HAL
open science

Un schéma vaut-il mieux qu'un long discours ?

Damien Givry, Colette Andreucci

To cite this version:

Damien Givry, Colette Andreucci. Un schéma vaut-il mieux qu'un long discours ?. Éducation & Didactique, 2015, 9 (1), pp.119-141. hal-01201751

HAL Id: hal-01201751

https://amu.hal.science/hal-01201751v1

Submitted on 17 Sep 2015

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.

Un schéma vaut-il mieux qu'un long discours ?

Effets de l'utilisation de deux types de registres sémiotiques sur la mobilisation des idées des élèves de Seconde lors d'une évaluation sur les propriétés des gaz

Damien Givry et Colette Andreucci
Aix Marseille Université, ENS Lyon, ADEF EA 4671, 13248, Marseille, France

Résumé

Cette recherche s'intéresse à l'importance du langage écrit et des systèmes de signes dans l'apprentissage de concepts scientifiques. Elle propose de montrer que la mobilisation des idées des élèves de Seconde sur les gaz diffère selon les registres sémiotiques (texte ou schéma) proposés dans une évaluation. Notre étude adopte une approche socioconstructiviste de l'apprentissage et développe un cadre théorique mixte, articulant des éléments issus de la didactique de la physique avec les travaux de Duval (1995) sur la sémiotique. À partir d'une évaluation (utilisant simultanément du texte et du schéma) passée auprès d'environ 90 élèves de Seconde juste après une séquence d'enseignement du groupe SESAMES sur les gaz, nous avons catégorisé à l'aide du logiciel Sphinx leurs réponses écrites et leurs schémas. La fiabilité de cette catégorisation a été éprouvée à l'aide du test de Cohen's Kappa dont les résultats ont montré une excellente reproductibilité intra codeur. Nos résultats montrent par ailleurs que : (I) les situations influencent la mobilisation des idées des élèves en fonction des registres sémiotiques sollicités dans l'évaluation ; (II) les registres sémiotiques influencent différemment la mobilisation des idées des élèves en fonction des facettes du savoir mises en jeu. En effet, les productions des élèves sont beaucoup plus pertinentes : (a) dans le registre du schéma pour rendre compte des facettes *aspect particulaire* et *répartition homogène du gaz* et (b) dans le registre du texte en langage naturel pour mobiliser leurs idées relatives à l'*action du gaz* ; (III) les registres sémiotiques utilisés dans les tâches de la séquence d'enseignement sur les gaz pourraient éventuellement avoir un lien avec la mobilisation des idées des élèves dans les registres sémiotiques proposés par l'évaluation. Les implications de ces travaux dans l'enseignement de la physique, ainsi que la recherche en didactiques sont importantes. Elles devraient permettre une meilleure prise en compte des registres sémiotiques dans l'évaluation des connaissances des élèves.

Abstract :

This research focuses on written language and systems of signs to study the learning of scientific concepts. It proposes to show that students (Grade 10 [aged 15]) mobilize ideas about gas in different ways in regard to the semiotic registers (text or picture) proposed during an assessment. Our study adopts a socio-constructivist approach of learning and develops a theoretical framework, articulating elements from the didactic of physics with semiotics concepts of Duval (1995). We give a test with questions (using simultaneously text and diagram) to approximately 90 students just after a teaching sequence on gas. We categorize with the software Sphinx students' answers and diagram. This analysis has excellent intra-analyst reliability of our coding with the best level of reproducibility (Cohen's Kappa test) and all our results are statistically significant (test of Khi2). Our results show that: (I) situations affect the mobilization of students' ideas in regard to the semiotics registers involved in the assessment, (II) the semiotics registers have an effect on the mobilization of students' ideas according to the facets of knowledge. Students are much more efficient in the register of: (a) schema to use facets about *particles contained in gas* and it homogeneous distribution and (b) text to mobilize their ideas about the *action of gas*, (III) the semiotic registers used in the tasks of the teaching sequence on gas could possibly be related to the mobilization of students' ideas in the semiotics registers involved during the assessment. The implications of this work in teaching and research in didactic of physic are important. It allows to have a better consideration of the semiotic register to assess students' knowledge.

Mots clés : Didactique des sciences, registres sémiotiques, idées des élèves, facettes du savoir, évaluation des connaissances.

Introduction

Une des spécificités des écrits scientifiques dans le domaine des sciences et des techniques est de faire appel à différents systèmes sémiotiques. L'analyse de revues scientifiques révèle ainsi l'utilisation quasi-systématique de représentations sémiotiques variées (langage naturel, formule, graphique, schéma, arbre, photographie...) dans chacune des publications (Lemke, 1998). De même, l'enseignement des sciences et des technologies confronte couramment les élèves à des systèmes sémiotiques multiples (Buty & Peterfalvi, 2009). Plusieurs recherches se sont intéressées à l'emploi simultané et complémentaire de ces systèmes de signes dans les situations d'enseignement-apprentissage, notamment à partir de la notion de *multi-modalité,* développée dans la littérature anglo-saxonne (à titre d'exemples Kress, Jewitt, Ogborn, & Tsatsarelis, 2001; Tang, Tan, & Yeo, 2011). Certaines études se sont focalisées sur les productions orales en classe à partir de travaux sur l'analyse discursive, aussi bien du côté de l'enseignant (par exemple, Givry & Pantidos, 2012; Pozzer-Ardenghi & Roth, 2007) que des élèves (entre autres : Givry & Roth, 2006; Roth & Welzel, 2001). D'autres recherches, notamment en didactiques des disciplines (Andreucci, Froment, & Vérillon, 1996 ; Lemke, 1990 ; Malafosse, Lerouge, & Dusseau, 2001), ont approfondi l'étude de ces systèmes sémiotiques à travers les différentes représentations présentes dans les traces écrites.

