirai qu'il est toujours pareil hein A : (3s) non/ si tu fais ça(*A bouche la seringue avec son doigt*)/ là t'as un volume de dix par exemple/ là t'as un volume de dix/ t'as un volume t'as pas une quantité/ là t'as une volume et une quantité/ le volume elle est de dix/ si j'appuie (*A appuie sur le piston en gardant bouché la seringue*)/ là **le volume il sera de huit/ mais la quantité sera la même/ le volume sera/ y'aura juste le volume/ qui aura changé/ à cause de la pression**	A *V change* E *V id* **A** *Pression→ V dim ↔ Q id*

Tableau 7.36 : Anne explique la différence entre la quantité et le volume

Dans cet extrait Ellen ne semble pas faire la différence entre la quantité et le volume. En effet, elle considère que le volume d'air ne change pas lorsqu'on appuie sur le piston d'une seringue bouchée. Au cours de la discussion Anne lui explique la différence entre le volume et la quantité. Cette explication est particulièrement claire, cependant Anne n'ose pas la mettre dans sa réponse écrite. C'est finalement Ellen qui propose de rédiger dans un premier temps que le volume change et dans un second temps que la quantité ne change pas (pour plus de détails voir la transcription du TP1 de 19m 30s à 21m 13s, dans l'annexe de l'analyse fine pendant). Il est intéressant de voir que l'explication d'Anne a permis à Ellen de faire la différence entre la quantité et le volume, puisqu'elle fait cette distinction au cours de la rédaction de sa réponse. L'évolution d'Ellen correspond à la distinction entre deux idées, les éléments du milieu susceptibles d'être responsables sont l'élève A (voir cadre théorique).

Nous avons regroupé l'ensemble des idées concernant le lien entre la quantité et le volume dans un graphique Kronos (voir le graphique Kronos "TP1 évolution du lien entre la

quantité et le volume", dans l'annexe de l'analyse fine pendant). Dans ce graphique "A: V varie Q varie" signifie que pour Anne lorsque le volume varie la quantité varie aussi (ce qui est équivalent à l'idée Vdim↔Qdim), "E: V varie Q identique" signifie que pour Ellen lorsque la volume varie la quantité reste identique (équivalent à l'idée Vdim↔ Qid) et "E: V identique" signifie que pour Ellen le volume ne change pas (ce moment est décrit dans le Tableau 7.36). Ce graphique montre que suite à l'intervention d'Ellen, le lien entre la quantité et le volume va changer pour Anne de l'idée *Vdim↔ Qdim* à l'idée *Vdim↔ Qid*. Il est intéressant de remarquer qu'au début, Anne utilise cette idée (*Vdim↔ Qid*) uniquement lorsqu'elle manipule la seringue et qu'elle va progressivement l'utiliser sans faire de manipulation. Cette nouvelle idée est réutilisée pour traiter de nouvelles situations, ce qui traduit l'augmentation de son domaine d'application.

Anne et Ellen vont réutiliser cette idée durant l'activité 2, qui demande d'isoler par la pensée une petite partie d'air contenu dans une seringue bouchée (situation 1) et dans une seringue bouchée lorsque l'on appuie sur le piston (situation 2). Au début de cette activité, elles n'arrivent pas à comprendre l'énoncé et elles demandent à l'enseignante de leur expliquer la question. Durant l'explication de l'enseignante, Anne utilise l'idée Vdim ↔ Qid (tableau 7.37).

Temps	Question	Description	Transcription	Idée
00:25:22:01	P1A2Q1S	Prof explique à A & E l'énoncé	[...] Prof : qu'est-ce qui est arrivé aux molécules qui sont là dedans entre le moment où la seringue était comme ça et le moment où la seringue était comme ça (2s) alors le volume A : ben/ **c'est pas le même volume là/ y'a pas le même volume/ mais la même quantité** Prof : alors y'a pas le même volume/ y'a pas la même quantité A : ah bon/ y'a pas la même quantité (?) Prof : si si/ t'as raison y'a la même quantité bien sûr/ mais ce que tu me dis là c'est vrai pour toute la seringue/ c'est à dire c'est vrai pour ça et pour ça/ là effectivement ce volume il est plus petit que celui-là/ mais moi je prends pas ce volume là/ je prends un tout petit bout et ce tout petit bout je choisi de prendre un tout petit bout de même volume après A : **ben ça sera le même** E : **c'est pareil**	A *V change ↔ Q id* A & E *même V↔ même Q*

Tableau 7.37 : L'enseignante explique l'activité 2 à Anne et Ellen durant le TP1

Cet extrait montre qu'Anne "teste" son idée (*Q change ↔ Q id*) auprès de l'enseignante, qui lui confirme qu'elle fonctionne pour la totalité d'une seringue. Il est intéressant de voir qu'Anne et Ellen réutilisent cette idée, lorsqu'il faut isoler une petite partie d'air contenu dans la seringue. En effet, elles considèrent qu'il y a la même quantité lorsque l'on prend des parties d'air de même volume dans les situations 1 et 2 (voir séquence P1A2Q1). Cette idée (*même V ↔ même Q*) est correcte du point de vue du savoir à enseigner pour la totalité de l'air contenu dans une seringue, mais elle ne convient pas lorsque l'on isole des petites parties d'air dans des situations différentes. Nous pensons que cette idée empêche

Anne et Ellen de traiter correctement la question et notamment de réussir à faire l'abstraction (voir partie ci-dessus aspects particulaires).

En conclusion, il apparaît qu'au début de l'activité 1 de la partie 1, Anne pense que la quantité d'air contenu dans une seringue bouchée, varie comme le volume. Au cours de la question 3 de cette activité, Anne réalise que le volume change, mais que la quantité reste la même suite à la remarque d'Ellen. Nous interprétons cette évolution par l'établissement d'un nouveau lien entre la quantité et le volume. Le principal élément du milieu responsable de cette évolution est l'intervention d'Ellen (noté élève E). Dans la suite de cette question, Ellen va faire la distinction entre la quantité et le volume grâce à l'explication d'Anne. Cette évolution correspond à la distinction de deux idées (voir cadre théorique). Nous considérons que l'explication d'Anne est l'élément du milieu qui est responsable de cette évolution. Durant cette question, Anne et Ellen se sont mutuellement aidées pour construire de nouveau lien entre leurs idées. Elles vont réutiliser leurs idées sur les liens entre la quantité et le volume dans l'activité 2. Cependant, ces idées sont correctes du point de vue du savoir à enseigné pour la totalité de l'air contenu dans une seringue, mais pas lorsque l'on isole une petite partie d'air de cette seringue. Nous pensons que ces idées vont les empêcher de traiter correctement les questions de l'activité 2 en les empêchant de faire l'abstraction. Ce phénomène correspond à l'utilisation d'une idée hors de son domaine de validité (voir cadre théorique), c'est-à-dire que l'élève ignore les situations dans lesquelles son idée n'est pas valable du point de vue de la physique.

3.2.2. Évolution de la notion de quantité au cours du TP1 : le lien entre la quantité et le nombre de molécules

Durant le TP1, la notion de quantité évolue pour Anne. En effet, Anne établit à plusieurs reprises un lien entre la quantité et le nombre de molécules (idée *Q = nbre de molécule*). Anne établit ce lien pour la première dans la question P1A2Q1S. Cette question demande de représenter au niveau microscopique deux parties d'air de même volume, l'une contenue dans une seringue bouchée et l'autre dans une seringue bouchée lorsque l'on appuie sur le piston. Pour pouvoir répondre à cette question les élèves doivent représenter une petite partie d'air par un certain nombre de molécules, ce qui revient à établir un lien entre la

quantité et le nombre de molécules. Anne établit ce lien au cours d'une discussion avec l'enseignante, qui essaie d'expliquer comment il faut remplir les schémas (tableau 7.38)

Temps	Question	Description	Transcription	Idées
00:25:22:01	P1A2Q1S	Prof explique comment remplir les schémas à A & E	[...] A : oui mais euh (1s) en fait ça va dépendre si on met **la même quantité les mêmes molécules** et tout entre les deux non c'est ça (?) parc'qu'on est quand même oblige d'en mettre au pif Prof à A & E : ah ben tu choisis un nombre effectivement là t'en t'en mets pas au pif mais tu fais un choix tu dis j'en mets [...] A : ouais ouais faut marquer en fait/ si / faut voir si y'a **la même quantité** en fait/ si y'a à peu près **le même nombre de** Prof : effectivement c'est la question qu'il faut se poser	A *Q = nbre de molécules* A *Q = nbre de molécules*

Tableau 7.38 : Anne établit un lien entre la quantté et le nombre de molécules.

Au cours de cet extrait, Anne utilise à deux reprises l'idée *Q = nbre de molécules*. Nous pensons que cette idée est déduite des explications de l'enseignante. De plus, ce lien est nécessaire pour pouvoir répondre à cette question, c'est pourquoi, nous pensons que l'énoncé de la question a joué aussi un rôle. Cette idée n'est jamais utilisée dans les questions qui précèdent la question P1A2Q1S, c'est pourquoi nous supposons qu'Anne établit un nouveau lien entre cette nouvelle idée et la situation (voir partie évolution des idées dans le cadre théorique).

Dans la suite du TP, Anne utilise cette idée dans d'autres situations. On trouve notamment qu'elle l'associe à d'autres idées pour répondre à la question 2 (tableau 7.39).

Temps	Question	Description	Transcription	Idée
00:30:23:00	P1A2Q2S	A & E parlent de l'énoncé	[...] A : mais attends/ on a dit là (A montre la seringue)/ c'est la même quantité/ euh c'est le même volume/ **le volume est réduit/ mais la quantité c'est la même/ si c'est la même/ ça voudra dire que ce sera exactement le même nombre d'at/ euh de molécules/** logiquement parc'qu'autrement si tu dis que là il y a moins de nombre de molécule d'accord il y'en aura moins/ (inaudible)/ [...]	A *V dim ↔ Q id = nbre de molécules id*

Tableau 7.39 : Illustration de la mise en lien de plusieurs idées.

Dans cet extrait Anne met en relation l'idée *Vdim ↔ Qid* avec l'idée *Q = nbre de molécules*, ce qui donne le réseau d'idées *Vdim ↔ Qid = nbre de molécules id*, qui traduit que si le volume diminue, la quantité reste identique et le nombre de molécules aussi.

Nous avons regroupé dans un graphique Kronos, tous les moments où Anne utilise l'idée *Q = nbre de molécules* (voir le graphique Kronos "TP1 lien entre la quantité et le nombre de molécule", dans l'annexe de l'analyse fine pendant). Ce graphique montre qu'Anne établit cette relation au cours de la question P1A2Q1S pendant que l'enseignante lui explique l'énoncé, et qu'elle va l'utiliser pour répondre dans d'autres situations élargissant ainsi son domaine d'application.

Ellen utilise explicitement cette idée (*Q = nbre de molécules*) une seule fois au cours de la réponse écrite à la question P1A2Q1, elle écrit : "oui, j'ai dessiné **le même nombre de molecules** car **la quantité est la même**". Il est intéressant de voir qu'elle rédige cette réponse suite à la remarque d'Anne (voir transcription du TP1 de 32m 12s à 33m 15s). Dans la suite du TP 1, Ellen n'utilise plus explicitement cette idée.

En conclusion, il apparaît qu'Anne établit un lien entre la quantité et le nombre de molécules à la suite de l'explication de l'enseignante. Nous pensons que les éléments responsables de cette évolution sont l'explication de l'enseignante, mais surtout l'énoncé de la question qui nécessite d'établir ce lien. Dans la suite de ce TP, Anne réutilise à plusieurs

reprises cette idée, augmentant son domaine d'application. En revanche, Ellen utilise une seule fois ce lien au cours du TP1, pour répondre par écrit à la question P1A2Q1. Ce lien sera établi suite à une remarque d'Anne.

3.2.3. Réutilisation de la notion de quantité dans le reste de la séquence d'enseignement

Nous avons vu qu'Anne et Ellen utilisent les idées *Q= nbre de molécules* et *V dim ↔ Q id* au cours du TP1. Dans le reste de la séquence, Ellen ne réutilise aucune de ces deux idées. En revanche, Anne réutilise une fois l'idée *Q = nbre de molécules* pour répondre à la question P1.2A1 traitant du mélange de deux gaz (voir la transcription du TP2 de 5m 36s à 6m 15s, dans l'annexe de l'analyse fine pendant). Concernant le lien entre la quantité et le volume, il apparaît qu'Anne utilise que le nombre de molécules augmente lorsque le volume de la seringue augmente (idée *V aug ↔ Q aug*) durant la question P2.2A1Qa (voir la transcritpion du cours 2 de 14m 03s à 14m 22s, dans l'annexe de l'analyse fine pendant) et que la quantité diminue lorsque le volume diminue (idée *Vdim ↔ Q dim*) durant la question A1Q1 du logiciel (voir la transcritpion du TP4 de 43m 00s à 44m 42s, dans l'annexe de l'analyse fine pendant). L'utilisation de ces idées montre qu'Anne ne réutilise pas le lien entre la quantité et le volume qu'elle a établi durant le TP 1. Nous n'avons pas d'explication à cette "régression" du point de vue de la physique.

4. Répartition

La répartition des molécules est abordée par Anne et Ellen à différents moments de la séquence d'enseignement sur les gaz (figure ci-dessous).

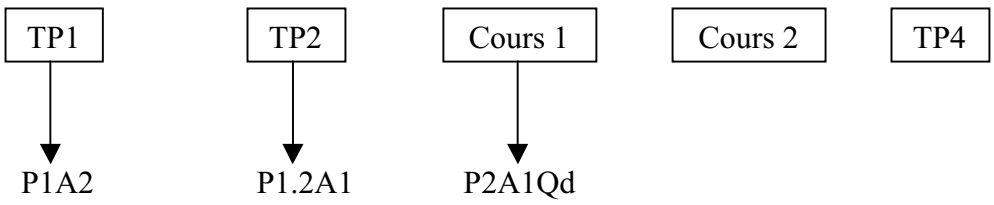


Figure 7.4 : Activités dans lesquelles Anne et Ellen traitent de la répartition des molécules

Les idées sur la répartition des molécules évoluent essentiellement durant l'activité 2 se déroulant pendant le TP1. Cette activité utilise des questions de différentes natures. En

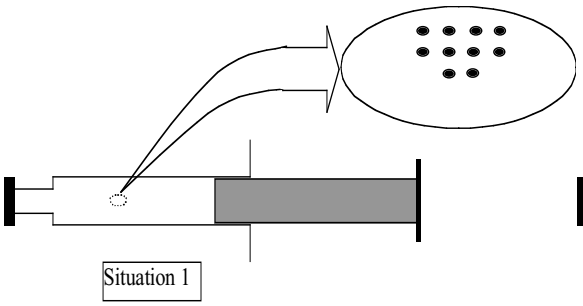
effet, les questions P1A2Q1 et P1A2Q2 demandent d'isoler une petite partie d'air contenu dans une seringue et d'en représenter les molécules (voir la séquence d'enseignement, dans l'annexe de l'analyse a priori). La question P1A2Q3 demande aux élèves d'utiliser le modèle microscopique pour corriger leurs représentations. Nous proposons de présenter l'évolution des idées d'Anne et Ellen sur la répartition des molécules au cours de cette activité, puis de regarder comment ces idées sont réutilisées lorsque l'on mélange deux gaz (P1.2A1). Pour finir, nous présentons l'idée *les molécules sont collées aux parois* développée par Anne suite à la lecture du modèle.

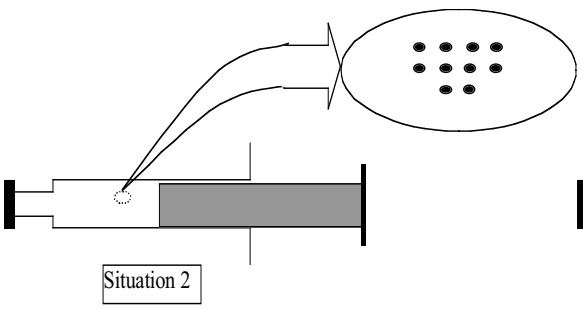
4.1. Évolution de la répartition des molécules durant l'activité 2

Anne et Ellen répondent aux questions 1 et 2 en dessinant les molécules regroupées à un endroit spécifique, nous présentons à titre d'exemple leurs réponses écrites à la question 1 (tableau 7.40).

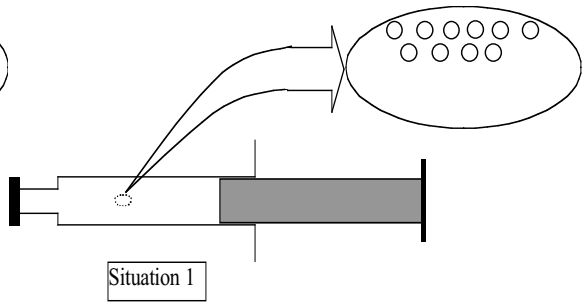
Réponses écrites à la question 1:

A :





E:



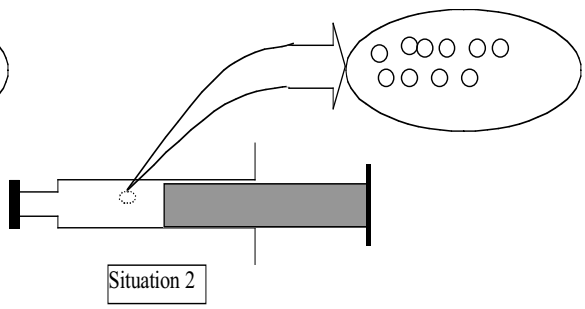


Tableau 7.40 : Réponses écrites d'Anne et Ellen (P1A2Q1)

Dans les représentations d'Anne et Ellen, les molécules ne sont pas réparties partout, mais regroupées à un endroit spécifique (idée *molécules se répartissent à un endroit*). De plus, elles en ont dessiné le même nombre dans les deux situations de la question 1, ce qui

n'est pas correct du point de vue du savoir à enseigner, car elles auraient dû en dessiner plus dans la seconde situation. On trouve la même idée dans les représentations de la question 2 (voir transcription TP1 de 34m 05s à 36m 40s).

La question 3 demande de corriger les dessins à l'aide du modèle microscopique des gaz. Suite à la lecture du modèle, Ellen propose d'éloigner les molécules entre elles de les dessiner partout (idée *les molécules se répartissent partout*) (tableau 7.41).