La plupart de ces travaux se sont interrogés quant à la place et à la fonction de ces systèmes dans le fonctionnement de la classe, ainsi que sur leurs éventuels effets du point de vue de la construction des connaissances chez les élèves.

Nous nous intéressons, dans le cadre de cet article, à un autre aspect de l'influence de l'usage de tel ou tel registre sémiotique : celui qui concerne non pas directement ce qui se passe en classe, mais plutôt leur effet en termes de restitution de ce qui a été appris à l'issue d'une séquence d'enseignement. En effet, on peut supposer que les différents registres sémiotiques peuvent aussi être plus ou moins favorables à la mobilisation de certaines facettes du savoir que les élèves ont à restituer lors des contrôles de connaissances auxquels on les soumet.

La question paraît d'autant plus problématique que, contrairement à ce qui a cours durant l'enseignement (diversification des registres sémiotiques à l'œuvre), les dispositifs de réponses proposés aux élèves lors de la phase d'évaluation ultérieure sont souvent, quant à eux, d'un seul type. Il se pourrait pourtant qu'il soit plus ou moins facile pour les élèves de rendre compte du savoir construit selon par exemple que les questions de l'évaluation requièrent la formulation de réponses par des phrases écrites ou par le biais de schémas à compléter. Cette hypothèse globale est mise à l'épreuve dans cet article à travers une recherche empirique réalisée sur plus de quatre-vingt élèves de Seconde d'un établissement publique français.

Cadre théorique

Notre recherche se situe dans le champ de la didactique de la physique et porte sur l'influence de certains registres de représentations sémiotiques sur l'évaluation des apprentissages des élèves de Seconde suite à une séquence d'enseignement sur les gaz. Comme la plupart des travaux antérieurs précités, notre étude nécessite de développer un cadre théorique mixte, qui articule des questions d'ordre didactique avec des travaux issus de la sémiotique. À cet égard, ces recherches se sont notamment appuyées sur différents aspects théoriques issus : de la théorie de Peirce (1978), des travaux de Duval (1995), de Peraya (1995), de Bertin (1977), ou bien encore de Barsalou (2008). Notre travail se base, quant à lui, sur les registres de représentations sémiotiques développés par Duval (1995). Il propose d'adapter cette notion pour élaborer un outil d'analyse afin d'étudier avec un nouveau regard les difficultés conceptuelles des élèves autour de l'apprentissage de certains concepts scientifiques associés au gaz.

Facette du savoir et idée d'élève

De manière générale, notre cadre théorique se situe dans le courant du socioconstructivisme. Il considère l'apprentissage comme une activité sociale historiquement et culturellement située (Lave & Wenger, 1991; Leontiev, 1981), dans laquelle, la médiation, (c'est-à-dire les actions utilisant le langage et de manière plus générale les systèmes de signes) joue un rôle prépondérant (Vygotski, 1985). Le langage écrit fait appel à plusieurs systèmes sémiotiques et son analyse en termes de connaissances nécessite de reconstruire les plus petites unités porteuses du sens contenues dans chacun de ces systèmes. Ces unités sont à rapprocher de la définition des unités minimales psychologiques de Vygotski (1985). Nous définissons une "idée" comme étant la reconstruction par le chercheur de la plus petite unité de sens exprimée par un sujet dans un registre sémiotique particulier en référence à une situation matérielle spécifique (Givry & Tiberghien, 2012). Cette reconstruction nécessite, dans un premier temps, d'adopter le point de vue de l'individu sans porter de jugement par rapport au point de vue de la physique. Cette distinction nous amène à différencier : les facettes, qui sont des petits éléments du savoir ; des idées qui sont des petits éléments de connaissance exprimés par un élève dans un registre sémiotique spécifique. La notion de *facette* du savoir (voir l'analyse de la séquence ci-dessous) s'inspire des travaux menés par Kücüközer (2006) et Tiberghien & Malkoun (2007), alors que celle *d'idée* se base sur les travaux des "*p-prims*" de DiSessa (1998, 2008) et des "*facets*" de Minstrell (1992) adaptée aux registres sémiotiques de Duval (1995).
Notre étude se réfère également à la distinction entre l'*activité* et ses traces (ce qu'une personne fait, par exemple les idées qu'elle exprime à l'écrit dans un registre particulier) et la *tâche* (ce qui est à faire, qui renvoie aux consignes, à la situation, au dispositif de réponse,...). Plus précisément, notre analyse des tâches écrites proposées aux élèves lors de la séquence d'enseignement sur les gaz s'appuie sur : (a) les registres sémiotiques convoqués dans les consignes et les dispositifs de réponse proposés aux élèves (b) les facettes des concepts de la physique mis en jeu et (c) le matériel impliqué (expérience, simulateur...).