Temps	Question	Description	Transcription	Idées
Question 3. À l'aide du modèle microscopique des gaz distribué par le professeur, corriger si nécessaire sur les schémas de droite :				
00:40:11:01	P1A2Q3 (Q1)	A & E discutent leur correction	E : j'sais pas si on a juste ou on a faux (3s) A : on a faux/ regarde là (*A montre une phrase du modèle*) E : ouais A : elles sont pas aussi près E : donc il faut les faire plus éloignées [...] E : **vas-y on en fait de partout**	E *molécules se répartissent partout*

Tableau 7.41: Discussion sur la répartition des molécules dans les schémas de la question 1

Au cours de cette discussion, il semble qu'Anne et Ellen s'appuient sur la propriété G2 du modèle : "Les molécules sont très éloignées les unes des autres et se répartissent dans tout le volume qui leur est offert. Ce volume est limité par des parois, qui sont solides ou liquides". Suite à cette discussion, Ellen propose de dessiner des molécules partout. Comme le montre le tableau 7.42, elles vont finalement dessiner des molécules partout, mais en gardant le même nombre de molécules pour les deux situations.

Temps	Question	Description	Transcription	Idée
00:43:25:01	P1A2Q3 (Q1)	A & E parlent	E : **bon on en fait de partout** A : non mais tu dois en garder la même quantité quand même E : ouais ouais	E *molécules se répartissent partout*
00:43:32:00		A & E dessinent		
Corrections : A & E dessinent des molécules réparties partout dans les deux bulles, ainsi que le même nombre de molécules dans les deux bulles.				
00:44:34:01	P1A2 Q3 (Q2)	A & E discutent et corrigent	A : donc/ là ça serait la même chose E : ouais j'aurai **dit partout pareil** (A dessine)	E *molécules se répartissent partout*

Tableau 7.42 : Anne et Ellen dessinent des molécules partout

Nous n'avons pas mis les dessins d'Anne et Ellen, car elles les ont modifiés, suite à la correction de l'enseignante au tableau, en dessinant un nombre plus important de molécules pour la situation 2. Cependant, il reste les traces des anciens dessins montrant que les molécules sont réparties partout et qu'il y en a le même nombre. Comme le montre le court passage ci-dessus (44m 34s), Anne et Ellen ont aussi représenté les molécules partout dans la question 2.

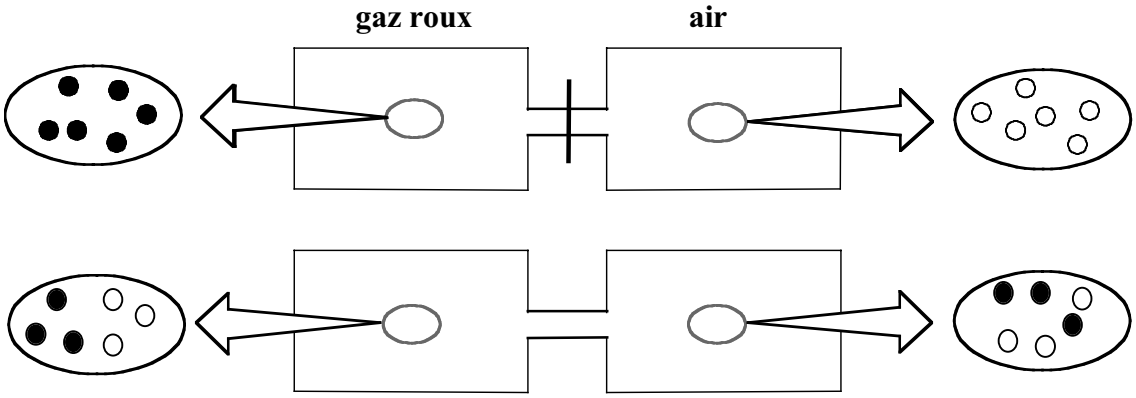
En résumé, Anne et Ellen représentent les molécules comme étant réparties à un endroit particulier dans les questions 1 et 2. Suite à la lecture du modèle, elles vont changer leurs représentations en dessinant les molécules réparties partout. Nous pensons que cette évolution est due à la propriété G2 du modèle : "Les molécules sont très éloignées les unes des autres et se répartissent dans tout le volume qui leur est offert. Ce volume est limité par des parois, qui sont solides ou liquides". Pour nous, Anne et Ellen font "une sélection entre deux idées contradictoires(*les molécules se répartissent à un endroit* et *les molécules se répartissent partout*) pour la même situation" (voir l'évolution des idées dans le cadre théorique). Nous pensons que l'élément du milieu responsable de cette évolution est le texte du modèle, particulièrement la propriété G2.

4.2. Répartition des molécules durant le mélange de deux gaz

Au cours de l'activité 1 de la partie 1.2 demandant de décrire le mélange de deux gaz à l'aide des molécules. Anne et Ellen vont dessiner des molécules réparties partout (tableau 7.43).

Réponses écrites à la question 2

2. À partir de vos observations, représenter sur le schéma du dessous, une petite partie du gaz de chaque flacon (les deux flacons ont le même volume).



(Même dessin pour A & E, il semblerait que E est copié la réponse sur A)

Tableau 7.43 : Dessin d'Anne et Ellen montrant des molécules réparties partout

Ce dessin montre qu'Anne utilise l'idée *les molécules se répartissent partout* pour décrire le mélange de deux gaz. De plus, Anne explique à la classe au cours de la correction de cette question que les molécules se répartissent dans les deux flacons à cause de la propriété G2 du modèle (voir la transcription du TP2 de 5m 36s à 6m 15s, dans l'annexe de l'analyse fine pendant). L'utilisation de cette idée dans une situation différente de celle de la question P1A2Q1&2 (utilisant une seringue), montre que le domaine d'application de cette idée augmente. Il est beaucoup plus difficile de se prononcer pour Ellen, car il semble qu'elle ait copié le dessin sur la feuille d'Anne, ce qui ne nous donne aucune information sur ce que pense Ellen de la répartition des molécules.

En résumé, il apparaît qu'Anne réutilise l'idée *les molécules se répartissent partout* pour représenter les molécules lors du mélange de deux gaz. Anne justifie sa représentation en utilisant la propriété G2 du modèle : "Les molécules sont très éloignées les unes des autres et

se répartissent dans tout le volume qui leur est offert. Ce volume est limité par des parois, qui sont solides ou liquides".

4.3. Pour Anne les molécules sont collées aux parois

Notre analyse ci-dessus, montre que suite à la lecture du modèle et particulièrement de la propriété G2, Anne représente correctement du point de vue du savoir enseigné les molécules qui se répartissent partout. Cependant, durant la même lecture de la propriété G2, Anne va développer l'idée *les molécules sont collées aux parois* (tableau 7.44).

Temps	Question	Description	Transcription	Idées
00:40:11:01	P1A2Q3 (Q1)	A & E discutent la correction à l'aide du modèle	[...] A : elles sont pas aussi près E : donc il faut les faire plus éloignées A : et **collées aux parois**	A *molécules collées parois*
00:42:14:00		A & E lisent le modèle		
00:42:27:00		A & E parlent de la répartition des molécules	A : donc les molécules elles seront plus espacées/ non (?) trois/ quatre parce qu'elles sont/ regarde (3s, A lit le modèle) tu vois ce volume est limité par les parois ah non/ les molécules peuvent être en collision entre elles et avec les parois/ ça veut dire qu'elles sont **collées aux parois (?)** E : non elles sont pas collées aux parois/ il peut y en avoir (inaudible)	A molécules collées aux parois E molécules ne sont pas collées aux parois

Tableau 7.44 : construction de l'idée *les molécules sont collées aux parois* suite à la lecture du modèle

Cet extrait montre que suite à la lecture du modèle disant que les molécules sont très éloignées les unes des autres, Anne émet l'idée que les molécules sont collées aux parois. Dans la suite de cet extrait (42m 27s), Anne va déduire en lisant que les molécules peuvent rentrer en collision avec les parois (propriété G3 du modèle), que les molécules sont collées aux parois, ce qui semble être en contradiction avec le fait que les molécules sont en mouvement et qu'elles se répartissent dans tout le volume qui leur est offert (propriété G1 et G2 du modèle). Durant le TP1, Anne utilise cette idée (*molécules collées aux parois*)

seulement deux fois. Cependant, on retrouve cette idée durant la question P2A2Qd se déroulant pendant le cours 1. Nous avons déjà analysé ce passage dans la partie aspect particulaire concernant les chocs des molécules (voir tableau 7.22). Nous redonnons néanmoins l'explication d'Anne avec cette fois les gestes.



A : ouais c'est-à-dire que les molécu- (*écarte les deux mains et lâche son stylo*) merde/



A : y'a **beaucoup plus de molécules sur les parois** donc ça les (*écarte les deux mains en ouvrant les doigt*).

Figure 7.5 : Explication d'Anne à la question P2A2Qd durant le cours 1

Dans cet extrait Anne explique qu'il y a plus de molécules sur les parois, ce qui rejoint l'idée que les molécules sont collées aux parois. Il est intéressant de voir que cette idée provient de la réponse d'un élève interrogé par l'enseignante juste avant.

En conclusion, suite à la lecture de la propriété G2 modèle, Anne pense que les molécules sont collées aux parois. Cette idée est utilisée pour la première fois durant la question P1A2Q3. Nous interprétons cette évolution par l'établissement d'un lien entre une nouvelle idée et une situation. L'élément du milieu responsable de cette évolution est le texte du modèle, particulièrement la propriété G2. Cette idée est réutilisée à deux reprises dans le reste de la séquence sur les gaz.

5. Action du gaz

Cette partie présente les idées d'Anne et Ellen sur l'action de l'air, sur le lien entre cette action et la pression, puis sur les différents aspects de la pression.

5.1. Les idées d'Anne et Ellen sur l'action de l'air

Anne et Ellen considèrent que l'air agit, essentiellement pour deux types de situation, utilisant à chaque fois une seringue sans appareil de mesure. Comme nous l'avons montré durant l'analyse du sens du mot pression (voir plus haut), Anne et Ellen décrivent l'action de l'air durant les questions de l'activité 1 (partie 1). On trouve notamment que pour Anne, lorsque l'on appuie sur le piston d'une seringue bouchée "y'a une pression/ oui/ quand on appuie/ on peut dire quand on appuie **y'a une pression/ qui fait qu'on peut pas arriver jusqu'au bout** en fait/ on peut dire qu'on **sent une pression de l'air**". Durant la situation demandant de rajouter de l'air dans une bouteille pleine d'air (P2A1EX2Qa), Anne utilise l'action de l'air sur le piston de la seringue, pour convaincre Ellen de la présence de l'air dans la bouteille (voir analyse d'Ellen sur la présence de l'air dans un récipient). Elle dit notamment : "la preuve qu'il y a de l'air et que là je le pousse (A pousse sur le piston) pour en mettre dedans/ **pasque regarde (le piston remonte)**" (idée *air agit*)

En revanche, dans la situation où l'on chauffe une bouteille avec un ballon de baudruche posé dessus, Anne et Ellen se contentent d'écrire que "le ballon s'est gonflé", et ne parlent pas de l'action de l'air. Il en est de même pour toutes les questions utilisant un pressiomètre, excepté la question P2A2Qb qui demande explicitement de décrire l'action du gaz. Anne et Ellen ne parlent jamais du fait que l'air agit dans les situations utilisant un pressiomètre et elles vont plutôt se centrer sur la description de la mesure de la pression.

5.2. Lien entre l'action du gaz et la pression

La séquence d'enseignement sur les gaz vise à faire établir le lien entre l'action du gaz et sa pression. Cependant, ce lien n'est demandé que dans la question P2A2Qb. Comme nous l'avons vu durant l'analyse du mot pression (voir ci-dessus), Anne et Ellen établissent ce lien, notamment à travers leurs réponses écrites :

- A "b. Lorsque sa **pression augmente**, **l'air** se compense et **exerce une forte pression** sur les parois de la seringue "

- E "b) Si la **pression augmente**, l'air se compense et **exerce une plus forte pression** sur les parois de la seringue"

Anne et Ellen considèrent que lorsque la pression augmente, l'air exerce une action plus forte sur les parois (idée *P aug ↔ action air aug*). Cependant, elles utilisent le même mot pour désigner la mesure de la pression et l'action de l'air, ce qui peut être une source de confusion dans la suite de la séquence sur les gaz. Cette idée est d'abord émise par Marie, avant d'être reprise à son tour par Anne puis Ellen (voir transcription cours 1 de 14m 26s 16m 31s). Nous pensons que l'élément du milieu responsable de ce nouveau lien entre la pression et l'action est l'intervention de Marie.

5.3. Les idées d'Anne et Ellen sur les différents aspects de la pression

Introduction

La séquence d'enseignement sur les gaz propose différents aspects de la pression. C'est pourquoi, nous proposons de faire une présentation des idées d'Anne et Ellen en fonction de ces aspects.

5.3.1. La pression est homogène

Au cours de la question P2A2Qa, Anne et Ellen vont établir, en s'appuyant sur le modèle macroscopique, que la pression est la même dans les récipients fermés. Elles écriront en guise de réponse :

- A "[...] On en conclut que même si le pressiomètre se situe sur le côté, il aura tjrs la **m(ême) pression a cause que les molécules st dispersés partout** ainsi que la pression."
- E "a) d'après le modèle macroscopique des gaz, si on mettait le pressiomètre sur le côté de la seringue, **la pression serait de 1028 hPa car la même partout dans le récipient**."

Pour Anne et Ellen, la pression est homogène à l'intérieur de la seringue. De plus, Anne explique que c'est à cause de la dispersion des molécules, c'est-à-dire qu'elle interprète la pression à partir de la répartition des molécules.

5.3.2. Y a-t-il de la pression lorsque aucune action n'est exercée sur le récipient ?

La question P2A2EX1 demande de mesurer la pression de l'air contenu dans une seringue, lorsque aucune action est exercée sur le piston. Cette question fait naître un désaccord au sein

des quatre élèves du groupe. D'un côté Marie et Adèle veulent pousser sur le piston pour avoir de la pression et de l'autre Anne pense qu'il n'y a pas besoin d'appuyer sur le piston pour avoir de la pression (voir transcription du cours 1 de 6m 01s à 8m 32s). Finalement pour régler ce désaccord, le groupe demande à une autre élève de la classe, qui explique qu'il n'y a pas besoin de pousser sur le piston pour avoir de la pression. Cette discussion montre que pour Marie et Adèle, il n'y a de pression que lorsqu'il y a une action sur l'enceinte, retrouvant ainsi la conception trouvée par Séré (1985). En revanche, pour Anne et Ellen, il y a de la pression, même lorsqu'il n'y a pas d'action.

5.3.3. Évolution du lien entre la pression et le volume

Nous proposons de présenter l'évolution des idées sur la pression et le volume d'Anne et Ellen durant l'enseignement sur les gaz. Cette évolution s'est déroulée à travers certaines activités du cours 1 et du cours 2 (figure 7.6)

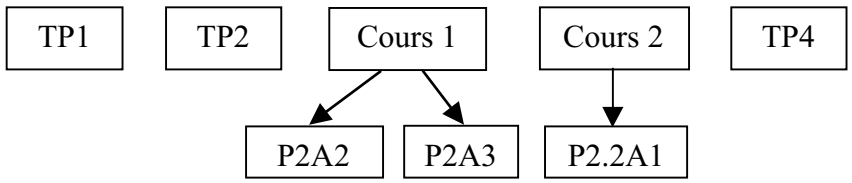


Figure 7.6 : Activités de la séquence ayant contribué à l'évolution des idées d'Anne et Ellen

Établissement du lien entre la pression et le volume (P2A2EX2)

La question P2A2EX2 demande d'observer expérimentalement comment la pression varie lorsque l'on diminue le volume d'une seringue reliée à un pressiomètre. Anne et Ellen établissent que la pression augmente lorsque le volume diminue (idée *Paug* ↔ *Vdim*), comme en témoignent leurs réponses écrites :

A "on observe que en poussant le piston que la pression de l'air augmente."

E "on observe, si on pousse le piston de la seringue, la pression augmente"

Ce lien entre la pression et le volume a été établi grâce à l'expérience mettant en jeu une seringue et un pressiomètre, nous proposons de regarder ce qu'elle devient dans les activités suivantes.

Nouveau lien entre la pression et le volume (P2A3Qb)

L'activité 3 demande de comparer la poussée effectuée sur des seringues de tailles différentes pour atteindre la même pression. Au cours de cette activité Anne établit un nouveau lien entre la pression et le volume (tableau 7.45).

Question b.
À votre avis, qu'est-ce qui, au niveau des seringues, est responsable de cette différence de poussée sur chacun des pistons ?

Temps	Question	Description	Transcription	Idée
00:43:22:02	P2A3Qb	A explique sa réponse aux autres élèves du groupe	A : ben c'est parc'que regarde c'est logique (1s) **t'as un volume vachement plus important là que dans la petite donc la pression est vachement plus grande dans la grande que dans la petite** Ad (rires) A : nan c'était pour faire mon explication	A *P aug* ↔ *V aug*

Réponses écrites :
E "b) Il faudra pousser plus fort avec la grosse car pour la grosse seringue, il y aura un plus gros volume d'air"
A "b- Ce qui est responsable de cette différence est que : **La grosse a un volume d'air plus important que la petite donc la pression sera plus forte chez la grosse seringue**"

Tableau 7.45 : Nouveau lien entre la pression et le volume

Dans cet extrait, Anne établit un nouveau lien entre la pression et le volume. En effet, pour elle plus le volume est grand et plus la pression sera importante (idée *Paug* ↔ *Vaug*). Anne utilise ici le mot pression avec la signification de l'action de pousser, alors que dans la question précédente (P2A2EX2), le mot pression correspondait à une mesure et donc sa signification était proche de celle d'une grandeur. Ellen n'utilise pas le mot pression dans sa réponse écrite, nous ne savons donc pas si le lien entre la pression et le volume a évolué pour elle au cours de cette question.

Évolution du lien entre la pression et le volume suite à une expérience (P2.2A1Qa)

Anne et Ellen utilisent un lien entre la pression et le volume (tableau 7.46).