Difficultés rencontrées par les élèves dans l'appropriation du savoir sur les gaz

Dans notre étude, les difficultés conceptuelles des élèves concernant les gaz ont été regroupées autour de trois facettes définies comme des petits éléments du savoir : l'aspect particulaire (F1), la répartition homogène (F2) et l'action du gaz (F3). Ce regroupement est issu d'un travail de synthèse plus global portant sur l'ensemble des difficultés des élèves sur les concepts associés aux gaz (Givry, 2003).
F1. Aspect particulaire : de nombreux élèves éprouvent des difficultés à faire appel aux molécules pour décrire les gaz malgré les enseignements reçus à ce sujet (Chomat, Larcher, & Méheut, 1988; Novick & Nussbaum, 1981; Séré & Moppert, 1989; Séré, 1985). En particulier, une étude réalisée sur plus de 600 élèves montre qu'avant le grade 11 (16-17 ans) la majorité des élèves n'utilise pas le niveau microscopique pour représenter les gaz (Benson, Wittrock, & Baur, 1993). De plus, de nombreux travaux s'accordent sur le fait que certains élèves attribuent des propriétés macroscopiques à des objets microscopiques : par exemple les molécules d'un gaz gonflent quand on le chauffe (Brook, Briggs, & Driver, 1984; Méheut & Chomat, 1990; Méheut, 1994; Novick & Nussbaum, 1978; Séré & Moppert, 1989)
F2. Répartition homogène des gaz : les élèves ont des problèmes pour représenter les gaz selon une répartition homogène (Chomat & al.1988; Noh & Scharmann, 1997; Novick & Nussbaum, 1978). Le savoir scientifique de référence considère que les gaz n'ont pas de forme propre, qu'ils sont expansibles et se répartissent de manière homogène dans la totalité du récipient qui les contient. Niaz (2000) montre que les trois quarts des étudiants interrogés pensent que la répartition d'un gaz que l'on refroidit ne sera pas homogène. De même, Benson, Wittrock, & Baur (1993) constatent

qu'avant le grade 12 (17-18 ans) la majorité des élèves représente l'air comme n'étant pas réparti de manière homogène lorsque l'on vide une bouteille d'air à moitié. Toujours dans la même idée, il a été mis en évidence que des élèves de 11-12 ans considèrent souvent que l'air chaud monte (Séré, 1985), ce qui semble favoriser une répartition inhomogène de celui-ci dans le haut des enceintes fermées.

F3. Action des gaz : les élèves rencontrent des difficultés pour considérer que les gaz sans mouvement peuvent agir et que cette action peut se faire dans toutes les directions sur les objets avec lesquels ils se trouvent en contact (Clough & Driver, 1986; de Berg, 1992). Séré (1985) montre aussi que la plupart des élèves de 11-12 ans considère que l'air immobile n'agit pas et que lorsqu'il est en mouvement celui-ci n'agit que dans une direction spécifique qui dépend de la situation : action vers le haut lorsque l'on chauffe un gaz dans une enceinte fermée et action dans la direction du mouvement du piston lorsque le gaz est compressé dans une seringue. Ces résultats semblent être confirmés par une étude sur les effets de l'air atmosphérique montrant que pour la plupart des élèves âgés de 12, 14 et 16 ans, l'air atmosphérique n'agit pas dans la plupart des situations proposées (Clough & Driver, 1986). De plus, il semble que pour des élèves âgés de 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).

Le but de notre étude est de voir comment les idées des élèves à propos de ces trois facettes du savoir sur les gaz sont exprimées à travers plusieurs registres sémiotiques.

Registres Sémiotiques

Une des spécificités des disciplines scientifiques est de faire appel à des systèmes sémiotiques multiples (langage naturel, formule, graphique, dessin...) pour représenter les concepts à l'écrit. Cependant, ces différents registres de représentation n'offrent pas les mêmes possibilités de traitement d'un point de vue cognitif.

Selon Duval (1995, 1988, 2006), ces systèmes sémiotiques doivent permettre d'accomplir trois types d'activités cognitives (Identification, Traitement, Conversion) inhérentes à toute représentation, ce qui les rend en tant que tels désignables par les termes de registre de représentation sémiotique ou plus simplement de registres sémiotiques.

L'**identification** se rapporte à la constitution d'une « trace ou un assemblage de traces perceptibles, qui soient identifiables comme *une représentation de quelque chose* dans un système déterminé » (Duval, 1995, p. 21). Ainsi, par exemple, dans le registre la notation algébrique $3x^2 + 5$ s'avère conforme aux règles propres du registre concerné tandis que $^2x3 + 5$ ne l'est pas.

Le **traitement** consiste à opérer des transformations à l'intérieur d'un même registre en respectant ses règles de fonctionnement de façon à obtenir d'autres représentations pouvant « constituer un apport de connaissance par rapport aux représentations initiales » (ibid.). Par exemple dans le registre algébrique on peut transformer la règle de la commutativité de l'addition $a + b = b + a$ pour écrire que $4 + 5 = 5 + 4$.

La **conversion** désigne le passage d'un registre de représentation à un autre, et permet d'expliciter d'autres significations relatives à ce qui est représenté. Par exemple dans le registre algébrique $a^2 – b^2$ se convertit dans le registre du langage naturel en « la différence des carrés des nombres a et b » et non pas par « la différence des nombres a et b au carré ».

Certains résultats en didactique des mathématiques (Duval, 1988) ont montré que les tâches de conversion d'un registre de représentation sémiotique à un autre pouvaient être plus ou moins faciles pour les élèves en fonction des registres choisis : par exemple, le taux de réussite des élèves varie sensiblement entre une tâche n°1 demandant de trouver le graphique correspondant à une phrase écrite (ex. "l'ensemble des points qui ont une abscisse positive) et une tâche n°2 demandant de trouver l'équation (ex. "$x > 0$") correspondant à ce même graphique.

De manière plus générale, Duval (1995) considère que chaque registre de représentation sémiotique permet de mettre en œuvre différentes aspects d'un même concept et que la compréhension d'un concept passe par la mise en relation des différents registres sémiotiques qui le représentent. À

partir de ces constats en mathématique, nous cherchons pour notre part à voir si les élèves rendent compte aussi facilement des mêmes facettes d'un savoir scientifique selon les registres de représentation sémiotique utilisés.

En ce qui concerne l'enseignement des sciences, Pozzer-Ardenghi (2009) identifie pour les inscriptions écrites, six formes de représentations privilégiées : photographie, dessin, schéma, graphique, équation et langage naturel[1]. À l'exception du langage naturel (pouvant impliquer l'ensemble des différents degrés d'abstraction), elle considère qu'il existe une graduation : allant des représentations les plus concrètes comme la photographie et le dessin (relevant du champ empirique), vers d'autres plus abstraites comme le graphique ou les équations (se rapportant au champ théorique).

La figure 1 illustre ces différents registres sémiotiques à propos du concept de pression. Elle permet de montrer en quoi chaque type de représentation donne à voir des éléments de savoir différents (que nous décrivons à travers le terme de "facette").

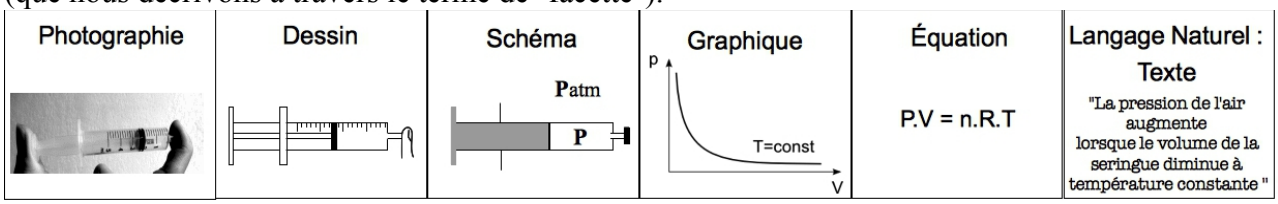


Figure 1: différentes facettes du concept de pression représentées dans des registres sémiotiques.

Il convient d'abord de noter que les représentations illustrées par ces vignettes relèvent de deux plans épistémiques différents. En effet, la photographie et le dessin se situent dans le monde des objets et des événements relevant du plan empirique ; alors que le graphique, l'équation et le texte concernent essentiellement le monde des théories et des modèles relevant du plan théorique. Il convient aussi de souligner que le schéma convoque des éléments relevant à la fois du plan empirique (la seringue et l'air) et théorique (la pression de l'air dans la seringue P et la pression atmosphérique Patm).

De plus, ces différents registres sémiotiques donnent à voir des facettes différentes du concept de pression. Par exemple, la photographie et le dessin d'une seringue bouchée peuvent illustrer la compressibilité d'un gaz au plan empirique. Les autres représentations illustrent différentes facettes du concept de pression relevant du plan théorique. Par exemple, le schéma illustre la différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur de la seringue fermée, alors que le graphique décrit comment la pression varie en fonction du volume pour une température constante. L'équation des gaz parfait illustre, quant à elle, les relations entre les grandeurs pression (P), volume (V), température (T) et quantité de matière (n). Enfin, le texte écrit fait référence au système matériel visible dans les trois premières représentations tout en comportant par rapport à elles une donnée implicite (seringue bouchée), ainsi qu'une information complémentaire (température constante) présente dans le graphique. Cet écrit explicite en revanche la relation de sens contraire qui existe entre la pression de l'air enfermé dans la seringue (qui augmente) quand ce volume d'air diminue à température constante. Par abus de langage, cet énoncé parle néanmoins du volume de la seringue plutôt que du volume d'air contenu à l'intérieur.

Selon l'usage réalisé de ces différents registres durant l'apprentissage, il est ainsi probable que certaines facettes du savoir soient plus facilement intériorisées que d'autres par les élèves et qu'ils éprouvent aussi plus ou moins de difficultés à les mobiliser a posteriori selon le registre dans lequel cette restitution doit être opérée. Nous avons fait le choix pour étudier cette question de nous focaliser sur deux registres sémiotiques, que Duval (1995) nomme langage naturel écrit (que nous

1 En référence aux travaux en linguistique, l'expression « langage naturel » désigne ici le langage ordinaire (par opposition aux langages formels tel que le langage informatique) dont la complexité de même que les caractères acquis, artefactuel, socialisé et socialisant n'en sont pas pour autant évacués.

appellerons plus simplement "texte" dans la suite de l'article) et le schéma.
Ces registres permettent, dans le cas du texte de décrire différents niveaux d'abstraction, et celui du schéma est un intermédiaire graphique particulièrement intéressant car il présente un bon équilibre entre niveau d'abstraction et représentation concrète. Notre étude cherche à voir si les élèves rendent compte aussi aisément de certaines facettes du savoir sur les gaz en fonction du registre de représentation sémiotique utilisé (texte et schéma) dans le cadre d'une évaluation réalisée à la suite d'une séquence d'enseignement en classe de Seconde.