Activité 1 : Compression d'un gaz a. A partir des observations de l'activité 2 du paragraphe I, indiquer par une phrase comment évolue la pression d'un gaz dans une enceinte lorsque son volume augmente. On cherche ici à déterminer expérimentalement la relation entre cette pression et le volume correspondant.				
00:10:03:21	P2.2A1Qa	Discussion du groupe sur P varie comme V	[...] A : alors c'est quand son **volume augmente comment évolue la pression du gaz** (1s) tu sais on l'a fait c'est le truc là M : on la fait E : **ben elle augmente** (A lit sa copie) A : <u>sa pression augmente/ l'air se compense exerce une forte pression sur les parois de la seringue</u> (A lit sa feuille de TP) ah non c'est pas ça E : **ben ça augmente** (5s) A : **ben oui elle augmente** parc'que comme la pression/ attends regarde vous me dite si vous êtes d'accord/ comme la pression est la même dans tous le récipient fermé/ **si le volume augmente/ elle sera/ la pression sera plus grande** M : ouais	E V aug ↔ P aug E V aug ↔ P aug A V aug ↔ P aug

Tableau 7.46 : Anne et Ellen utilisent un lien entre la pression et le volume

Dans cet extrait, Ellen propose que la pression augmente lorsque le volume augmente (idée *Paug ↔Vaug*). Cette idée sera reprise par Anne, qui donne une explication se basant sur la propriété du modèle macroscopique : la pression est la même à l'intérieur des récipients fermés. Cette idée est reprise par les quatre élèves du groupe tout au long de la discussion pour se mettre d'accord sur la réponse à rédiger (voir transcription du cours 2 de 11m 50s à 14m 22s). La question suivante (P2.2A1EX) demande de mesurer la pression lorsque l'on fait varier le volume de la seringue (tableau 7.47).

Temps	Question	Description	Transcription	Idée
00:20:20:01	P1.2A1EX	Groupe prend les mesures en augmentant V et A réalise que P diminue quand V augmente	A : 1031/ à 30 c'est 1031 M : y'avait sept colonnes/ hein les amies A : ouais/ 1031 j'recule Ad : Aaaaaah M : Y'en avait sept (rires) A : eh **la pression elle diminue/ c'est pas pour vous faire chier hein** M : c'est vrai A : merde 35/ ça ra'p'tissit ou pas (?) E: **ouais** A : 35/ 92 virgule 9 E : hein A : euh/ 923 j'veux dire (2s) eh la la (inaudible) elle (rires) M : ouais	A *Pdim ↔ Vaug* E *Pdim ↔ Vaug*

Tableau 7.47 : Évolution du lien entre la pression et le volume

Au cours de la prise de mesure, Anne réalise que la pression diminue lorsque l'on augmente le volume (idée *Pdim ↔ Vaug*), réutilisant l'idée de la question (P2A2EX2). Nous interprétons cette évolution comme une augmentation du domaine d'application de l'idée *Pdim↔ Vaug* et plus particulièrement par la sélection entre deux idées contradictoires (*Pdim↔Vaug* et *Paug↔Vaug*) utilisées pour la même situation (voir cadre théorique des idées). L'élément du milieu responsable de cette évolution est l'expérience, qui utilise une seringue et un pressiomètre (noté expérience (seringue pressiomètre).

En résumé, Anne et Ellen utilisent l'idée *Paug ↔ Vdim* durant la question (P2A2EX2). Dans l'activité suivante Anne utilise l'idée *Paug↔Vaug.* Cette nouvelle idée va être réutilisée par Ellen puis par Anne dans la question P2.2A1Qa, avant d'évoluer dans la question P2.2A1EX pour laquelle elles utilisent l'idée *Pdim ↔ Vaug.* Cette évolution correspond à la sélection entre deux idées contradictoires et l'élément du milieu responsable de cette évolution est l'expérience (seringue et pressiomètre).

5.3.4. Lien entre la pression et la température

La question P3A2Qb demande de déterminer expérimentalement comment évolue la pression de l'air contenu dans une seringue lorsque sa température augmente. Au cours de l'expérience Anne et Ellen établissent que la pression augmente lorsque la température du gaz augmente (idée *Paug↔Taug*). Il semble que ce lien entre la pression et la température a été établi à partir de l'expérience.

5.3.5. Pression et molécules

Comme nous l'avons montré dans l'analyse des aspects particulaires des gaz (voir plus haut), Anne et Ellen n'utilisent pas spontanément les chocs des molécules pour décrire la pression (idée *P = chocs des molécules*). En effet, à chaque fois qu'elles l'utilisent cette idée a été au préalable employée soit par un autre élève soit par l'enseignante. En conclusion, nous donnons cette idée avec son domaine d'application *P = chocs des molécules* (P2A2Qd, P2A2Qf, P2.2A2Qc).

Conclusion sur les idées d'Anne et Ellen sur les différents aspects de la pression

Il apparaît qu'elles décrivent l'action de l'air essentiellement dans les situations de compression, ne faisant intervenir aucun appareil de mesure. De plus, elles établissent un lien entre l'action de l'air et la pression. Cependant, elles utilisent le mot pression, pour décrire à la fois la mesure de la pression et l'action du gaz. Dans la suite de la séquence, Anne et Ellen vont construire différents aspects de la pression, notamment :

- que la pression est homogène,
- qu'il y a de la pression lorsqu'aucune action n'est exercée sur l'enceinte,
- que la pression augmente lorsque la température augmente,
- que la pression est liée aux chocs des molécules.

Anne et Ellen vont corriger le lien qu'elles avaient établi entre la pression et le volume (*Paug ↔ Vaug*) afin qu'il soit en accord avec l'expérience utilisant un pressiomètre. L'élément du milieu responsable de cette sélection entre deux idées contradictoires est l'expérience et particulièrement le pressiomètre.

6. Lourdeur

Durant toute la séquence d'enseignement, seulement deux questions traitent de la masse du gaz. En effet, la question P1A2Q2S demande de représenter des petites parties d'air ayant la même masse et la question P1A2Q3Q2S demande de corriger ces représentations à l'aide du modèle. Durant la question P1A2Q2S Anne puis Ellen relient la masse au nombre de molécules (idée *masse = nbre de molécules*). En effet, elles représentent des parties de même masse, par le même nombre de molécules (voir transcription TP1 de 33m 15s, 36m 40s). Ce nouveau lien est nécessaire pour répondre à la question. Cependant nous n'avons pas réussi à identifier parmi les éléments du milieu, celui (ou ceux) qui serai(en)t responsables de ce nouveau lien. Au début de cette question Anne s'interroge sur la masse (tableau 7.48)

Temps	Question	Description	Transcription	Idée
00:35:23:18	P1A2Q2S	A & E parlent de la définition de la masse	A : la masse/ alors la masse on avait dit que c'était quoi (?) E : égale A : qu'est-ce qu'est égale/ **la masse c'est comme le poids**/ non (?) E : ouais A : **le volume** non (?) E : non j'crois pas le volume	 A masse = poids A masse = V E masse diff V

Tableau 7.48 : Anne semble relier la masse au volume

Au cours de cet extrait, Anne essaie d'associer la masse au volume. Cependant, Ellen ne semble pas d'accord avec cette association. Durant la correction de cette question à l'aide du modèle, Anne demande à Ellen "euh qu'est-ce que j'veux dire/ là **le volume est plus petit**/ t'es sûr que **la masse sera la même** (?)". Cette question sous-entend, que si le volume est plus petit alors la masse doit diminuer aussi (idée *masse = V*). Le reste de la séquence ne traite pas de la masse, c'est pourquoi, nous ne savons pas si cette idée évolue ou non.

En résumé, Anne et Ellen relient la masse au nombre de molécules (idée *masse = nbre de molécules*) durant les questions P1A2Q2S et P1A2Q3Q2S, sans que nous ayons pu identifier le ou les éléments responsables de ce lien. Anne semble relier la masse au volume en considérant que la masse varie comme le volume.

Conclusion sur l'évolution des idées d'Anne et Ellen au cours de l'enseignement

En guise de conclusion, nous proposons de rappeler l'évolution des idées d'Anne et Ellen au cours de la séquence d'enseignement sur les gaz. Pour chacune de nos catégories sur les gaz, nous donnons sous forme de tableau les idées d'Anne et Ellen, en précisant :

1. l'élève qui utilise l'idée, nous notons A pour Anne et E pour Ellen ;
2. le nom de l'idée et les situations qui forment son domaine d'application ;
3. le type d'évolution observé : addition d'une nouvelle idée, nouveau lien entre des idées, distinction ou regroupement des idées, augmentation ou diminution du domaine d'application, sélection entre deux idées pour une même situation (voir dans le cadre théorique, l'évolution des idées) ;
4. les éléments du milieu, que nous considérons responsables de l'évolution des idées.

Avant de commencer cette présentation, nous tenons à rappeler que, le type d'évolution appelé "nouvelle idée" consiste soit à établir un lien entre une nouvelle idée et une situation, soit entre une nouvelle idée et une idée déjà acquise par l'élève (voir cadre théorique). Le terme "nouvelle idée" est utilisé pour désigner la première fois qu'une idée est reconstruite durant le déroulement de la séquence d'enseignement. Compte tenu des hypothèses que nous adoptons sur l'apprentissage, cette idée ne surgit pas de nulle part, mais elle est construite à partir des connaissances initiales de l'élève, ainsi que des différents éléments du milieu. Comme nous l'avons montré durant cette analyse, chaque idée est utilisée pour un type particulier de situations proposées par l'enseignement. Ceci montre que les questions conditionnent en grande partie l'utilisation des idées d'Anne et Ellen durant la séquence sur les gaz.

1. Le sens des mots

Il apparaît que l'évolution des idées sur le sens des mots ne dépend pas toujours d'un élément du milieu en particulier et que la plupart du temps elle semble provenir de plusieurs éléments. Nous avons présenté dans des tableaux différents l'évolution des idées d'Anne et Ellen pour chacun des mots suivants : macroscopique, pression et gaz.

Le mot macroscopique

Le tableau 7.49 présente l'évolution des idées sur le mot macroscopique.

Anne et/ou Ellen	***Idée* (domaine d'application)**	**Type d'évolution**	**Éléments du milieu considérés comme responsables de l'évolution**
A	*Macroscopique = ce qu'on voit* (P1A1Q3)	Nouvelle idée	
E	*Macroscopique = ce qu'on voit* (P1A1Q3)	Nouvelle idée	Élève A
A	*Macroscopique = ce qu'on voit* (P1A1Q3, Correc P1A1Q3)	Augmentation du domaine d'application	
E & A	*Macroscopique = ce que l'on perçoit avec les sens* (P1A1Q3)	Nouvelle idée	Professeur, Expérience (seringue)

Tableau 7.49 : Évolution des idées sur le mot macroscopique

Anne utilise le mot macroscopique, avec la signification de "ce que l'on voit" dans la question P1A1Q3 et sa correction. Lorsqu'elle utilise cette idée, il semble qu'Anne ne s'appuie sur aucun des éléments du milieu. C'est pourquoi, nous supposons que cette idée fait partie de ses connaissances antérieurs. En revanche, Ellen n'utilise cette idée qu'après l'explication d'Anne lui donnant la définition du mot macroscopique. Nous supposons donc que l'apparition de cette nouvelle idée chez Ellen est due à la définition que lui donne Anne. Au cours de la question P1A1Q3, le sens donné au mot macroscopique par Anne et Ellen évolue (idée *macroscopique = ce que l'on perçoit avec les sens*). Il semble que cette évolution provienne essentiellement de deux éléments du milieu. Le premier élément semble être la définition donnée par l'enseignante, définition qu'Anne et Ellen réutilisent par la suite. Le second élément semble venir de l'expérience, et particulièrement de la manipulation de la seringue, qui permet, en passant par le toucher, de sentir indirectement l'action de l'air. Nous pensons que ces deux éléments ont contribué à l'émergence de cette nouvelle idée chez Anne et Ellen.

Le mot pression

Le tableau 7.50 présente l'évolution des idées sur le mot pression.

Anne et/ou Ellen	***Idée* (domaine d'application)**	**Type d'évolution**	**Éléments du milieu considérés comme responsables de l'évolution**
A & E	*pression = action de pousser* (P1A1Q2)	Nouvelle idée	Expérience (Seringue)
A & E	*pression = action de pousser* (P1A1Q2&3, P2A2Qb)	Augmentation du domaine d'application	Expérience (compression air dans une seringue)
A & E	*pression = grandeur* (P2A2Ex1)	Nouvelle idée	Feuille de TP, Expérience (pressiomètre)
A & E	*pression = grandeur* (P2A2Ex1&2,Qa,&c, P2A2Qb, P2.2A1Qa, P2.2A2Qb,c&d)	Augmentation du domaine d'application	Expérience (seringue + pressiomètre) Feuille de TP (énoncé demandant de mesurer la pression)

Tableau 7.50 : Évolution des idées sur le mot pression

Anne et Ellen donnent au mot pression une signification proche de l'action de pousser pour décrire l'action de l'air comprimé dans une seringue. Il semble que la manipulation de la seringue joue un rôle dans la construction de cette idée et particulièrement le fait de pouvoir sentir l'action de l'air à travers le piston de la seringue. Cette idée sera réutilisée dans deux autres questions, augmentant ainsi son domaine d'application. Nous pensons que l'augmentation du domaine d'application provient du fait que ces situations ont des traits de surfaces très proches. En effet, elles utilisent les mêmes objets (air contenu dans une seringue) et les mêmes événements (on comprime de l'air en appuyant sur le piston de la seringue).

Dans la question P2A2Ex1, Anne et Ellen donnent une autre signification au mot pression (idée *pression = grandeur*). Nous pensons que cette nouvelle idée est due essentiellement à deux éléments du milieu. Le premier est l'énoncé de cette question qui demande de mesurer la pression et le second est l'utilisation d'un pressiomètre permettant d'effectuer cette mesure. Anne et Ellen vont réutiliser cette idée dans plusieurs questions, augmentant ainsi son domaine d'application. Toutes les situations dans lesquelles cette idée est réutilisée utilisent un pressiomètre et l'énoncé demande de mesurer la pression. Nous pensons que ces deux éléments sont responsables en grande partie de l'augmentation du domaine d'application de cette idée.

Il est intéressant de remarquer que les idées (1) *pression = action de pousser* et (2) *pression = grandeur* ne semblent pas être contradictoires pour Anne et Ellen. En effet, la première idée est utilisée pour décrire l'action de l'air et la seconde pour décrire la mesure de la pression. Ces deux idées sont d'ailleurs utilisées simultanément pour répondre à la question (P2A2Qb), qui demande de décrire la manière dont évolue l'action du gaz contenu dans une seringue lorsque la pression augmente.

Le mot gaz

Le tableau 7.51 présente l'évolution des idées d'Anne sur le mot gaz.

Anne et/ou Ellen	***Idée* (domaine d'application)**	**Type d'évolution**	**Éléments du milieu considérés comme responsables de l'évolution**
A	*air = gaz* (P2A2Qb)	Nouvelle idée	Autres élèves, Feuille TP (énoncé de la question)

Tableau 7.51 : idée sur le mot pression

Dans la question P2A2Qb, Anne utilise les mots gaz et air avec le même sens. Cette nouvelle idée est d'abord utilisée par une autre élève (Marie) de son groupe. Nous pensons que l'apparition de cette nouvelle idée est due à l'explication donnée par Marie, ainsi qu'à l'énoncé de la question qui utilise les mots air et gaz.

2. Aspects particulaires

Cette partie présente, tout d'abord, le rôle que joue l'énoncé dans l'utilisation des molécules, puis les idées sur les molécules qu'Anne et Ellen ont établies lors de l'élaboration de leurs réponses à certaines questions.

Le rôle des énoncés dans l'utilisation des molécules

Anne et/ou Ellen	***Idée* (domaine d'application)**	**Type d'évolution**	**Éléments du milieu considérés comme responsables de l'évolution**
A &E	*air est composé de molécule* (P1A2Q1)	Nouvelle idée	Feuille de TP (énoncé)
A & E	*air est composé de molécule* (P1A2Q1&2&3, P1A3Q1&2&3, P1.2A1Q1&2&3, P2A1Ex2Qc, P2A2Qd&f, P2.2A2Qc&d)	Augmentation du domaine d'application	Feuille de TP (énoncé)
A	*air est composé de molécule* (P1A2Q1&2&3, P1A3Q1&2&3, P1.2A1Q1&2&3, P2A1Ex2Qc, P2A2Qd&f, P2.2A2Qc&d, **P2A2Qa**, **P2.2 A1Qa**)	Augmentation du domaine d'application	
A	*molécules se répartissent partout → pression est la même* (**P2A2Qa**)	Nouveau lien entre deux idées	
A	*V aug+ →+ nbre molécules aug* (**P2.2A1Qa**)	Nouveau lien entre deux idées	

Tableau 7.52 : Évolution des idées sur l'utilisation des molécules (les questions en gras ne demandant pas explicitement d'utiliser les molécules).

Les premières questions de la séquence laissent le choix aux élèves de représenter l'air dans une seringue en se plaçant soit au niveau macroscopique, soit au niveau microscopique. La question suivante demande de représenter de décrire ce qui change pour l'air, en se plaçant au niveau macroscopique puis au niveau microscopique. Dans aucune de ces questions Anne et Ellen n'utilisent les molécules. Comme le montre le tableau 7.52, ce n'est qu'à partir de la question P1A2Q1, qu'elles utilisent pour la première fois l'idée *l'air est composé de molécules*. Nous pensons que l'apparition de cette nouvelle idée est due à l'énoncé de la question qui demande explicitement d'utiliser les molécules. Dans la suite de la séquence, Anne et Ellen réutilisent cette idée dans un nombre important de questions. Nous pensons que l'augmentation du domaine d'application de cette idée est due aux énoncés des questions, qui demandent explicitement de les utiliser.

Il est intéressant de voir que seule Anne utilise les molécules dans deux questions (P2A2Qa et P2.2A1Qa) qui ne l'exigent pas. De plus, dans ces questions, elle va établir des liens avec des grandeurs macroscopiques. Cependant, nos données ne nous permettent pas de faire de suppositions sur les éléments du milieu responsables de ces liens.

Anne et/ou Ellen	***Idée* (domaine d'application)**	**Type d'évolution**	**Éléments du milieu considérés comme responsables de l'évolution**
A & E	*chocs des molécules ↔ pression* (correc P2A2Qd)	Nouveau lien entre deux idées	Autres élèves, Professeur
A & E	*chocs des molécules ↔ pression* (correc P2A2Qd, P2.2A2Qc&d)	Augmentation du domaine d'application	Autres élèves, Professeur
A	*T aug→molécules accélèrent* (P2.2A2Qd)	Nouveau lien entre deux idées	
E	*molécules d'eau se touchent* (correcP2A1Ex2Qc)	Nouvelle idée	

Tableau 7.53 : Évolution des idées sur les molécules

Anne et Ellen utilisent le lien entre la pression et les molécules uniquement dans les questions qui le demandent (P2A2Qd, P2.2A2Qc&d). Il semble qu'elles établissent ce lien à partir des discussions entre les élèves et l'enseignante au cours de la correction. C'est pourquoi, nous pensons que les éléments du milieu responsables de cette évolution sont les autres élèves et l'enseignante. De plus, Anne établit un lien entre la variation de la température et la vitesse des molécules dans la question P2.2A2Qd dont le but est de faire établir ce lien aux élèves. Durant la correction de la question P2A1Ex2Qc, Ellen établit que les molécules d'eau se touchent entre elles. Il semble qu'elle ne s'appuie sur aucun des éléments du milieu pour construire cette nouvelle idée.