Questions de recherche

Le but de notre étude est d'analyser l'effet des registres sémiotiques du texte et du schéma sur l'évaluation des idées des élèves suite à un enseignement sur les gaz. En nous basant sur des résultats empiriques obtenus à partir de l'analyse de questionnaires donnés à des élèves de Seconde, nous proposons plus précisément d'éclairer les questions suivantes :
Y a-t-il une influence des situations proposées dans l'évaluation écrite sur la mobilisation des idées des élèves dans les registres sémiotiques du texte et du schéma ?
La mobilisation des idées des élèves pour les facettes aspect particulaire, répartition homogène et action du gaz est-elle plus ou moins facile selon le registre sémiotique convoqué ?
Les registres sémiotiques des tâches proposées dans l'enseignement des gaz ont-ils un effet sur la mobilisation des idées dans le registre du texte et du schéma lors d'une évaluation écrite ?

Contexte de la recherche

Le présent travail prend appui sur les travaux du groupe de recherche et développement SESAMES qui a élaboré un grand nombre de séquences d'enseignement en physique et en chimie (Tiberghien, Vince, & Gaidioz, 2009). Ces séquences (*téléchargeables* à l'adresse suivante : http://pegase.ens-lyon.fr/enseigner.php) ont été conçues selon une optique constructiviste visant à accorder une place privilégiée à trois dimensions de l'apprentissage en sciences : (a) l'activité de modélisation (Tiberghien, 2000) (b) les registres sémiotiques (Duval, 1995) et (c) les connaissances préalables des élèves sur les gaz (cf. cadre théorique).
Plus précisément, le recueil de données réalisé dans cette recherche fait suite à une séquence d'enseignement sur les gaz en seconde élaborée par une équipe de six enseignants de lycée et de trois chercheurs en didactique de la physique (dont le premier auteur).
Cette séquence a été conçue pour une durée de trois semaines. Sa conception était en adéquation avec les programmes en vigueur au moment de la prise de données. Bien que les programmes aient été modifiés (Bulletin Officiel, 2010) les savoirs sur les gaz concernés par notre étude restent d'actualité.
Globalement, le but de cette séquence d'enseignement était de permettre aux élèves de décrire et d'expliquer le comportement des gaz à partir des grandeurs macroscopiques (pression, température, volume, quantité de matière) et de leur interprétation au niveau microscopique. Le champ expérimental de cette séquence s'est limité à des situations utilisant du gaz dans une enceinte fermée (seringue pour la plupart des situations).
L'enseignement sur les gaz se composait de deux parties.
La **première partie** visait à faire construire aux élèves le comportement des molécules contenues dans une seringue, ainsi qu'à propos du mélange de deux gaz. Elle a donné lieu à quatre tâches principales (T1.1, T1.2, T1.3, T1.4). Dans T1.1 les élèves ont eu à décrire l'air contenu dans une seringue aux niveaux macroscopique et microscopique. Dans T1.2 on leur demandait de faire une expérience de pensée pour construire une représentation du comportement des molécules. À l'issue de ce travail, le modèle microscopique des gaz a été distribué aux élèves afin qu'ils puissent éventuellement corriger leurs réponses à partir des propriétés des molécules, énoncées dans ce

modèle (T1.3). Enfin T1.4 leur demandait de représenter au niveau microscopique, puis d'interpréter à l'aide du modèle le mélange de deux gaz.
La **seconde partie** proposait de décrire les gaz à l'aide de grandeurs macroscopiques et de donner une interprétation microscopique de ces grandeurs à travers des situations de compression et de chauffage. Six tâches ont ici été proposées aux élèves. T2.1 leur demandait de comparer le comportement d'un gaz et d'un liquide, afin de favoriser la construction des phénomènes de dilatation et de compressibilité des gaz. Dans T2.2, il fallait établir que la pression est homogène à l'intérieur d'une seringue fermée connectée à un pressiomètre et qu'elle pouvait être reliée à l'action du gaz. T2.3 portait sur la relation entre la pression et la force pressante. Elle demandait d'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. T2.4 visait à faire établir de manière quantitative la relation entre la pression et le volume à l'aide d'une seringue reliée à un pressiomètre, plus particulièrement que leur produit est constant (loi de Boyle-Mariotte). Dans T2.5, il s'est agi d'établir expérimentalement le lien qualitatif entre la température et la pression à l'aide d'une seringue, d'un pressiomètre et d'un sèche-cheveux, afin que les élèves puissent ensuite relier la température à l'agitation thermique. T2.6 a fait appel à un logiciel de simulation du comportement des molécules permettant de faire varier les grandeurs macroscopiques d'un gaz parfait (pression, volume, quantité de matière, température) tout en observant les effets de cette variation sur le comportement des molécules.
Les principes, les enjeux didactiques, le déroulement ainsi que le détail des tâches confiées aux élèves durant cette séquence sont consultables sur internet (*http://pegase.ens-lyon.fr/theme.php?rubrique=1&id_theme=8)*. C'est pourquoi, afin de ne pas alourdir cet article, nous nous abstenons ici de décrire plus avant cette séquence en renvoyant le lecteur à ces documents.

Analyse de la séquence d'enseignement

Afin d'éclairer l'interprétation des résultats de notre étude sur l'évaluation des acquisitions des élèves, nous nous sommes livrés à une analyse des énoncés des consignes proposés aux élèves durant la séquence d'enseignement dans le but d'identifier l'importance des registres sémiotiques utilisés. La séquence d'enseignement sur les gaz se compose de 4 tâches pour la première partie et de 6 tâches pour la seconde, soit un total de 10 tâches (voir la description des tâches de la séquence ci-dessus). Chaque tâche se décompose en plusieurs sous-tâches (Rogalski, 2008), nous considérons que chaque énoncé de consigne correspond à une « sous-tâche » à réaliser pour les élèves.
Par exemple, T1.4 se basait sur l'activité expérimentale suivante *:* un flacon contenant de l'air est posé à côté d'un flacon contenant un gaz roux. Au départ, les deux flacons sont séparés par une paroi étanche. On retire ensuite cette paroi étanche. Cette tâche proposait aux élèves les consignes suivantes : (a) qu'observez-vous ? ; (b) à partir de vos observations, représenter sur le schéma du dessous (figure 2), une petite partie du gaz de chaque flacon (les deux flacons ont le même volume) et (c) utiliser le modèle microscopique pour justifier votre schéma.

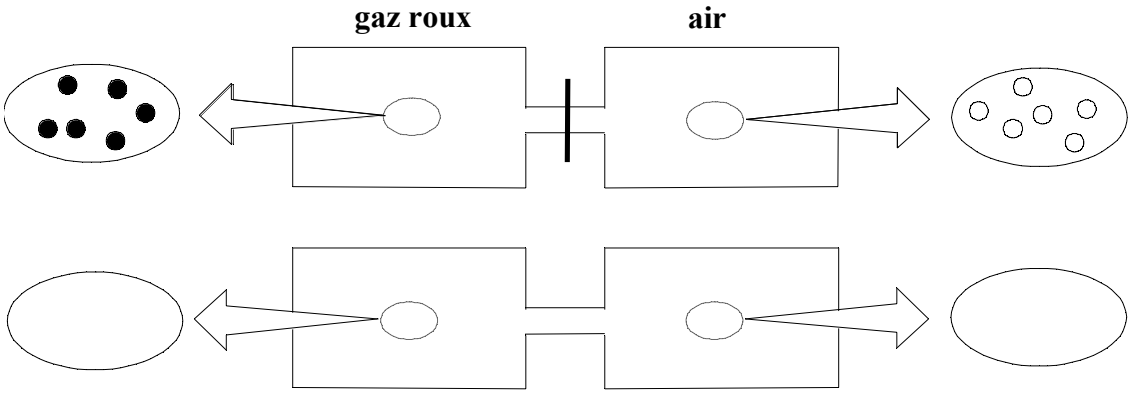
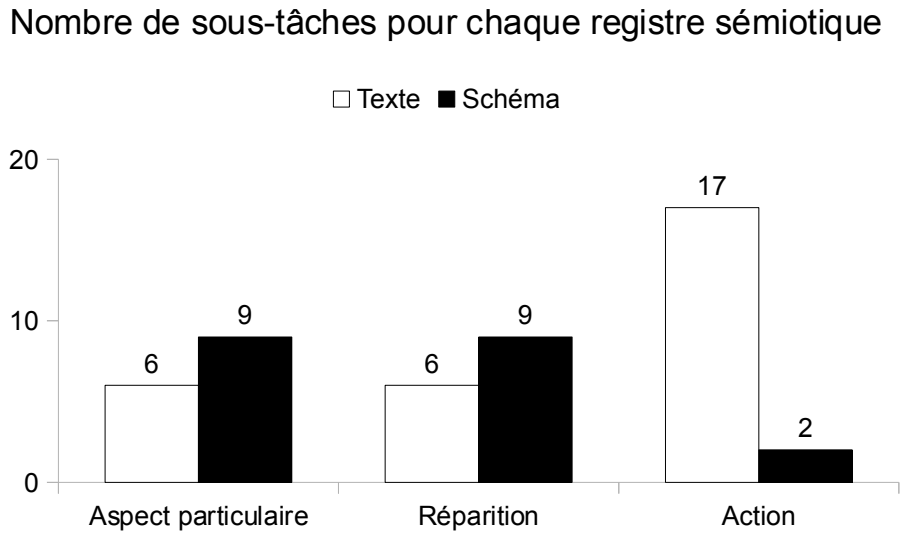


Figure 2 : schéma des flacons remplis d'air et de gaz roux avant (au-dessus) et après (au-dessous) que l'on ait retiré la paroi étanche.

Dans cet exemple, la tâche T1.4 se compose de trois sous-tâches, dans lesquelles le registre du texte a ainsi été sollicité deux fois (énoncés a et c) et celui du schéma une fois (consigne b).