3. Présence d'un gaz

Dans cette partie, nous présentons l'évolution des idées d'Anne et Ellen sur la présence de l'air dans une enceinte, puis sur le lien entre la quantité et le volume. Nous finirons par la présentation des idées sur le lien entre la quantité et le nombre de molécules.

Évolution des idées sur la présence d'un gaz dans une enceinte

Anne et/ou Ellen	***Idée* (domaine d'application)**	**Type d'évolution**	**Éléments du milieu considérés comme responsables de l'évolution**
A	*air est présent dans une enceinte* (P1A1Q1)	Nouvelle idée	
E	*air n'est pas présent dans une enceinte* (P2A1Ex2Qa)	Nouvelle idée	
A	*air est présent dans une enceinte* (P1A1Q1, P2A1Ex2Qa)	Augmentation du domaine d'application	
E	*air est présent dans une enceinte* (P2A1Ex2Qa)	Sélection entre deux idées contradictoires	Expérience (seringue bouteille), Élève A (arguments perceptibles : piston remonte (vue) et ça fait pshhh (ouïe))
E	*air est présent dans une enceinte* (P2A1Ex2Qa&b)	Augmentation du domaine d'application	

Tableau 7.54 : Évolution des idées sur la présence de l'air dans une enceinte

Dans la question P1A1Q1, Anne considère qu'il y a de l'air dans une seringue ouverte. Il semble qu'elle utilise cette nouvelle idée sans s'appuyer sur les éléments du milieu. C'est pourquoi, nous supposons que cette idée fait partie de ses connaissances préalables. Dans une nouvelle question (P2A1Ex2Qa) demandant de rajouter de l'air dans une bouteille pleine d'air, Ellen considère qu'il n'y a pas d'air dans la bouteille ouverte. Nous pensons que cette idée provient aussi de ses connaissances antérieures, puisqu'elle ne semble pas s'appuyer sur les éléments du milieu. À la suite de cette remarque, Anne va essayer de convaincre Ellen, qu'il y a de l'air dans la bouteille en s'appuyant sur certains éléments perceptibles de l'expérience (le piston de la seringue qui remonte (vue) et lorsque l'on enlève la seringue de la bouteille ça fait "pshhhh" (ouïe)). À la suite de cette explication, Ellen utilise l'idée qu'il y a de l'air dans la bouteille. Nous interprétons cette évolution par la sélection entre deux idées contradictoires pour une même situation (voir cadre théorique sur les idées). Nous pensons que les éléments responsables de cette évolution sont l'explication d'Anne et les éléments perceptibles de l'expérience. Dans la question suivante, Ellen réutilise cette idée, ce que nous interprétons par une augmentation du domaine d'application de cette idée.

Anne et/ou Ellen	***Idée* (domaine d'application)**	**Type d'évolution**	**Éléments du milieu considérés comme responsables de l'évolution**
A	*Vaug* ↔ *Qaug* (P1A1Q1)	Nouveau lien entre deux idées	
A	*Vaug* ↔ *Qaug* (P1A1Q1, P1A1Q3macro, P2.2A1Qa, A1Q1 logiciel)	Augmentation du domaine d'application	Expériences
A	*Vdim* ↔ *Qid* (P1A1Q3micro)	Nouveau lien entre deux idées	Élève E et Expérience (seringue)
E	*V=Q* (P1A1Q3micro)	Nouvelle idée	
E	*V diff Q* (P1A1Q3micro)	Distinction entre deux idées	Élève A
A&E	*Vdim↔Qid* (P1A2Q1S, P1A2Q1Q, P1A2Q2S, correcP1A2Q1)	Augmentation du domaine d'application	

Tableau 7.55 : Évolution des idées sur le lien entre la quantité et le volume

Dans la question P1A1Q1, Anne utilise l'idée que la quantité varie comme le volume (*Vaug↔Qaug*). Elle va ensuite utiliser cette idée dans plusieurs situations de la séquence d'enseignement, ce que nous interprétons par une augmentation de son domaine d'application. Cependant, dans la question P1A1Q3micro, Anne va établir un nouveau lien entre la quantité et le volume (*Vdim↔Qid*). Nous supposons que cette évolution est due à deux éléments du milieu. Le premier est Ellen, qui lui signale que l'air à l'intérieur ne change pas lorsque l'on appuie sur le piston. Le second semble être l'expérience, puisqu'Anne est en train de comprimer de l'air dans une seringue. Toujours dans la question P1A1Q3micro, Ellen semble ne pas faire la différence entre le volume et la quantité. Au cours d'une discussion, Anne lui explique cette différence et il semble qu'à la suite de cette explication, Ellen fasse la distinction entre la quantité et le volume. Nous interprétons l'évolution d'Ellen par une distinction entre deux idées (voir cadre théorique) et nous pensons que cette évolution est due à l'explication d'Anne. Dans la suite de la séquence d'enseignement, Anne et Ellen utilisent l'idée *Vdim↔ Qid* dans plusieurs situations, ce qui correspond à une augmentation de son domaine d'application. Cependant, nos données ne permettent pas d'identifier les éléments du milieu responsables de cette augmentation.

Évolution des idées sur le lien entre la quantité et le nombre de molécules

Anne et/ou Ellen	***Idée* (domaine d'application)**	**Type d'évolution**	**Éléments du milieu considérés comme responsables de l'évolution**
A	*Q= nbre de molécules* (P1A2Q1)	Nouveau lien entre deux idées	Feuille de TP (énoncé)
E	*Q= nbre de molécules* (P1A2Q1)	Nouveau lien entre deux idées	Élève A
A	*Q= nbre de molécules* (P1A2Q1, P1A2Q1schéma, P1A2Q2schéma, P1A2Q3Q1schéma, correc P1A2Q1schéma, correc P1A1Q3micro, P1.2A1)	Augmentation du domaine d'application	Feuille de TP (énoncé)
A & E	Pas d'abstraction (P1A2Q1&2)		
A	Abstraction (Correction P1A2Q1, P1A3Q1&2, P1.2A1Q2)	augmentation domaine d'application	Professeur

Tableau 7.56 : Évolution des idées sur le lien entre la quantité et le nombre de molécules

Au cours de la question P1A2Q1 Anne établit un lien entre la quantité et le nombre de molécules. Nous pensons que cette évolution provient de l'énoncé qui demande de représenter avec des molécules une petite partie d'air. Au cours de cette question, Ellen établit aussi ce lien et nous pensons que cela provient de l'explication donnée par Anne. Par la suite, seule Anne va réutiliser cette idée dans plusieurs situations. Nous pensons que l'augmentation du domaine d'application de cette idée est due au fait que les énoncés des différentes questions demandent tous de représenter de l'air à l'aide des molécules sur un schéma. Outre le fait de représenter l'air par des molécules, Anne va réussir à faire une "abstraction", qui consiste à isoler une petite partie d'air contenu dans une seringue et à évaluer le nombre de molécules présent dans cette partie lorsque l'on bouge la piston de la seringue. Cette "abstraction" a été effectuée durant la correction de la question P1A2Q1, et il semble que l'explication de l'enseignante soit responsable de cette évolution. Anne va réutiliser ce raisonnement dans plusieurs questions de la séquence d'enseignement, augmentant son domaine d'application. Nous pensons que cette augmentation provient de la "ressemblance" des situations proposées par ces questions.

4. Répartition d'un gaz

Anne et/ou Ellen	*Idée* (domaine d'application)	Type d'évolution	Éléments du milieu considérés comme responsables de l'évolution
A & E	*molécules se répartissent à un endroit* (P1A2Q1&2)	Augmentation du domaine d'application	Feuille de TP (dessin)
A & E	*molécules se répartissent partout* (P1A2Q3)	Nouvelle idée	Texte du modèle micro (Propriété G2)
A & E	*molécules se répartissent partout* (P1A2Q3, P1.2A1)	Augmentation du domaine d'application	Feuille de TP (dessin)
A	*molécules collées aux parois* (P1A2Q3)	Nouvelle idée	Texte du modèle micro (Propriété G2)
A	*molécules collées aux parois* (P1A2Q3, P2A2Qd)	Augmentation du domaine d'application	Autre élève

Tableau 7.57 : Évolution des idées sur la répartition des gaz

Dans la question P1A2Q1, Anne et Ellen représentent de manière spontanée les molécules regroupées à un endroit. Nous supposons que cette idée fait partie de leurs connaissances préalables, car elles ne semblent pas utiliser les éléments du milieu. Cette idée va être réutilisée dans une situation ayant des traits de surface très proches (représenter un schéma au niveau microscopique de l'air contenu dans une seringue). Il semble que l'augmentation du domaine d'application de cette idée soit due à la ressemblance des énoncés. La question P1A2Q3 demande de corriger les représentations en utilisant le modèle microscopique des gaz. Dans cette question Anne et Ellen représentent les molécules réparties partout. Nous pensons que l'utilisation de cette nouvelle idée semble provenir du texte du modèle, particulièrement de la propriété G2, qui précise que "les molécules sont très éloignées les unes des autres et se répartissent dans tout le volume qui leur est offert". Cette idée est réutilisée dans une autre question, qui demande cette fois de représenter à l'aide des molécules le mélange de deux gaz.

Il est intéressant de voir qu'à partir de la même propriété G2 du modèle, il semble qu'Anne élabore l'idée *les molécules sont collées aux parois.* En effet, il semble qu'elle s'appuie sur la phrase du modèle "les molécules sont très éloignées les unes des autres", pour en déduire qu'elles sont collées aux parois. Anne va réutiliser cette idée dans une autre

question, ce qui correspond à une augmentation de son domaine d'application. Il semble qu'Anne réutilise l'idée qui vient d'être employée par un autre élève au cours de la correction qui s'est déroulée juste auparavant. Nous pensons que l'augmentation du domaine d'application est due à l'intervention de cet autre élève.

5. Action du gaz

Cette partie présente, dans un premier temps, les idées d'Anne et Ellen sur le lien entre la pression et le volume et dans un second temps différentes idées sur la pression.

Anne et/ou Ellen	***Idée* (domaine d'application)**	**Type d'évolution**	**Éléments du milieu considérés comme responsables de l'évolution**
A & E	*Pdim*↔*Vaug* (P2A2Qa)	Nouveau lien entre deux idées	Expérience (Seringue+ pressiomètre)
A	*Paug*↔*Vaug* (P2A3Qb)	Nouveau lien entre deux idées	
A & E	*Paug*↔*Vaug* (P2A3Qb, P2.2A1Qa)	Augmentation du domaine d'application	Élève E
A & E	*Pdim*↔*Vaug* (P2.2A1Ex1)	Sélection entre deux idées contradictoires	Expérience (Seringue+ pressiomètre)

Tableau 7.58 : Évolution du lien entre la pression et le volume

Au cours de la question P2A2Qa, qui demande la manière dont évolue la pression de l'air dans une seringue lorsque son volume augmente, Anne et Ellen établissent le lien entre l'augmentation du volume et la diminution de la pression (*Pdim*↔*Vaug*). Nous pensons que ce nouveau lien a été établi à partir de l'expérience mettant en jeu une seringue reliée à un pressiomètre. Dans la question P2A3Qb utilisant deux seringues de tailles différentes, Anne établit un nouveau lien entre la pression et le volume (*Paug*↔*Vaug*). Ce nouveau lien sera proposé ensuite par Ellen au cours de la question P2.2A1Qa. Ce lien sera réutilisé par Anne, ce qui témoigne d'une augmentation de son domaine d'application. Nous pensons que cette augmentation provient essentiellement de la proposition d'Ellen. Au cours de la question P2.2A1Ex1, demandant de mesurer expérimentalement la pression de l'air contenu dans une seringue lorsque l'on fait varier son volume, Anne réalise que la pression diminue lorsque l'on augmente le volume d'une seringue. Nous interprétons cette évolution par une sélection entre deux idées contradictoires pour une même situation (voir l'évolution des idées dans notre

cadre théorique). En effet, à la suite des mesures effectuées à l'aide du pressiomètre, Anne va choisir d'utiliser le lien *Pdim↔Vaug* à la place de *Paug↔Vaug* utilisé précédemment. Nous pensons que cette évolution est due l'expérience et particulièrement à l'utilisation du pressiomètre et de la seringue.

Anne et/ou Ellen	***Idée* (domaine d'application)**	**Type d'évolution**	**Éléments du milieu considérés comme responsables de l'évolution**
A & E	*air agit* (P1A1Q2&3, P2A1Ex2Qa)	Nouvelle idée et augmentation du domaine d'application	Expérience (seringue)
A & E	*P aug ↔ action air aug* (P2A2Qb)	Nouveau lien entre deux idées	Modèle macro
A & E	*pression est homogène* (P2A2Qa)	Nouvelle idée	Modèle macro
A & E	*P sans action sur l'enceinte* (P2A2Ex1)	Nouvelle idée	Professeur
A & E	*Paug↔Taug*(P3A2Qb)	Nouveau lien entre deux idées	Expérience (seringue + pressiomètre)
A & E	*P ↔ chocs des molécules* (P2A2Qd, P2A2Qf, P2.2A2Qc)	nouvelle idée et augmentation du domaine d'application	Autres élèves et professeur

Tableau 7.59 : Évolution des idées sur la pression

Au cours de la séquence, Anne et Ellen vont utiliser un certain nombre de nouvelles idées sur la pression. Tout d'abord, elles semblent établir que l'air agit dans plusieurs situations faisant appel uniquement à la seringue. Nous pensons que le fait de sentir (en passant par le toucher) l'action du gaz à travers le piston de la seringue, favorise la construction de cette nouvelle idée. De plus, Anne et Ellen établissent un nouveau lien entre la pression et l'action du gaz. En nous fondant sur leurs discussions, nous pensons que ce lien est établi à partir du modèle macroscopique, particulièrement à partir de la phrase "la **pression** du gaz rend compte de l'**action** de ce gaz sur toutes les parois du récipient". À partir de leurs discussions durant la question P2A2Qa, nous pensons que la nouvelle idée sur "l'homogénéité" de la pression provient du modèle macroscopique, et particulièrement de la phrase "les grandeurs température et **pression sont les mêmes partout** dans le récipient fermé". Il semble que les idées qu'il y a une pression dans une seringue sans action dessus et que la pression est reliée aux chocs des molécules proviennent des remarques de

l'enseignante. C'est pourquoi, nous supposons que l'élément du milieu responsable de ces nouvelles idées est l'enseignante. Pour terminer, il apparaît qu'Anne et Ellen établissent un lien entre la pression et la température à partir de l'expérience, notamment en chauffant avec un sèche cheveux une seringue reliée à un pressiomètre. Nous pensons que l'élément du milieu responsable de ce nouveau lien est cette expérience.

Conclusion sur le rôle des éléments du milieu

Introduction

Cette partie propose de conclure sur le rôle que jouent les éléments du milieu dans l'évolution des idées des élèves. Compte tenu de nos hypothèses adoptées sur l'apprentissage, nous considérons que l'évolution des idées dépend des connaissances initiales des élèves et des éléments du milieu avec lesquels ils interagissent. Il est évident que l'apprentissage est beaucoup plus complexe que le modèle que nous proposons et qu'il dépend d'un nombre de facteurs plus importants. Néanmoins, nous proposons de conclure sur le rôle des éléments du milieu en gardant à l'esprit que d'autres facteurs sont probablement intervenus. Nous présentons séparément les rôles des échanges entre les individus, des expériences et des supports didactiques. Cependant, nous considérons que plusieurs éléments peuvent jouer simultanément un rôle sur l'évolution des idées des élèves.

1. Le rôle des échanges entre les individus

Nous présentons l'analyse du rôle des échanges entre les individus en faisant la distinction entre le rôle des élèves travaillant en groupe, celui des interventions du professeur et celui des autres élèves de la classe.

1.1. Les élèves travaillant en groupe

Au cours de la séquence d'enseignement sur les gaz, Anne et Ellen ont été amenées à travailler ensemble durant les TP et par groupe de quatre avec Marie et Adèle durant les cours en classe entière. Durant l'enseignement, les échanges entre ces élèves ont été très nombreux. À ce propos, il semble que les explications d'Anne aient permis à Ellen de construire un certain nombre d'idées "correctes" du point de vue de la physique, notamment d'établir le lien entre la quantité et le nombre de molécules, de construire la présence de l'air dans une

enceinte ouverte, ainsi que de faire la distinction entre le volume et la quantité. Cependant, toujours à la suite des explications d'Anne, Ellen a adopté une définition du mot macroscopique "erronée" du point de vue de la physique, entraînant certaines difficultés pour répondre à quelques questions. Dans l'ensemble, l'apport d'Anne a été bénéfique pour Ellen, précisons qu'il a été, la plupart du temps, simultanément conforté par les expériences. L'apport d'Ellen au niveau des idées d'Anne semble moins important, cependant elle est à la base du nouveau lien entre la quantité et le volume. Il est intéressant d'observer que, pour ce lien, Anne et Ellen se sont aidées mutuellement. Ellen a aussi contribué à ce qu'Anne réutilise le lien "erroné" du point de vue de la physique, qui relie l'augmentation de la pression avec celle du volume. Cependant ce lien a été "corrigé" au cours d'une expérience utilisant un pressiomètre. Durant le travail en groupe de quatre, il semble que Marie ait contribué à ce qu'Anne emploie les mots gaz et air pour désigner la même chose (l'air contenu dans une seringue). En conclusion, il apparaît que les échanges entre les élèves ont eu un rôle important et le plus souvent bénéfique sur l'évolution des idées d'Anne et Ellen durant l'enseignement.

1.2. Les interventions du professeur

Durant l'enseignement Anne et Ellen vont réutiliser certaines idées de l'enseignante, notamment, le lien reliant la pression avec les chocs des molécules, ainsi que la définition du mot macroscopique. De plus, Anne reprendra "l'abstraction" expliquée par l'enseignante (voir l'analyse des aspects particulaires). Il est intéressant d'observer que ces idées sont apparues lorsque l'enseignante s'adressait à toute la classe : soit au cours de la correction au tableau pour l'abstraction et le lien entre la pression et les chocs des molécules, soit après qu'elle ait constaté une difficulté en passant dans les différents groupes d'élèves, pour la définition du mot macroscopique.