Ce mode d'analyse nous a conduit à identifier 52 sous-tâches prescrites aux élèves pour l'ensemble des deux parties de la séquence, parmi lesquelles : 29 relèvent du registre sémiotique du texte, 20 mobilisent le registre du schéma et seulement 3 font appel à celui des équations. De manière globale, le registre du texte est plus mobilisé que le schéma ou les équations dans la séquence d'enseignement. Cependant, notre analyse montre une utilisation différente des registres sémiotiques selon les trois facettes des gaz étudiés (graphique 1).



Graphique 1 : Nombre de sous-tâches prescrites utilisant les registres texte et schéma en fonction des facettes des gaz : aspect particulaire, répartition homogène et action du gaz

Le graphique 1 montre que l'aspect particulaire, ainsi que la répartition sont mobilisés dans 9 sous-tâches relevant du registre de schéma contre seulement 6 sous-tâches utilisant celui du texte. Le fait qu'un gaz puisse exercer une action intervient dans 17 sous-tâches relevant du registre du langage naturel et dans seulement 2 impliquant le registre du schéma. L'aspect particulaire et la répartition homogène sont davantage mobilisés dans le registre du schéma (9 sous-tâches contre 6 sous-tâches pour le langage naturel) et l'action du gaz est beaucoup plus sollicitée sur le plan du langage naturel (17 sous-tâches contre 2).

L'analyse a posteriori des tâches réalisées dans la séquence fait donc apparaître que les registres sémiotiques ne sont pas mobilisés dans les mêmes proportions au cours de l''enseignement. Ces constats pourraient ainsi expliquer le réinvestissement plus ou moins facile des idées des élèves sur ces facettes du gaz en fonction des registres sémiotiques utilisés lors d'une évaluation ultérieure.

Méthodologie

Notre étude propose d'étudier à l'aide d'un questionnaire l'impact des registres sémiotiques sur l'évaluation des idées des élèves de Seconde suite à une séquence d'enseignement sur les gaz. Elle s'inscrit dans une recherche plus globale sur l'évolution des idées des élèves à partir d'une collection de données beaucoup plus conséquente : questionnaires (avant et après la séquence sur les gaz), vidéos d'entretiens (pré et post enseignement) avec des élèves, vidéos de classe de la totalité de la séquence d'enseignement, ainsi que l'ensemble des traces écrites des élèves (Givry, 2003).

Caractéristiques de l'échantillon

L'échantillon concerne trois classes de Seconde provenant de deux lycées ayant des caractéristiques très similaires du point de vue du recrutement des élèves qui sont tous issus d'un milieu socio-économique plutôt favorisé. Ces classes sont toutes les trois réputées être d'un bon niveau scolaire (selon les dire de leurs enseignants). Les garçons et les filles y sont par ailleurs représentés dans des proportions relativement équivalentes. Au total l'échantillon regroupe 86 élèves (dont 45 filles et 41 garçons) dont l'âge moyen est de 15,7 ans. Il s'agit donc d'élèves qui, dans l'ensemble, n'ont pas de retard dans leur scolarité.

Deux de ces classes sont encadrées par la même enseignante chevronnée. Le second professeur dispose également d'une large expérience professionnelle. Ces deux enseignants font partie du groupe SESAMES et ont par ailleurs tous les deux pleinement contribué à l'élaboration de la séquence d'enseignement sur les gaz qui a été mise en œuvre dans les trois classes.

Dispositif de recueil des données

Le questionnaire de type épreuve papier-crayon a été construit à partir des attentes relatives aux enjeux didactiques de la séquence d'enseignement (décrits plus haut) et des apports des travaux en didactique de la physique (particulièrement Benson & al., 1993; Chomat & al. 1988; Méheut & Chomat, 1990; Séré, 1985; Stavy, 1988; Vince & Tiberghien, 2000).

Ce questionnaire été administré aux élèves une semaine après le déroulement de la séquence d'enseignement qui s'est déroulée vers la fin de l'année. Sa passation a eu lieu en salle de classe selon des modalités standardisées. Le temps de passation a été fixé à 30 minutes. La présentation du questionnaire (la même pour tous) a été faite oralement. Les élèves ont répondu individuellement. Ils ont été informés que le questionnaire ne serait pas noté et que toutes leurs justifications étaient importantes. Pour faciliter ce dernier point, chaque feuillet de réponses a, de surcroît, été rempli de manière anonyme.

Le questionnaire initial comportait 19 questions essentiellement de type ouvert. Neuf de ces questions ont été écartées du fait qu'elles demandaient uniquement des réponses littérales et concernaient des facettes du savoir (par exemple le caractère pesant des gaz) non explorées dans le cadre de cet article. Par opposition, les 10 items conservés invitaient les élèves à fournir successivement des réponses à la fois dans le registre du texte et celui du schéma. Ces 10 items se rapportent eux-mêmes à 5 situations se rapprochant plus ou moins de la vie quotidienne des élèves avec des objets censés être le plus familier possible (ballon de foot, pompe à vélo, ballon de baudruche,...). Ces situations se distinguent les unes des autres en ceci que certaines décrivent simplement un état (pompe à vélo bouchée, ballons de baudruche remplis de gaz différentes) quand d'autres mettent en scène une action (ballon que l'on dégonfle, bouteille que l'on chauffe, piston sur

lequel on appuie). Ces dernières, contrairement aux autres, devraient en effet favoriser l'idée selon laquelle les gaz exercent eux-mêmes une action conformément aux travaux de Séré (1985) qui montrent que pour certains élèves l'air n'agit que lorsqu'il est en mouvement. Enfin, les différentes situations proposées (décrites ci-dessous) mettent toutes en scène des objets qui sont des enceintes fermées contenant du gaz se rapprochant des situations enseignées dans la séquence d'enseignement. Voici les énoncés des 10 questions proposés aux élèves.