1.3. Les interventions des autres élèves de la classe

La correction est faite par l'enseignante en interrogeant certains élèves, puis en discutant les réponses avec le reste de la classe. Il apparaît qu'Anne et Ellen vont réutiliser certaines idées émises par les élèves interrogés durant la correction, notamment le lien entre la pression et les chocs des molécules et qu'Anne reprend l'idée des molécules concentrées sur les parois.

2. Le rôle de l'expérience

Durant l'enseignement, les élèves sont amenés à réaliser différentes expériences sur les gaz, nous présentons le rôle des expériences "simples" (c'est-à-dire sans appareil de mesure) et celui des expériences utilisant le pressiomètre.

2.1. Expériences "simples"

Il semble que les expériences utilisant la seringue sans le pressiomètre ont contribué à l'évolution de plusieurs idées d'Anne et Ellen. En effet, nous pensons que le fait de pouvoir percevoir indirectement l'air contenu dans la seringue en passant par le toucher a joué un rôle dans l'élargissement de la définition du mot macroscopique ainsi que dans la construction de l'idée que l'air agit. Cependant, il est apparu que cette expérience favorise aussi l'utilisation du mot pression comme l'action de pousser, ce qui ne correspond pas à la définition de la grandeur pression en physique. Il semble que la seringue a aussi joué un rôle lorsqu'Anne et Ellen ont établi la relation entre le volume et la quantité. Cependant, nous ne pouvons pas préciser les éléments perceptibles qui ont joué. Nous pensons que l'expérience, utilisant une seringue et une bouteille remplie d'air, a joué un rôle important pour Ellen lors de la construction de la présence de l'air dans une enceinte. En effet, pour convaincre Ellen de la présence de l'air dans la bouteille, Anne s'est appuyée sur des éléments perceptibles, notamment sur le fait que le piston remonte (vue) et que lorsque l'on enlève la seringue on entend un bruit : "pshhhh" (ouïe). En conclusion, il semble que les expériences "simples" de la séquence ont permis à Anne et Ellen de construire, à partir d'éléments perceptibles, plusieurs idées correctes du point de vue de la physique. Cependant, l'expérience de la seringue semble aussi favoriser l'utilisation du mot pression avec la signification de l'action de pousser.

2.2. Expérience utilisant le pressiomètre

Les expériences utilisant un pressiomètre semblent favoriser pour Anne et Ellen l'utilisation du mot pression avec le sens d'une grandeur. De plus, ces expériences ont permis d'établir des liens entre la pression et le volume d'une part, et entre la pression et la température d'autre part. Il est particulièrement intéressant de voir que l'expérience quantitative utilisant une seringue et un pressiomètre a permis à Anne et Ellen de modifier un lien "erroné" du point de vue de la physique, entre la pression et le volume. En conclusion, les

expériences utilisant le pressiomètre et bien sûr les questions associées (comme nous le verrons ci-dessous), semblent favoriser, chez ces élèves, l'émergence d'idées correctes du point de vue de la physique

3. Le rôle des supports didactiques

Durant l'enseignement, les élèves sont amenés à utiliser différents supports didactiques. Nous présentons l'influence de ces différents supports sur l'évolution des idées, notamment le rôle que jouent la feuille de TP, le texte du modèle, la correction au tableau et le simulateur.

3.1. Feuille de TP

Il semble que les énoncés des feuilles de TP jouent un rôle sur le sens qu'Anne et Ellen donnent à certains mots. En effet, il apparaît que les énoncés demandant de mesurer la pression semblent favoriser l'utilisation du mot pression avec la signification d'une grandeur mesurable. De même, les énoncés utilisant simultanément les mots air et gaz semblent favoriser le fait qu'Anne attribue à ces deux mots le même sens. De plus, Anne et Ellen utilisent les molécules presque uniquement dans les questions demandant explicitement de les employer. C'est pourquoi, nous supposons que les énoncés conditionnent, en grande partie, l'utilisation d'Anne et Ellen des idées sur les molécules au cours de l'enseignement. Il semble que l'énoncé de la question P1A2Q1, utilisant deux registres sémiotiques, a permis à Anne d'établir le lien entre la quantité et le nombre de molécules.

De nombreuses questions de l'enseignement utilisent des registres sémiotiques différents (langue naturelle, schéma, formule, tableau de valeur...), nous avons pu notamment observer les difficultés d'Anne et Ellen lors de l'utilisation des valeurs de la pression et du volume dans un tableau, afin de déterminer parmi plusieurs formules, celle qui permet de rendre compte de ces deux grandeurs (voir question P2.2A1Qc). À travers les productions écrites d'Anne et Ellen, nous avons observé qu'elles établissaient certains liens entre des représentations appartenant à des registres sémiotiques différents. Cependant, nous n'avons jamais réussi à établir de lien entre l'évolution des idées d'Anne et Ellen et la mise en relation de registres sémiotiques différents.

3.2. Texte du modèle

La séquence d'enseignement utilise deux modèles différents, le premier donne une interprétation microscopique des gaz et le second s'appuie sur des grandeurs macroscopiques pour rendre compte de l'état d'un gaz. Nous présentons le rôle de ces modèles dans l'évolution des idées d'Anne et Ellen.

Le modèle microscopique

Au cours de l'enseignement Anne et Ellen construisent l'idée que la répartition des molécules est homogène. Il semble que le modèle microscopique a joué un rôle important dans cette construction, particulièrement la propriété G2, spécifiant que "les molécules sont très éloignées les unes des autres et se répartissent dans tout le volume qui leur est offert. Ce volume est limité par des parois, qui sont solides ou liquides". Nous avons aussi observé qu'Anne utilise l'idée que les molécules sont concentrées sur les parois. Il semble qu'Anne a élaboré cette idée en s'appuyant sur la propriété G2 du modèle microscopique des gaz. Il est intéressant de voir qu'à partir de la même propriété de ce modèle, Anne va construire deux idées différentes, l'une sera correcte du point de vue de la physique, l'autre pas.

Le modèle macroscopique

Au cours de l'enseignement, Anne et Ellen utilisent notamment que la pression est homogène et qu'elle est reliée à l'action du gaz. Il semble que ces deux idées proviennent du modèle macroscopique des gaz. Ceci montre l'influence de ce modèle sur les idées d'Anne et Ellen à propos de la pression.

3.3. Correction au tableau

Au cours de la séquence d'enseignement sur les gaz, l'enseignante fait surtout des corrections orales, en discutant les réponses de certains élèves avec le reste de la classe. Cependant, quelques corrections sont faites au tableau, elle envoie notamment des élèves écrire leurs réponses au tableau. Il ne semble pas que les corrections écrites au tableau jouent un rôle sur l'évolution des idées d'Anne et Ellen. En effet, Anne et Ellen ne semblent pas réutiliser des éléments provenant de la correction au tableau.

3.4. Le rôle de simulateur

Au cours de la séquence d'enseignement, les élèves ont utilisé un logiciel de simulation des gaz, qui permet en agissant sur les grandeurs macroscopiques de voir les effets au niveau microscopique. Cette partie s'est déroulée à la fin de la séquence pendant une dizaine de minutes. Durant l'utilisation de ce logiciel, il semble qu'Anne et Ellen ne parlent que des grandeurs macroscopiques et qu'elles n'utilisent à aucun moment les éléments microscopiques du modèle (mouvement, chocs...). Durant son utilisation, il semble que le logiciel n'influence pas les idées sur le comportement des molécules. En revanche, il semble contribuer en partie au lien établi par Anne entre la quantité et le volume. Compte tenu du temps d'utilisation par les élèves de ce logiciel, il nous est impossible de conclure sur son influence.

Conclusion

Dans cette partie, nous avons présenté l'influence que pouvaient avoir les différents éléments du milieu sur l'évolution des idées d'Anne et Ellen. Il apparaît que les mêmes éléments du milieu peuvent avoir des rôles très différents dans l'évolution des idées d'Anne et Ellen. De plus, le même élément du milieu peut donner lieu à l'évolution d'idées différentes chez la même élève (voir rôle du modèle pour Anne). Nous tenons à conclure sur le fait que la plupart des évolutions importantes au niveau des idées d'Anne et Ellen (comme l'évolution du lien entre la quantité et le volume ou de la présence de l'air dans une enceinte), semble dépendre simultanément de plusieurs éléments du milieu. Comme, par exemple, lors de l'évolution de l'idée d'Ellen sur la présence de l'air dans une enceinte, nous avons vu que ce sont les explications d'Anne et l'expérience, qui semblent êtres responsables de cette évolution.

Conclusion

**"Le jour où le royaume des aveugles
sera une république,
les borgnes seront mal"**

Notre étude s'est intéressée au rôle que joue un enseignement à propos des gaz sur l'apprentissage des élèves de Seconde. Notre travail a adopté un certain nombre d'hypothèses sur l'apprentissage, qui sont issues de travaux en psychologie se situant dans le courant du socio-constructiviste. En partant de travaux sur le fonctionnement du savoir en physique, nous avons adopté l'hypothèse qu'apprendre revient à établir des liens, qui peuvent être de différentes natures. Parmi les nombreux liens qui peuvent être établis, deux nous semblent importants dans le cadre de l'apprentissage de la physique : le premier consiste à établir des relations entre les connaissances du monde des objets et des événements, et celles du monde des théories et des modèles et le second consiste à établir des relations entre les représentations d'un concept provenant de registres sémiotiques différents. De plus, nous avons adopté plusieurs hypothèses sur les raisonnements des élèves, à partir de travaux didactiques sur la causalité et sur les conceptions des élèves sur les gaz. Après avoir défini les différentes hypothèses que nous avons adoptées sur l'apprentissage, nous nous sommes intéressés à plusieurs travaux didactiques proposant des modélisations de l'apprentissage. En nous inspirant des travaux de Minstrell (1992) et de Balacheff (1999), nous avons développé un modèle *les idées,* que nous avons caractérisée en précisant : la manière de les reconstruire, le grain d'analyse auxquels elles correspondent, leurs fonctionnements (caractère contradictoire et domaine d'application), ainsi que leurs stabilités dans le temps et à travers les situations. De plus, nous avons envisagé différents types d'évolutions en termes de liens. Après avoir défini un modèle permettant de rendre compte de certaines formes de l'apprentissage, nous avons décidé d'adopter la notion de milieu pour modéliser les situations d'enseignement. Parmi les différents éléments présents dans les situations d'enseignement, nous avons sélectionné d'après nos hypothèses, les éléments susceptibles de jouer un rôle dans l'apprentissage des élèves. Pour apprendre, l'élève interagit avec les éléments du milieu, qui

sont les autres individus (binôme, professeur, autres élèves), les expériences et les supports didactiques (feuille de TP, texte du modèle, logiciel…).

L'utilisation *des idées* pour décrire l'apprentissage et *du milieu* pour rendre compte des situations d'enseignement, nous a permis de préciser notre problématique, qui se centre sur le rôle des éléments du milieu dans l'évolution des idées des élèves. Cette problématique nous a permis de formuler un certain nombre de questions sur la manière dont évoluent les idées des élèves durant l'enseignement, ainsi que sur les différents facteurs responsables de cette évolution. Parmi les nombreux facteurs, nous nous sommes interrogés sur le rôle des situations d'enseignement, particulièrement sur l'influence des échanges entre les individus, des expériences et des supports didactiques.

Afin de répondre à nos interrogations sur le rôle des éléments du milieu, nous avons fait le choix d'étudier "finement" dans une classe réelle certains élèves en train de suivre un enseignement sur les gaz. Nous supposons que l'évolution des connaissances à long terme dépend de microchangements intervenus à court terme, c'est pourquoi, nous avons décidé de suivre l'évolution des idées des élèves pendant l'enseignement, mais aussi d'étudier l'évolution de leurs idées avant et après l'enseignement. Par ailleurs, nous avons essayé de situer l'évolution de ces élèves par rapport aux autres élèves de leur classe, puis nous avons étudié "globalement" l'évolution cette classe par rapport à deux autres classes ayant suivi quasiment le même enseignement. Concrètement, pour l'étude "globale", nous avons fait passer un questionnaire de trente minutes, dans trois classes de Seconde, ce qui représente en tout **95** élèves interrogés avant l'enseignement et **86** élèves interrogés après. Pour l'étude "fine", nous avons fait passer un entretien filmé de trente minutes à **8** élèves de la même classe, avant et après l'enseignement sur les gaz. Nous avons filmé et recueilli les productions écrites des **8** élèves, ayant passé l'entretien, durant la totalité de l'enseignement sur les gaz. Nous avons analysé la totalité des questionnaires récuellies dans les trois classes. Pour des raisons de temps, nous avons fait le choix de nous limiter à l'analyse de deux d'élèves. Le choix de ce groupe d'élèves s'est fondé sur leur forte participation au cours de l'enseignement, ainsi que sur leur niveau moyen en physique (selon l'enseignante) les situant au même niveau que la plupart des élèves de leur classe. L'analyse des réponses des élèves sur les trois classes s'est basée sur des catégories définies à partir des travaux sur les conceptions. Pour chacune de ces catégories, nous avons défini des critères lexicaux, qui nous ont permis de reproduire à moins

de 5 % près cette analyse sur la plupart des situations proposées par le questionnaire. L'analyse des données recueillies sur les deux élèves s'est fondée sur la reconstruction des idées à partir des unités de sens en contexte. L'utilisation des idées nous a permis d'analyser chaque donnée de manière indépendante. Nous avons, dans un premier temps, essayé de déterminer la stabilité des idées à travers les situations du questionnaire et de l'entretien proposés avant l'enseignement, puis, dans un second temps, nous avons essayé de déterminer la stabilité des idées à travers les situations du questionnaire et de l'entretien proposés après l'enseignement. Dans un troisième temps, l'étude a porté sur la stabilité de ces idées dans le temps en comparant les idées reconstruites à partir des données recueillies avant l'enseignement avec celles recueillies après. Après cette première analyse, nous avons reconstruit les idées des élèves à partir des données recueillies pendant l'enseignement sur les gaz, en essayant d'identifier les éléments du milieu responsables de l'évolution des idées. Pour finir, dans cette conclusion, nous comparons l'évolution des idées reconstruites à partir des données avant/après, avec l'évolution des idées reconstruites à partir des données recueillies pendant l'enseignement.

Avant de commencer l'analyse de nos données, nous avons fait une analyse a priori des connaissances des élèves et de la séquence d'enseignement, qui a été élaborée au sein d'un groupe de recherche et développement. Nous avons fait une analyse a priori des connaissances préalables des élèves en fonction de différents aspects de l'apprentissage des concepts liés aux gaz. Ces différents aspects (sens des mots, aspect particulaire, présence des gaz, répartition des gaz, action des gaz et lourdeur) nous ont servi de base pour définir nos catégories nous permettant d'étudier l'évolution des connaissances des élèves. Nous avons ensuite analysé la séquence d'enseignement de différents points de vue. Les résultats de cette analyse nous serviront de base pour étudier le rôle des éléments du milieu sur l'évolution des idées des élèves.

Résultats de l'analyse des élèves sur plusieurs classes

Nous avons élaboré, à partir des travaux didactiques sur les gaz, un questionnaire mettant en jeu autant que possible des situations de la vie quotidienne. Le grain d'analyse du questionnaire sur les trois classes n'est pas assez fin pour utiliser les idées, néanmoins nous avons utilisé nos catégories sur les différents aspects des gaz. Notre analyse montre, qu'après

l'enseignement, environ 70 % des élèves utilisent les molécules pour représenter les gaz. Cependant, il s'avère que seulement 20 % d'élèves les utilisent dans leurs explications. Concernant la répartition des gaz dans une enceinte, on trouve qu'avant l'enseignement environ 30 % des élèves dessinent les gaz avec une répartition non homogène. De plus, nos résultats montrent que cette répartition semble dépendre de l'endroit où agit le gaz. À l'issue de l'enseignement, 70 % des élèves représentent le gaz réparti de manière homogène sur tout l'espace disponible et seulement 15 % continuent à le dessiner avec une répartition inhomogène. Concernant l'action des gaz, avant l'enseignement, seulement 27 % des élèves considèrent que le gaz agit sur toutes les parois d'une pompe à vélo. Ce résultat passe à 70 % après l'enseignement. Concernant le caractère pesant des gaz, malgré une augmentation du nombre d'explications utilisant le fait que le gaz pèse à la suite de l'enseignement, seulement 35 % des élèves l'utilisent pour la situation du ballon de foot et 50 % pour le verre de coca.

Les réponses des élèves de la classe étudiées finement aux différentes questions sont relativement proches des réponses des élèves des deux autres classes. L'écart des réponses entre cette classe et les deux autres est de 10 % à 20 % suivant les questions.

Résultat de l'analyse de l'évolution des idées d'Anne et Ellen avant/après

Dans le cas précis des deux élèves observées, le domaine d'application de la plupart de leurs idées initiales, correct du point de vue de la physique, augmente après l'enseignement. Nos résultats montrent qu'Anne a beaucoup plus d'idées sur les gaz qu'Ellen avant l'enseignement. En outre, Anne construit de nouvelles idées sur le comportement des molécules (chocs, vitesses) qui sont correctes du point de vue de la physique, mais elle les utilisera de manière incorrecte pour interpréter l'action du gaz, notamment à travers les molécules qui se concentrent sur les parois. Par ailleurs, elle continue à utiliser, pour les mêmes situations, certaines idées sur la présence des gaz (notamment l'apparition des gaz dans une enceinte fermée), qui sont erronées du point de vue de la physique. Ellen va développer, à la suite de l'enseignement, l'idée que le gaz chaud se répartit en haut, ce qui est incorrect du point de vue de la physique. Cependant, Ellen construit aussi plusieurs idées adaptées (du point de vue de la physique) pour décrire l'action du gaz. Elle établit notamment le lien entre la variation de la pression et l'action du gaz. En outre, elle utilise les chocs des molécules pour décrire l'action du gaz que l'on comprime dans une pompe à vélo, ainsi que

pour différents gaz contenus dans des ballons de baudruche. Ces deux situations ont des traits de surface très différents, ce qui témoigne d'une certaine stabilité de cette idée.

Lorsque l'on compare les réponses d'Anne et Ellen avec celles des autres élèves de leur classe après l'enseignement, il apparaît qu'elles répondent comme la majorité des élèves dans la plupart des situations. En effet, elles représentent les gaz par des traits discontinus qui de surcroît sont répartis partout. Concernant l'action de l'air dans une pompe à vélo, elles répondent comme la majorité des autres élèves de la classe, en expliquant que l'air agit sur toutes les parois dans les deux situations (pompe sans action, pompe avec action). Dans la situation mettant en jeu des balles de ping-pong jetées dans de l'eau chaude, Ellen répond comme la plupart des élèves de sa classe, et en plus elle utilise les molécules. Il intéressant de remarquer que dans la situation du ballon de baudruche posé sur une bouteille que l'on chauffe, Anne et Ellen ne répondent pas comme la plupart des élèves de la classe. En effet, elles représentent le gaz réparti à un endroit (molécules sur les parois pour Anne et gaz en haut pour Ellen). De plus, Anne explique qu'il y a une apparition de gaz qui va gonfler le ballon et Ellen que de l'air rentre dans le ballon. Anne est la seule à avancer l'explication "les molécules sont collées aux parois de la pompe à vélo". De plus, elle fait partie des rares élèves à interpréter le fait que la balle de ping-pong trouée va retrouver sa forme normale grâce au gaz qui rentre à l'intérieur pour la gonfler.

Résultats de l'évolution des idées d'Anne et Ellen au cours de l'enseignement en classe

Nous proposons de conclure sur le rôle que jouent les éléments du milieu sur l'évolution des idées d'Anne et Ellen durant l'enseignement. Nous présentons séparément le rôle de chacun des éléments (échanges entre les individus, expériences et supports didactiques) ; cependant, comme le montrent nos résultats, il est fréquent que plusieurs éléments jouent simultanément un rôle sur l'évolution des idées des élèves.

1. Le rôle des échanges entre les individus

Nous présentons nos résultats sur le rôle des échanges entre les individus en faisant la distinction entre les élèves travaillant en groupes, le professeur et les autres élèves de la classe.

1.1. Les élèves travaillant en groupes

Au cours de la séquence d'enseignement sur les gaz, Anne et Ellen ont eu de nombreux échanges à propos des gaz. Il semble que les explications d'Anne aient permis à Ellen de construire un certain nombre d'idées "correctes" du point de vue de la physique, notamment d'établir le lien entre la quantité et le nombre de molécules, de construire la présence de l'air dans une enceinte ouverte, ainsi que de faire la distinction entre le volume et la quantité. Cependant, toujours à la suite des explications d'Anne, Ellen a adopté une définition du mot macroscopique "erronée" du point de vue de la physique, entraînant des difficultés pour répondre à certaines questions. Dans l'ensemble, l'apport d'Anne a été bénéfique pour Ellen, précisons qu'il a été, la plupart du temps, simultanément conforté par les expériences. L'apport d'Ellen au niveau des idées d'Anne semble moins important, cependant elle est à la base du nouveau lien entre la quantité et le volume. Il est intéressant d'observer que, pour ce lien, Anne et Ellen se sont aidées mutuellement. Ellen a aussi contribué à ce qu'Anne réutilise le lien "erroné" du point de vue de la physique, qui relie l'augmentation de la pression avec celle du volume. Cependant ce lien a été "corrigé" au cours d'une expérience utilisant un pressiomètre. Durant le travail en groupe de quatre, il semble que Marie ait contribué à ce qu'Anne emploie les mots gaz et air pour désigner la même chose (l'air contenu dans une seringue). En conclusion, il apparaît que les échanges entre les élèves ont eu un rôle important et le plus souvent bénéfique sur l'évolution des idées d'Anne et Ellen durant l'enseignement.

1.2. Le professeur

Durant l'enseignement, Anne et Ellen vont réutiliser certaines idées de l'enseignante, notamment, le lien reliant la pression avec les chocs des molécules, ainsi que la définition du mot macroscopique. De plus, Anne reprendra "l'abstraction" expliquée par l'enseignante (voir l'analyse des aspects particulaires). Il est intéressant d'observer que ces idées sont apparues lorsque l'enseignante s'adressait à toute la classe : soit au cours de la correction au tableau pour l'abstraction, le lien entre la pression et les chocs des molécules, soit après qu'elle a constaté une difficulté en circulant parmi les différents groupes d'élèves, pour la définition du mot macroscopique.

1.3. Les autres élèves de la classe

La correction est faite par l'enseignante en interrogeant certains élèves, puis en discutant les réponses avec le reste de la classe. Il apparaît qu'Anne et Ellen vont réutiliser certaines idées émises par les élèves interrogés durant la correction, notamment le lien entre la pression et les chocs des molécules et qu'Anne reprend l'idée des molécules concentrées sur les parois.

2. Le rôle de l'expérience

Durant l'enseignement, les élèves sont amenés à réaliser différentes expériences sur les gaz, nous présentons le rôle des expériences "simples" (c'est-à-dire sans appareil de mesure) et celui des expériences utilisant le pressiomètre.

2.1. Expériences "simples"

Il semble que les expériences utilisant la seringue sans le pressiomètre ont contribué à l'évolution de plusieurs idées d'Anne et Ellen. En effet, nous pensons que le fait de pouvoir percevoir indirectement l'air contenu dans la seringue en passant par le toucher a joué un rôle dans l'élargissement de la définition du mot macroscopique ainsi que dans la construction de l'idée que l'air agit. Cependant, il est apparu que cette expérience favorise aussi l'utilisation du mot pression comme l'action de pousser, ce qui ne correspond pas à la définition de la grandeur pression en physique. Il semble que la seringue a aussi joué un rôle lorsqu'Anne et Ellen ont établi la relation entre le volume et la quantité. Cependant, nous ne pouvons pas préciser les éléments perceptibles qui ont joué. Nous pensons que l'expérience, utilisant une seringue et une bouteille remplie d'air, a joué un rôle important pour Ellen lors de la construction de la présence de l'air dans une enceinte. En effet, pour convaincre Ellen de la présence de l'air dans la bouteille, Anne s'est appuyée sur des éléments perceptibles, notamment sur le fait que le piston remonte (sollicitation de la vue) et que lorsque l'on enlève la seringue on entend un bruit : "pshhhh" (sollicitation de l'ouïe). En conclusion, il semble que les expériences "simples" de la séquence ont permis à Anne et Ellen de construire, à partir d'éléments perceptibles, plusieurs idées correctes du point de vue de la physique. Cependant, l'expérience de la seringue semble aussi favoriser l'utilisation du mot pression avec la signification de l'action de pousser.

2.2. Expérience utilisant le pressiomètre

Conclusion

Les expériences utilisant un pressiomètre semblent favoriser pour Anne et Ellen l'utilisation du mot pression avec le sens d'une grandeur. De plus, ces expériences ont permis d'établir des liens entre la pression et le volume d'une part, et entre la pression et la température d'autre part. Il est particulièrement intéressant de voir que l'expérience quantitative utilisant une seringue et un pressiomètre a permis à Anne et Ellen de modifier un lien "erroné" du point de vue de la physique, entre la pression et le volume. En conclusion, les expériences utilisant le pressiomètre et bien sûr les questions associées (comme nous le verrons ci-dessous), semblent favoriser, chez ces élèves, l'émergence d'idées correctes du point de vue de la physique

3. Le rôle des supports didactiques

Durant l'enseignement, les élèves sont amenés à utiliser différents supports didactiques. Nous présentons l'influence de ces différents supports sur l'évolution des idées, notamment le rôle que jouent la feuille de TP, le texte du modèle, la correction au tableau et le simulateur.

3.1. Feuille de TP

Il semble que les énoncés des feuilles de TP jouent un rôle sur le sens qu'Anne et Ellen donnent à certains mots. En effet, il apparaît que les énoncés demandant de mesurer la pression semblent favoriser l'utilisation du mot pression avec la signification d'une grandeur mesurable. De même, les énoncés utilisant simultanément les mots air et gaz semblent favoriser le fait qu'Anne attribue à ces deux mots le même sens. De plus, on remarque aussi qu'Anne et Ellen utilisent les molécules presque uniquement dans les questions demandant explicitement de les employer. C'est pourquoi, nous supposons que les énoncés conditionnent, en grande partie, l'utilisation d'Anne et Ellen des idées sur les molécules au cours de l'enseignement. Il semble que l'énoncé de la question P1A2Q1, utilisant deux registres sémiotiques, a permis à Anne d'établir le lien entre la quantité et le nombre de molécules.

De nombreuses questions de l'enseignement utilisent des registres sémiotiques différents (langue naturelle, schéma, formule, tableau de valeurs...). Lorsqu'il s'agit d'utiliser les valeurs de la pression et du volume dans un tableau, nous avons pu remarquer qu'elles ont du mal à déterminer parmi plusieurs formules, celle qui permet de rendre compte de la variation de ces deux grandeurs (voir question P2.2A1Qc). À travers les productions écrites

d'Anne et Ellen, nous avons observé qu'elles établissaient certains liens entre des représentations appartenant à des registres sémiotiques différents. Cependant, nous n'avons jamais réussi à établir de lien entre l'évolution des idées d'Anne et Ellen et la mise en relation de registres sémiotiques différents.

3.2. Texte du modèle

La séquence d'enseignement utilise deux modèles différents, le premier donne une interprétation microscopique des gaz et le second s'appuie sur des grandeurs macroscopiques pour rendre compte de l'état d'un gaz. Nous présentons le rôle de ces modèles dans l'évolution des idées d'Anne et Ellen.

Le modèle microscopique

Au cours de l'enseignement Anne et Ellen construisent l'idée que la répartition des molécules est homogène. Il semble que le modèle microscopique a joué un rôle important dans cette construction, particulièrement la propriété G2, spécifiant que "les molécules sont très éloignées les unes des autres et se répartissent dans tout le volume qui leur est offert. Ce volume est limité par des parois, qui sont solides ou liquides". Nous avons aussi observé qu'Anne utilise l'idée que les molécules sont concentrées sur les parois. Il semble qu'Anne a élaboré cette idée en s'appuyant sur la propriété G2 du modèle microscopique des gaz. Il est intéressant de voir qu'à partir de la même propriété de ce modèle, Anne va construire deux idées différentes, l'une sera correcte du point de vue de la physique, l'autre pas.

Le modèle macroscopique

Au cours de l'enseignement, Anne et Ellen utilisent notamment que la pression est homogène et qu'elle est reliée à l'action du gaz. Il semble que ces deux idées proviennent du modèle macroscopique des gaz. Ceci montre l'influence de ce modèle sur les idées d'Anne et Ellen à propos de la pression.

3.3. Correction au tableau

Au cours de la séquence d'enseignement sur les gaz, l'enseignante fait surtout des corrections orales, en discutant les réponses de certains élèves avec le reste de la classe. Cependant, quelques élémens de corrections sont inscrits au tableau, sur lequel elle demande à

certains élèves d'aller inscrire leurs réponses. Il ne semble pas que les corrections écrites au tableau jouent un rôle sur l'évolution des idées d'Anne et Ellen. En effet, Anne et Ellen ne semblent pas réutiliser des éléments provenant de la correction au tableau.

3.4. Le rôle de simulateur

Au cours de la séquence d'enseignement, les élèves ont utilisé un logiciel de simulation des gaz, qui permet en agissant sur les grandeurs macroscopiques de voir les effets au niveau microscopique. Cette partie s'est déroulée à la fin de la séquence pendant une dizaine de minutes. Durant l'utilisation de ce logiciel, il semble qu'Anne et Ellen ne parlent que des grandeurs macroscopiques et qu'elles n'utilisent à aucun moment les éléments microscopiques du modèle (mouvement, chocs...). Durant son utilisation, il semble que le logiciel n'influence pas les idées sur le comportement des molécules. En revanche, il semble contribuer en partie au lien établi par Anne entre la quantité et le volume. Compte tenu du temps d'utilisation par les élèves de ce logiciel, il nous est impossible de conclure sur son influence.

Pour terminer sur le rôle que jouent les éléments du milieu sur l'évolution des idées d'Anne et Ellen, il apparaît que les mêmes éléments du milieu peuvent avoir des rôles très différents dans l'évolution des idées respectives d'Anne et Ellen. Par ailleurs, le même élément du milieu peut donner lieu à des évolutions différentes des idées pour le même élève (voir rôle du modèle pour Anne). Nous tenons à rappeler que la plupart des évolutions importantes au niveau des idées d'Anne et Ellen (comme l'évolution du lien entre la quantité et le volume ou de la présence de l'air dans une enceinte), semble dépendre simultanément de plusieurs éléments du milieu. Comme, par exemple, lors de l'évolution de l'idée d'Ellen sur la présence de l'air dans une enceinte, nous avons vu que ce sont probablement les explications d'Anne et l'expérience qui ont contribué simultanément à cette évolution.

Comparaison des données avant/après avec les données pendant

La comparaison des données (questionnaire et entretien) recueillies avant et après l'enseignement avec les données (vidéo de classe et productions écrites des élèves) recueillies pendant, permet de montrer que certaines évolutions se retrouvent dans l'ensemble de ces données, alors que d'autres n'apparaissent que pour un type de donnée. Pour les évolutions se retrouvant dans l'ensemble des données, nous essaierons de voir s'il est possible de déterminer

les éléments du milieu responsables de cette évolution ainsi que le rôle que jouent les connaissances initiales des élèves. Nous présentons cette comparaison en fonction de nos catégories sur les différents aspects des gaz.

Sens des mots

L'analyse des données recueillies avant et après l'enseignement montre pour Anne une augmentation du domaine d'application de l'idée (1) *pression = action de pousser* et pour Ellen l'utilisation d'une nouvelle idée (2) *pression = grandeur*. Ces évolutions sont retrouvées dans les données recueillies pendant l'enseignement. En effet, il apparaît qu'Anne et Ellen utilisent ces deux idées et que leur domaine d'application augmente au cours de l'enseignement. Il semble que la seconde idée soit construite par Anne et Ellen grâce à l'utilisation du pressiomètre et de l'énoncé demandant de mesurer la pression. Après l'enseignement, Anne utilise la première idée, alors qu'Ellen utilise la seconde. Nous pensons que l'idée 1 fait partie des connaissances initiales d'Anne, puisqu'elle l'utilise déjà avant l'enseignement. Cette idée possède pour Anne un domaine d'application (si l'on comptabilise les situations avant l'enseignement et pendant l'enseignement) plus important que l'idée 2. En revanche, Ellen n'utilise aucune de ces deux idées avant l'enseignement, donc pour elle, l'idée 2 a un domaine d'application plus important que l'idée 1. Ceci peut expliquer qu'Ellen utilise l'idée 2 après l'enseignement, alors qu'Anne utilise l'idée 1.

Durant l'enseignement Anne et Ellen construisent une nouvelle idée (*macroscopique = ce que l'on perçoit*). L'émergence de cette idée semble provenir de la définition donnée par l'enseignante. De plus, l'idée *macroscopique = ce qu'on voit* semble faire partir des connaissances initiales d'Anne, alors qu'il semble qu'Ellen l'ait construite à partir de la définition qu'Anne lui a donnée durant l'enseignement.

Aspect particulaire

À partir des données recueillies avant et après l'enseignement, il apparaît que pour Anne et Ellen le domaine d'application de l'idée *gaz est composé de molécules* augmente et que de nouvelles idées apparaissent sur le comportement des molécules (chocs des molécules, molécules accélèrent…). L'ensemble de ces évolutions apparaît aussi durant l'enseignement. En effet, on trouve qu'Anne et Ellen augmentent le domaine d'application de l'idée *gaz est composé de molécules* et qu'elles construisent de nouvelles idées sur le comportement des

molécules. Il semble que l'augmentation du domaine d'application soit fortement conditionnée par l'énoncé des questions, qui demande de faire appel aux molécules pour interpréter les situations. Par ailleurs, les nouvelles idées sur le comportement des molécules semblent toutes provenir de la séquence d'enseignement. Cependant, leur construction dépend à chaque fois d'éléments différents du milieu.

Présence du gaz

À partir des données recueillies avant et après l'enseignement, il apparaît que pour Anne et Ellen le domaine d'application de l'idée *gaz est présent partout* augmente. De plus, les idées reliant la variation de température à l'apparition ou la disparition de gaz dans une enceinte fermée sont utilisées par Anne pratiquement dans les mêmes situations avant et après l'enseignement. De plus, Anne utilise avant l'enseignement, que la quantité varie comme le volume et à la suite de l'enseignement, Anne relie la quantité au nombre de molécules. La plupart de ces évolutions sont retrouvées durant l'enseignement. Il apparaît qu'Ellen construit que l'air est présent dans une bouteille ouverte, ce qui pourrait peut-être expliquer l'évolution du domaine d'application de l'idée *gaz est présent partout* après l'enseignement. Anne va relier la quantité au nombre de molécules durant l'enseignement, ce qui peut expliquer pourquoi cette idée est réutilisée après l'enseignement. En revanche les idées sur l'apparition ou la disparition de l'air n'apparaissent à aucun moment durant la séquence, ce qui explique peut-être le fait qu'elles n'évoluent quasiment pas. De plus, la séquence d'enseignement montre une évolution qui n'apparaît pas dans les données avant/après. En effet, Anne établit un nouveau lien entre la quantité et le volume de l'air contenu dans une seringue fermée. Ce lien sera aussi utilisé par Ellen. Cependant, il n'est pas réutilisé après l'enseignement.

Répartition des gaz

Avant l'enseignement, Anne et Ellen utilisent l'idée (1) *gaz se répartit partout* dans la plupart des situations et l'idée (2) *gaz se répartit à un endroit* pour quelques situations. Après l'enseignement, il apparaît que, pour Ellen, le domaine d'application de l'idée 1 augmente, alors que celui de l'idée 2 reste à peu près le même. En revanche, pour Anne, il apparaît que le domaine d'application de l'idée 1 diminue, alors que celui de l'idée 2 augmente. De plus, Anne utilise une nouvelle idée (*molécules se concentrent sur les parois*) à la suite de l'enseignement. La plupart de ces évolutions peuvent s'expliquer à partir des données

recueillies pendant l'enseignement. En effet, Anne et Ellen représentent les molécules réparties plus particulièrement à un endroit dans les premières questions de l'enseignement. À la suite de la distribution du modèle microscopique des gaz, elles vont les représenter partout. Il semble que cette évolution provient d'une des propriétés du modèle. Il est intéressant de voir qu'à partir de cette même propriété, Anne va construire l'idée que les molécules sont collées aux parois. Ces évolutions observées pendant la séquence d'enseignement permettent d'expliquer les variations du domaine d'application des idées d'Ellen, ainsi que l'apparition de la nouvelle idée d'Anne. Cependant, elles ne permettent pas d'expliquer que, pour Anne le domaine d'application de l'idée 1 diminue et le domaine de l'idée 2 augmente.

Action du gaz

Avant l'enseignement, Anne explique l'action des gaz dans plusieurs situations par le fait que la quantité d'air varie. Après l'enseignement, elle utilise cette idée quasiment dans les mêmes situations. Cependant, elle utilise une nouvelle idée qui consiste à interpréter l'action du gaz par le fait que les molécules se concentrent sur les parois pour agir. Elle utilise cette idée dans un nombre important de situations. Avant l'enseignement, Ellen utilise aussi l'idée faisant intervenir la variation de quantité. Cependant elle l'utilise uniquement pour quelques situations. À la suite de l'enseignement, cette idée est toujours utilisée à peu près dans les mêmes situations. Cependant, Ellen interprète l'action du gaz à l'aide des chocs des molécules et de la pression. Il est intéressant de remarquer que les idées sur la variation de la quantité n'évoluent quasiment pas pour Anne, ni pour Ellen. Cette "non-évolution" peut s'expliquer par le fait que, l'enseignement n'a pas offert aux élèves la possibilité de mettre à l'épreuve cette idée dans une variété de situations. Concernant l'idée sur les molécules qui se concentrent sur les parois pour agir, nos données ne permettent pas d'expliquer son apparition au cours de l'enseignement. En revanche, ces données permettent d'expliquer l'évolution des idées d'Ellen sur l'action des gaz. En effet, nous avons observé qu'Ellen établit des liens entre d'une part la pression et l'action du gaz et d'autre part la pression et les chocs des molécules. Nous n'avons pas d'explication pour le premier lien, mais pour le second, il semble qu'il soit dû à l'intervention de l'enseignante. Durant l'enseignement, Anne et Ellen vont construire plusieurs idées sur l'action des gaz qui n'apparaissent pas après l'enseignement. On trouve notamment qu'elles établissent : que la pression est homogène, que la pression existe même lorsqu'il n'y a

pas d'action sur l'enceinte qui contient le gaz, que la pression est reliée à la température et au volume.

Lourdeur

Anne et Ellen ne semblent pas très claires dans les explications qu'elles donnent sur le caractère pesant des gaz avant l'enseignement et aussi après. Lorsque l'on regarde dans les données recueillies pendant l'enseignement, on trouve aussi que leurs explications sur ce sujet ne sont pas claires. Ceci peut s'expliquer par le fait que l'enseignement n'a pas offert aux élèves la possibilité de mettre à l'épreuve cette idée dans des situations variées.

Quelques perspectives

Au cours de cette étude nous avons développé un modèle pour essayer de rendre compte de l'apprentissage des élèves. L'analyse des élèves à l'aide de ce modèle permet de reconstruire les idées sans formuler, a priori, d'hypothèses sur leur cohérence ou leur non-cohérence. Ce n'est qu'au cours d'une seconde analyse, se déroulant après cette reconstruction et comparant les idées des élèves avec le point de vue de la physique, que la non-cohérence entre certaines idées peut être soulignée. L'utilisation de ce modèle soulève certaines questions, dont la principale est de déterminer son domaine de validité. Ceci revient à sedeamnder si les différents types d'évolution des idées, que nous avons décrits dans ce modèle, sont suffisants pour rendre compte de la plupart des apprentissages. Notre étude ne traite qu'une partie des analyses qui pourraient être menées sur le corpus que nous avons recueilli et nous pensons qu'une analyse des autres élèves que nous avons filmés pourrait permettre de pouvoir éventuellement généraliser certains résultats sur le rôle des éléments du milieu et surtout de mieux cerner le modèle des idées, notamment en essayant de déterminer les apprentissages dont ce modèle ne peut pas rendre compte. De plus, nous pensons que ce modèle mériterait d'être développé afin de pouvoir tenir compte des aspects liés à la motivation, à la métacognition, et l'image que les élèves ont de la science.

Le grain d'analyse que nous avons choisi pour suivre les facteurs responsables de l'évolution des idées se situe à un niveau qui permet d'observer le rôle d'une phrase du modèle, d'une intervention de l'enseignante, d'une discussion entre les élèves ou encore d'un

élément perceptible d'une expérience. Parmi les éléments du milieu, il nous semble que les échanges entre les individus pourraient être affinés, notamment en essayant de caractériser les types d'échanges à l'aide de travaux sur l'argumentation (Plantin 1996) ou sur la conversation (Kerbrat-Orrechionni 1996). De plus, le rôle des expériences "simples" pourrait être approfondi en essayant de déterminer le rôle des différents sens (toucher, vue…) dans l'évolution des idées des élèves. Pour cela, il faudrait nous appuyer sur des travaux relatifs à la perception ou plus généralement à la phénoménologie (Merleau-Ponty 1945). Le rôle du simulateur n'a pas pu être vraiment analysé, car il a été utilisé sur une période trop courte. Néanmoins, nous pensons que l'utilisation d'une représentation dynamique du gaz au niveau microscopique peut jouer un rôle important pour que les élèves acquièrent le mouvement "incessant et désordonné" des molécules.

Les résultats que nous avons obtenus à partir du grain d'analyse des idées montrent que l'acquisition des concepts de la physique sur les gaz proposés par le programme officiel, nécessite pour les élèves de construire un certain nombre de notions qui ne découlent pas directement de ce programme. Par exemple, l'acquisition du concept de pression ne se limite pas à la mesure obtenue à l'aide d'un pressiomètre. Elle nécessite aussi de construire la signification physique du mot pression, de s'appuyer sur des phénomènes perceptibles montrant que le gaz agit, de relier la pression à l'action du gaz et de savoir que la pression est homogène à l'intérieur d'une enceinte fermée. C'est pourquoi, nous proposons dans l'élaboration des séquences d'enseignement de tenir compte d'un certain nombre d'éléments qui n'apparaissent pas directement dans les instructions officielles, particulièrement :

1. de tenir compte de la différence de signification dans le quotidien et en physique de certains mots (macroscopique, pression…) utilisés par l'enseignement. Il serait probablement utile d'expliquer aux élèves les différentes significations des mots et de les aider à les utiliser convenablement.

2. de faire construire aux élèves certains phénomènes perceptibles (l'action du gaz, le mélange de deux gaz…) à l'aide d'expériences "simples" afin qu'il puisse s'appuyer dessus pour donner du sens aux concepts mis en jeu dans l'enseignement.

3. de faire apparaître les propriétés implicites de certains concepts mis en jeu par le programme (répartition homogène des gaz, l'action du gaz dans toutes les directions…), notamment en construisant des modèles qui rendent explicites ces propriétés pour les élèves.

Nous avons tenu compte de ces différents points, ainsi que des résultats de notre étude pour améliorer la séquence d'enseignement sur les gaz. Cette séquence est disponible sur le site francophone Pégase (http://nte-serveur.univ-lyon1.fr/pegase/) et sur le site de l'académie de Lyon (http://www.ac-lyon.fr). Ceci permet aux enseignants de pouvoir utiliser cette séquence en profitant de ces améliorations. De plus, le site Pégase offre l'originalité de montrer des vidéos des élèves au cours de l'enseignement. Ces vidéos permettent d'illustrer certains raisonnements des élèves, mais aussi de montrer la manière dont les élèves construisent certaines connaissances. De plus, le site Pégase propose aussi des séquences d'enseignements et des vidéos d'élèves du Maroc et de la Belgique. Une perspective de ce travail pourrait être de confronter les résultats sur l'évolution des élèves dans les séquences d'enseignement des trois Pays (Maroc, Belgique, France) afin d'essayer de déterminer les facteurs communs responsables de cette évolution.

Référence bibliographique

Adey, P. (1999). Revisiting cognitive conflict, construction, and metacognition, and discovering metaconstructivism. In M. Komorek, Behrendt, H. , Dahncke, H. , Duit, R. , Graeber, W. , Kross, A. (Ed.), *Research in Science Education - Past, Present, and Future Vol.1* (pp. 58-61). Kiel: IPN Kiel.

Andersson, B. (1986). The experiential gestalt of causation: a common core to pupils' preconceptions in science. *European Journal of Science Education, Vol. 8*(2), pp. 155-171.

Aufschnaiter, S. (2001). Development of complexity through Dealing with Physical Qualities: one type of conceptual change ? In H. Behrendt & H. Dahncke & R. Duit & W. Gräber & M. Komorek & A. Kross & P. Reiska (Eds.), *Research in Science Education - Past, Present, and Future* (pp. 199-205). Boston: Kluwer Academic Publishers.

Aufschnaiter, S. & Welzel, M. (1997). *Individual Learnig Processes: A Research Programme with Focus on the Complexity of Situated Cognition.* Paper presented at the Contribution from the ESERA.

Aufschnaiter, S. v. (2001). Development of complexity through dealing with physical qualities: One type of conceptual change? In H. Behrendt, Dahncke, H. , Duit, R. , Graeber, W. , Komorek, M. , Kross, A. (Ed.), *Research in Science Education - Past, Present, and Future* (pp. 199-204). Dordrecht,The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

Bachelard, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris: Vrin.

Bachelard, S. (1979). Quelques aspects historiques des notions de modèle et de justification des modèles. In P. Delattre & M. Thellier (Eds.), *Elaboration et justification des modèles* (Vol. 1, pp. 3-18). Paris: Maloine.

Balacheff, N. (1999). Conception, Connaissance et Concept. *DidaTech, Vol. seminaire n°157*, pp. 219-244.

Balacheff, N. & Gaudin, N. (2002). Students conceptions: an introduction to a formal characterization. *Les cahiers du laboratoires Leibniz, Vol. 65*, pp. 1-20.

Barboux, M., Chomat, A., Larcher, C. & Méheut, M. (1987). Modèle particulaire et activités

de modèlisation en classe de 4ème. In J. L. Martinand & M. Caillot (Eds.), *Enseignement et apprentissage de la modélisation : quantité de mouvement-modèle particulaire* (pp. 9-76). Paris: LIREST.

Barboux, M., Chomat, A., Larcher, C. & Méheut, M. (1987). Modèle particulaire et activités de modèlisation en classe de 4ème. In J. L. Martinand & M. Caillot (Eds.), *Enseignement et apprentissage de la modélisation : quantité de mouvement-modèle particulaire* (pp. 9-76). Paris: LIREST.

Barlet, R. & Plouin, D. (1997). la dualité microscopique-macroscopique un obstacle sous-jacent aux difficultés en chimie dans l'enseignement univeritaire. *Aster, Vol. 5*.

Benson, D. L., Wittrock, M. C. , Baur, M. E. (1993). Students' preconceptions of the nature of gases. *Journal of Research in Science Teaching, Vol. 30*(6), pp. 587-597.

Borghi, L., De Ambrosis, A. , Massara, C. I. , Grossi, M. G. , Zoppi, D. (1988). Knowledge of air: A study of children aged between 6 and 8 years. *International Journal of Science Education, Vol. 10*(2), pp. 179-188.

Brook, A., Briggs, H. , Driver, R. (1984). *Aspects of secondary students' understanding of the particulate nature of matter*. Leeds: University Leeds, centre for Studies in Science and Mathematics Education.

Brousseau, G. (1976). Les obstacles épistémologiques et les problèmes en mathématiques. *Recherche en didactique des mathématiques, Vol. 4*(2), pp. 164-198.

Brousseau, G. (1986). Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques. *Recherche en didactique des mathématiques. Vol. 7*(2), pp. 33-115.

Brousseau, G. (1998). *Théorie des situations didactiques*. Grenoble: La Pensée Sauvage éditions.

Brown, A. (1987). Metacognition, Executive control, Self-regulation, and other more mysterious mechanisms. In F. Weinert & R. Kluwe (Eds.), *Metacognition, Motivation and Understanding* (pp. 65-113). London: Lawrence Erlbaum Associates.

Bruner, J. (1985). Vygotski : a historical and conceptual perspective. In J. Wertsch (Ed.), *Culture, communication and cognition : Vygotskian perspectives* (pp. 22-34). Cambridge: Cambridge University Press.

Bulletin Officiel de l'Éducation Nationale. (1997). Programme du cycle central de collège. (Hors-série n°5).

Bulletin Officiel de l'Éducation Nationale. (1999). Programmes de la classe de seconde

générale. (Hors-série n°6).

Bulletin Officiel de l'Éducation Nationale. (2000). Programme de physique-chimie pour la classe de première série scientifique. (Hors-série n°7).

Bulletin Officiel de l'Éducation Nationale. (2002). Extrait des Programmes de l'école Maternelle 2002 « Découverte du monde ». (Hors-série n°1).

Bulletin Officiel de l'Éducation Nationale. (2002). Extrait des Programmes du Cycle 2 – 2002 « Découverte du monde ». (Hors-série n°1).

Bulletin Officiel de l'Éducation Nationale. (2002). Extrait des Programmes du Cycle 3 – 2002 « Sciences expérimentales et technologie ». (Hors-série n°1).

Bunge, M. (1971). Conjonction, succession, détermination, causalité. In M. H. Bunge, F. Kuhn, T. S. Rosenfeld, L. (Ed.), *les théories de la causalité* (pp. 112-132). Paris: Presses Universitaires de France.

Bunge, M. (1973). *Method and matter*. Derdrecht-Holland.: D. Deidel publishing company.

Bunge, M. H., F. Kuhn, T. S. Rosenfeld, L. (1971). *les théories de la causalité*. Paris: Presses Universitaires de France.

Buty, C. (2000). *Étude d'un apprentissage dans une séquence d'enseignement en optique géométrique à l'aide d'une modélisation informatique.* Thèse, Université lumière Lyon 2, Lyon.

Buty, C. & Cornuéjols, A. (2002). Évolution des connaissances chez l'apprenant. In A. Tiberghien (Ed.), *Des connaissances naïves au savoir scientifique* (pp. 41-67).

Carmichael, P., Driver, R. , Holding, B. , Phillips, I. , Twigger, D. , Watts, M. (1990). *Research on students' conceptions in science: a bibliography*. Leeds: University of Leeds.

Cassirer, E. (1977). *substance et fonction éléments pour une théorie du concept* (P. Causat, Trans.). Paris: les éditions de minuit.

Chauvet, F., Duprez, C. & Rouzé, F. (2001). Atelier théorie cinétique des gaz. Lille.

Chevallard, Y. (1991). *La transposition didactique* (2e ed.). Grenoble: La Pensée Sauvage.

Chi, M. T. (1992). Conceptual change within and across ontological categories : examples from learning and discovery in science. In R. N. Giere (Ed.), *Cognitive Models of sciences* (pp. 129-186). Minneapolis: The University of Minesota Press.

Chin, C., Brown, D. E. (2000). Learning deeply in science: An analysis and reintergration of deep approaches in two case studies of grade 8 students. *Research in Science*

Education, Vol. 30(2), pp. 173-198.

Chomat, A., Larcher, C. & Méheut, M. (1988). Modèle particulaire et activités de modélisation en classe de quatrième. *rencontres pédagogiques, Vol. 22*.

Clément, P. (1994). Représentation, Conceptions, Connaissances. In A. Giordan & Y. Girault & P. Clément (Eds.), *Conceptions et connaissances* (pp. 15-47). Berne: Peter Lang S.A.

Closset, J. L. (1983). Sequential reasoning in electricity. *Research on Physics Education. Proceedings of the first international workshop. La Londe les Maures*, pp. 313-319.

Clough, E. & Driver, R. (1986). A study of consistency in the use of students' conceptual frameworks across different task contexts. *Science Education, Vol. 70*(4), pp. 473-496.

Collet, G. (1996). *Apports linguistiques à l'analyse des mécanismes cognitifs de modélisation en sciences physiques.* These de Doctorat, Institut National Polytechnique, Grenoble.

Collet, G. (2000). *Langage et modélisation scientifique*. Paris: Editions CNRS.

Confrey, J. (1986). *"Misconceptions" across subject matters: charting the course from a constructivist perspective.* Paper presented at the Annual meeting of the American Educational Research Association.

Confrey, J. (1987). Misconceptions across subject matter: science, mathematics, programming. In J. Novak (Ed.), *Proceedings of the 2. Int. Seminar Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics, Vol. I* (pp. 81-106). Ithaca: Cornell University.

Cosnier, J. & Brossard, A. (1984). *La communication non verbale*. Paris: DELACHAUX et NIESTLÉ.

de Berg, K. C. (1992). Students' thinking in relation to pressure-volume changes of a fixed amount of air: the semi quantitative context. *Iinternational journal of science education, Vol. 14*(3), pp. 295-303.

Désautels, J., Larochelle, M. (1998). The epistemology of students: The "thingified" nature of scientific knowledge. In B. J. Fraser, Tobin, K. G. (Ed.), *International handbook of Science Education, Part 1* (pp. 115-126). Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Press.

Dictionnaire de la Langue Française. (1989). Paris: HACHETTE.

diSessa, A. (1993). Toward an epistemology of physics. *Cognition and Instruction, Vol. 10*(2 & 3), pp. 105-225.

diSessa, A. & Sherin, B. L. (1998). What changes in conceptual change? *International Journal of Science Education, Vol. 20*, pp. 1155-1119.

diSessa, A. A. (1987). *Toward an epistemology of physics* (Cognitive Science Program). Berkeley: University of california.

diSessa, A. A. (1988). *Knowledge in pieces*. Berkeley: University of California.

Driver, R., Newton, P. , Osborne, P. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education, Vol. 84*(3), pp. 287-312.

Duit, R. (1999). Conceptual change approaches in science education. In W. Schnotz, Vosniadou, S. , Carretero, M. (Ed.), *New perspectives on conceptual change* (pp. 263-282). Oxford, UK: Pergamon.

Duit, R. (2002). *Bibliography: Students' and Teachers' Conceptions and Science Education*. Kiel: IPN – Leibniz Institute for Science Education at the University of Kiel.

Duval, R. (1995). *Sémiosis et pensée humaine registres sémiotiques et apprentissages intellectuels*: Ed Peter Lang.

Dykstra, D. I. (1992). Studying conceptual change: Constructing new understandings. In R. Duit, Goldberg, F. , Niedderer, H. (Ed.), *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies* (pp. 40-58). Kiel: IPN.

Edwards, D. (1993). But What Do Children Really Think?: Discourse Analysis and Conceptual Content. *In Children's Talk. Cognition and Instruction, Vol. 11*(3-4), pp. 207-225.

Fénoglio, I. (1996). question du contexte et événement d'énonciation. In P. Schmoll (Ed.), *CONTEXTE(S)* (Vol. 6, pp. 215-235). Strasbourg: SCOLIA (CNRS et Univerité des Sciences Humaines).

Fischer, H. E., Aufschnaiter, S. von. (1992). The increase of complexity as an order generating principle of learning processes. Case studies during physics instruction. In R. Duit, Goldberg, F. , Niedderer, H. (Ed.), *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies* (pp. 225-239). Kiel: IPN.

Flavell, J. H., Wellmann, H. M. (1977). Metamemory. In R. V. Kail, Hagen, J. W. (Ed.), *Perspectives on the development of memory and cognition*. Hillsdale, N. J.: Lawrence Erlbaum Association.

Gabel, D. L., Samuel, K. V. , Hunn, D. (1987). Understanding the particulate nature of matter. *Journal of Chemical Education, Vol. 64*(8), pp. 695-697.

Ghiglione, R. & Matalon, B. (1970). *Les enquêtes sociologiques théories et pratique*. Paris: Armand Colin/collection U.

Giere, R. N. (1988). *Explaining science. A cognitive approach.* Chicago: The University of Chicago Press.

Givry, D. (2003). Le concept de masse en physique : éléments sur les conceptions et les obstacles. *Didaskalia, Vol. 22*, pp. 41-67.

Grand Larousse de la langue française. (1987). Paris: Larousse.

Grand Robert de la langue française. (1985).

Guillaud, J.-C. (1998). *Enseignement et apprentissage du concept de force en classe de troisième.* Université joseph Fourier - Grenoble 1 sciences & géographie, Grenoble.

Gunstone, R. F. (1992). Metacognition and the importance of specific science content. In D. K. Nachtigall, Bartsch, H. , Scholz, C. (Ed.), *International Conference on Physics Teachers' Education. Proceedings* (pp. 100-119). Dortmund: University of Dortmund.

Halbwachs, F. (1971). Reflexions sur la causalité physique. In M. H. Bunge, F. Kuhn, T. S. Rosenfeld, L. (Ed.), *Les théories de la causalité* (pp. 19-38). Paris: Presses Universitaires de France.

Halbwachs, F. (1971). Causalité linéaire et causalité circulaire en physique. In M. H. Bunge, F. Kuhn, T. S. Rosenfeld, L. (Ed.), *Les théories de la causalité* (pp. 39-111). Paris: Presses Universitaires de France.

Hewson, P. W., Hewson, M. G. (1992). The status of students' conceptions. In R. Duit, Goldberg, F. , Niedderer, H. (Ed.), *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies* (pp. 59-73). Kiel: IPN.

Hewson, P. W. & Lemberger, J. (2000). Status as the hallmark of conceptual learning. In R. Millar & J. Leach & J. Osborne (Eds.), *Improving science education: the contribution of research* (pp. 110-125). Buckingham, UK: Open University Press.

Jeannin, L. (2001). Analysis of video data of secondary school science labwork. *In D. Psillos, Kariotoglou, P. ,Tselfes, V. , Bisdikian, G. , Fassoulopoulos, G. , Hatzikraniotis, E. , Kallery, M., Proceedings of the Third International Conference on Science Education Research in the Knowledge Based Society, Vol. 2*, pp. 814-816.

Kaminski, W. (1989). Conception des enfants (et des autres) sur la lumière. *Bulletin de l'Union des Physiciens, Vol. 716*, pp. 973-997.

Kerbrat-Orecchioni, C. (1996). *La conversation.* Paris: Mémo édition SEUIL.

Kerguelen, A. (2001). Kronos (Version 2.4.4): CNRS & édition de l'Anact.

Küçüközer, A. (2000). *Une compréhension de la notion d'interaction dans le cadre d'un enseignement de la mécanique.* Mémoire du DEA didactique et interaction, Université lumière-Lyon2, LYON.

Kuhn, T. S. (1970). *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: Chicago University Press.

Kuhn, T. S. (1971). Les notions de causalité dans le développement physique. In M. H. Bunge, F. Kuhn, T. S. Rosenfeld, L. (Ed.), *les théories de la causalité* (pp. 7-18). Paris: Presses Universitaires de France.

Lakatos, I. (1970). Falsification and the Methodology of Scientific Research Programmes. In Lakatos & Musgrave (Eds.), *Criticism and the Growth of Knowledge*: Cambridge University Press.

Larcher, C., Chomat, A. & Méheut, M. (1990). À la recherche d'une stratégie pédagogique pour modéliser la matière dans ses différents états. *Revue Française de Pédagogie, Vol. 93*, pp. 55-61.

Lave, J. (1988). *Cognition into practice*. Cambridge: Cambridge University Press.

Lemke, J. L. (2000). *Activity in time*. Retrieved, from the World Wide Web:

Martinand, J.-L., Astolfi, J.-P., Chomat, A., Drouin, A.-M., Genzling, J.-C., Larcher, C., Lemeignan, G., Méheut, M., Rumelhard, G. & Weil-Barais, A. (1992). *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris: INRP.

Martinand, J.-L., Genzling, J.-C., Pierrard, M.-A., Larcher, C., Orange, C., Rumelhard, G., Weil-Barais, A. & Lemeignan, G. (1994). *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris: INRP.

Martins, I., Mortimer, E. , Osborne, J. , Tsatsarelis, C. , Jimenez Aleixandre, M. P. (2001). Rhetoric and science education. In H. Behrendt, Dahncke, H. , Duit, R. , Graeber, W. , Komorek, M. , Kross, A. (Ed.), *Research in Science Education - Past, Present, and Future* (pp. 189-198). Dordrecht,The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

Marton, F. & Booth, S. (1997). *Learning and awarness*. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum.

McNeil, D. (1992). *Hand and Mind: what gestures reveal about thought*. Chicago: University of Chicago.

Méheut, M. (1982). *Combustion et réaction chimique dans un enseignement destiné à des*

élèves de sixième. Université Paris 7.

Méheut, M. (1994). *Enseignement de modèles particulaires et modélisation de systèmes gazeux.* Paper presented at the Sixièmes journées informatique et pédagogie des sciences physiques, Paris : INRP et UDP.

Méheut, M. (1996). Enseignement d'un modèle particulaire cinétique de gaz au collège : questionnement et simulation. *Didaskalia, Vol. 8*, pp. 7-32.

Méheut, M. & Chomat, A. (1990). Les limites de l'atomisme enfantin : expérimentation d'une démarche d'élaboration d'un modèle particulaire par des élèves de collège. *european journal of education, Vol. 5*(4), pp. 417-437.

Méheut, M., Chomat, A. & Larcher, C. (1994). *Construction d'un modèle ciéntique de gaz par des élèves de collège : jeux de questionnement et de simulation.* Paper presented at the Actes du quatrième séminaire national de la recherche en didactique des sciences physiques, IUFM de Picardie Amiens.

Merleau-Ponty. (1945). *Phénoménologie de la perception*: Gallimard.

Minstrell, J. (1992). Facets of students' knowledge and relevant instruction. In R. Duit, Goldberg, F. , Niedderer, H. (Ed.), *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies* (pp. 110-128). Kiel: IPN.

Newton, P., Driver, R. , Osborne, J. (1999). The place of argumentation in the pedagogy of school science. *International Journal of Science Education, Vol. 21*(6), pp. 553-576.

Niaz, M. (2000). Gases as Idealized Lattices: Reconstruction of Students' Understanding of the Behavior of gases. *Science & Education, Vol. 9*, pp. 279-287.

Niedderer, H. (1987). A teaching strategy based on students' alternative frameworks-theoretical concepts and examples. In J. Novak (Ed.), *Proceedings of the 2. Int. Seminar "Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics", Vol. II* (pp. 360-367). Ithaca: Cornell University.

Niedderer, H., Goldberg, F. M. , Duit, R. (1992). Towards learning process studies: A review of the workshop on research in physics learning. In R. Duit, Goldberg, F. , Niedderer, H. (Ed.), *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies* (pp. 10-28). Kiel: IPN.

Niedderer, H., Schecker, H. (1992). Towards an explicit description of cognitive systems for research in physics learning. In R. Duit, Goldberg, F. , Niedderer, H. (Ed.), *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies* (pp. 74-98). Kiel: IPN.

Niedderer, H. (2001). *Physics Learning as Cognitive Development.* Paper presented at the Bridging Research Methodology and Research Aims. Student and Faculty Contributions from the 5th ESERA Summerschool, Gilleleje, Danmark.

Noh, T. & Scharmann, L. C. (1997). Instructional Influence of a Molecular-Level Pictorial Presentation of Matter on Students'Conceptions and Problem-Solving Ability. *Journal of research in science teaching, Vol. 34*(2), pp. 199-217.

Novick, S., Nussbaum, J. (1978). Junior High School pupils' understanding of the particulate nature of matter: An interview study. *Science Education, Vol. 62*, pp. 273-281.

Novick, S., Nussbaum, J. (1981). Pupils' understanding of the particulate nature of matter: A cross-age study. *Science Education, Vol. 65*, pp. 187-196.

Osborne, J., Simon, S. & Collins, S. (2003). Attitude towards science: a review of the literature and its implications. *International Journal of Science Education, Vol. 35*(9), pp. 1049-1079.

Perrin-Glorian, M.-J. (1999). Problèmes d'articulation de cadres théoriques : l'exemple du concept de milieu. *Recherches en Didactique des Mathématiques, Vol. 19*(3), pp. 279-322.

Petri, J., Niedderer, H. (1998). A learning pathway in high-school level quantum physics. *International Journal of Science Education, Vol. 20*(9), pp. 1075-1088.

Pfundt, H. & Duit, R. (1999). *Bibliography: Students' alternative frameworks and science education*. Kiel, Germany: Institut für Die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN).

Piaget, J. (1927). *La causalité physique chez l'enfant*. Paris: Alcan.

Piaget, J. (1963). *La naissance de l'intelligence chez l'enfant*: Delachaux et Niestlé.

Piaget, J. (1970). *l'épistémologie génétique*. Paris: Presse Universitaire Française.

Piaget, J. (1972). Les stades du développement intellectuel de l'enfant et de l'adolescent, *Problèmes de psychologie génétique* (pp. 55-66): Médiation.

Piaget, J. (1974). *Understanding causality*. New York: W. W. Norton & Co. Inc.

Pintrich, P. R. (1999). Motivational beliefs as resources for and constraints on conceptual change. In W. Schnotz, Vosniadou, S. , Carretero, M. (Ed.), *New perspectives on conceptual change* (pp. 33-50). Oxford, UK: Pergamon.

Plantin, C. (1996). *l'argumentation*. Paris: Mémo édition SEUIL.

Plé, E. (1997). Transformation de la matière à l'école élémentaire : des dispositifs flexibles pour franchir les obstacles. *Aster, Vol. 24*, pp. 203-229.

Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W. & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education, Vol. 66*, pp. 211-227.

Rémi-Giraud, S. (1999). *Étude sémantique du mot air : XVIIe et XXe siècles.* Thèse de doctorat d'État, Université de Picardie Jules Verne, Amiens.

Richard, J.-F. (1990). La notion de représentation et les formes de représentations. In J.-F. Richard & C. Bonnet & R. Ghiglione (Eds.), *Traité de psychologie cognitive 2* (Vol. 2, pp. 36-41). Paris: Dunod.

Rollnick, M., Rutherford, M. (1990). African primary school teachers - what ideas do they hold on air and air pressure ? *International Journal of Science Education, Vol. 12*(1), pp. 101-113.

Roth, M. W. (1999). *From gesture to scientific langage.* Paper presented at the the European Association for Research on Learning and Instruction, Göteberg Sweden.

Roth, W.-M. (1998). Learning process studies: examples from physics. *International Journal of Science Education, Vol. 22*(9), pp. 1019-1024.

Salin, M.-H. (1976). *Le rôle de l'erreur dans l'apprentissage des mathématiques de l'école primaire.* IREM, Bordeaux.

Scherer, K. R. (1984). Les fonctions des signes non-verbaux dans la conversation. In J. Cosnier & A. Brossard (Eds.), *La communication non verbale* (pp. 71-101). Paris: DELACHAUX ET NIESTLÉ.

Schnotz, W. (1996). Psychologische Ansaetze des Wissenserwerbs und der Wissensveraenderung. In R. Duit, Rhoeneck, C. von (Ed.), *Lernen in den Naturwissenschaften* (pp. 15-36). Kiel: IPN, Kiel.

Scott, P., Asoko, H. M. & Driver, R. (1992). Teaching for conceptual change: A review of strategies. In R. Duit & F. Goldberg & H. Niedderer (Eds.), *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies. Proceedings of an international workshop* (pp. 310-329). Kiel: IPN.

Séré, M.-G. (1985). *analyse des conceptions de l'état gazeux qu'ont les enfants de 11 à 13 ans en liaison avec la notion de pression, et propositions de stratégies pédagogiques pour en faciliter l'évolution.* Université Paris 6, Paris.

Séré, M. G. (1980). *Appentissage en situation de classe de la notion de pression de l'air en sixième et cinquième.* Paper presented at the Secondes journées sur l'éducation

scientifique, Chamonix France.

Séré, M. G. & Moppert, M. (1989). Présentation d'un modèle particulaire des gaz à des élèves de 6ème. Obstacles et acquisitions. *Petit x, Vol. 21*, pp. 31-42.

Solomon, J. (1992). Images of physics: How students are influenced by social aspects of science. In R. Duit, Goldberg, F. , Niedderer, H. (Ed.), *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies* (pp. 141-145). Kiel: IPN.

Stavy, R. (1988). Children's conception of gas. *International Journal of Science Education, Vol. 10*(5), pp. 553-560.

Stinner, A. (1993). The role of verbal argumentation in learning science. In J. Novak (Ed.), *Proceedings of the Third International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*. Ithaca, New York: Cornell University (distributed electronically).

Strike, K. A. & Posner, G. J. (1992). A revisionist theory of conceptual change. In R. Duschl & R. Hamilton (Eds.), *Philosophy of science, cognitive psychology and educational theory and practice* (pp. 147-176). Albany, NY: Suny.

Taber, K. S. (2001). Shifting sands: A case study of conceptual development as competition between alternative conceptions. *International Journal of Science Education, Vol. 23*(7), pp. 731-754.

Thagard, P. (1992). *Conceptual Revolutions*. Oxford: Princeton University Press.

Tiberghien, A., Delacote, G. (1976). Conception de la chaleur des enfants de 10 a 12 ans. In GIREP (Ed.), *Proceedings of GIREP*. Paris: Taylor and Francis.

Tiberghien, A. (1980). Modes and conditions of learning - an example: The learning of some aspects of the concept of heat. In W. F. Archenhold, Driver, R. , Orton, A. , Wood-Robinson, C. (Ed.), *Cognitive development research in science and mathematics. Proceedings of an international seminar* (pp. 288-309). Leeds: University of Leeds.

Tiberghien, A. (1994). Modeling as a basis for analyzing teaching-learning situations. *Learning and Instruction, Vol. 4*, pp. 71-87.

Tiberghien, A. (2000). Designing teaching situations in the secondary school. *In R. Millar, J. Leach and J. Osborne Editors: Improving science education: the contribution of research. Buckingham, UK: Open University Press.*, pp. 27-47.

Tiberghien, A. (2002). *Des connaissances naïves au savoir scientifiques* (Synthèse commandée par le programme "École et sciences cognitives"): UMR GRIC, CNRS -

UNIVERSITÉ LUMIÈRE LYON2.

Tiberghien, A. (à paraître en 2004). Causalité dans l'apprentissage des sciences. *Intellectica*.

Tiberghien, A. & Baker, M. (1999). *Étude de la mise en œuvre et de l'élaboration des notions fondatrices dans les situations d'enseignement : le cas de l'enseignement des sciences et des mathématiques*.: Comité National de Coordination de la Recherche en Éducation.

Tiberghien, A. & Vince, J. (à paraître en 2004). Études de l'activité des élèves de lycée en situation d'enseignement de la physique. *Cahiers du Français Contemporain, Vol. 10*.

Toulmin, S. (1972.). Human Understanding., *The Collective Use and Evolution of Concepts* (Vol. 1). Oxford: Clarendon Press.

Trésor de la Langue Française. (1992). *du 19ème au 20ème (1789-1966)*.CNRS, Paris: Gallimard.

Vergnaud, G. (1990). La théorie des champs conceptuels. Recherche en Didactique des Mathématiques,. *Recherche en didactique des mathématiques, Vol. 10*(2-3), pp. 133-170.

Vergnaud, G. (2000). *Lev Vygotski pédagogue et penseur de notre temps*. Paris: HACHETTE Éducation.

Viennot, L. (1979). *Le raisonment spontané en dynamique élémentaire*. Paris: Herman.

Viennot, L. (1993). Temps et causalité dans les raisonnements des étudiants en physique. *Didaskalia, Vol. 1*, pp. 13-27.

Viennot, L. (1996). *Raisonner en physique*. Bruxelles: édition de Boeck.

Vince, J. & Tiberghien, A. (2000). Simuler pour modéliser. Le cas du son. *Sciences et Techniques Educatives, Vol. 7*(2), pp. 333-366.

Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction, Vol. 4*(1), pp. 45-69.

Vygotski, L. S. (1998). *Pensée et langage* (F. Sève, Trans.). Paris: La dispute.

Warren, B., Ballenger, C., Ogonowski, M., Rosebery, A. S. & Hudicourt-Barnes, J. (2001). Rethinking diversity in learning science: the logic of everday sense-making. *Journal of Research in Science Teaching, Vol. 38*(5), pp. 529-552.

Weil-Barais, A. (1993). *L'homme cognitif*: Presses Universitaire de France.

Weil-Barais, A., Séré, M.-G. & Landier, J.-C. (1986). Evolution des jugements de conservation des quantités de gaz chez les élèves de CM2. *European Journal of*

Psychology of Education, Vol. 1(3), pp. 9-30.

Weinert, F. & Kluwe, R. (1987). *Metacognition, Motivation, and Understanding*. London: Lawrence Erlbaum Associates.

White, R. T., Gunstone, R. F. (1989). Metalearning and conceptual change. *International Journal of Science Education, Vol. 11*, pp. 577-586.

Wilbers, J. D., R. (2001). On the micro-structure of analogical reasoning: The case of understanding chaotic systems. In H. Behrendt, Dahncke, H. , Duit, R. , Graeber, W. , Komorek, M. , Kross, A. (Ed.), *Research in Science Education - Past, Present, and Future* (pp. 205-210). Dordrecht,The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.