Situation 1 : ballon de foot que l'on dégonfle

"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."

1.1- Lorsque l'on dégonfle le ballon, il devient moins dur. Expliquez
1.2 - Représentez l'air dans le ballon avant qu'on le dégonfle (figure a) et une fois qu'il est dégonflé (figure b)

Figure 3 : le ballon trop dur avant qu'on le dégonfle (a) et ballon un peu dégonflé (b)

Situation 2 : Ballon de baudruche posé sur une bouteille en fer que l'on chauffe

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

2.1 - Expliquez le fait que le ballon se gonfle
2.2- Schématisez ce qui se passe

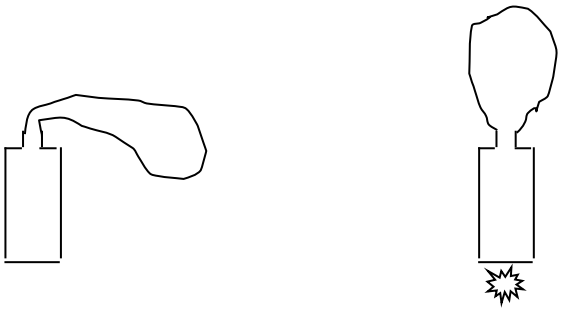


Figure 4 : bouteille en fer connectée à un ballon de baudruche sans chauffage (à gauche) et avec chauffage (à droite)

Situation 3 : Pompe à vélo bouchée

"On bouche une pompe à vélo avec un bouchon"

3.1- 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

3.2 Représentez ci-dessous l’air enfermé dans l’enceinte (ABCD).

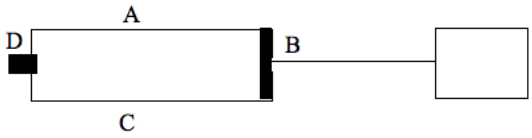


Figure 5 : pompe à vélo fermée par un bouchon

Situation 4 : Pompe à vélo bouchée lorsque l'on pousse le piston

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

4.1- 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 - Représentez ci-dessous l’air enfermé dans l’enceinte (ABCD).

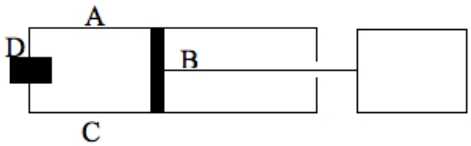


Figure 6 : une pompe à vélo bouchée lorsque l'on appuie sur le piston

Situation 5 : Quatre ballons de baudruche remplis de gaz différents

"On prend quatre ballons de baudruche de même volume : le premier est rempli d’air, le second est rempli d’hydrogène, le troisième est rempli de gaz carbonique et le quatrième est rempli d’hélium"

5.1- On appuie successivement de la même façon sur les quatre ballons de manière à les déformer. Si on les lâche que va-t-il se passer pour chacun des ballons ?
Expliquez
5.2- Représentez l’air, l’hydrogène, le gaz de ville et l’hélium dans chacun des ballons.

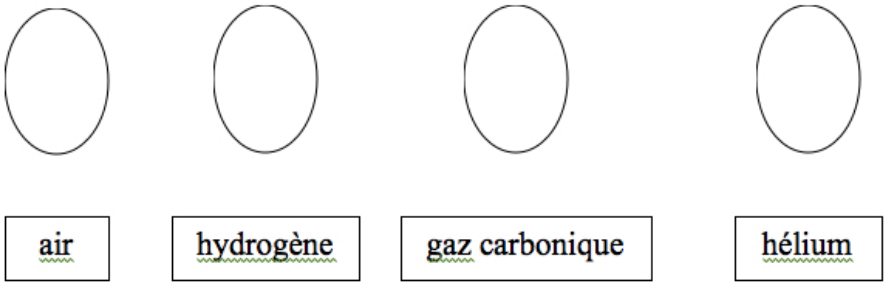


Figure 7 : quatre ballons de baudruche remplis d'air, d'hydrogène, de gaz carbonique et d'hélium

Dans chaque situation, les élèves ont la possibilité (ou pas) d'exprimer des idées sur les trois facettes du savoir sur les gaz suivants :
F1 : chaque question laisse le choix aux élèves d'utiliser l'aspect particulaire des gaz dans les réponses littérales et les schémas.
F2 : les questions écrites et les schémas ne font aucune référence explicite à la répartition homogène des gaz
F3 : l'ensemble des questions laisse la possibilité de faire référence (ou pas) à l'action des gaz dans les réponses relevant du registre du texte, ainsi que celui du schéma.

Grille d'analyse et mode de codage des productions des élèves

Les réponses des élèves ont été codées à l'aide d'une grille d'analyse préétablie. Celle-ci a été élaborée à partir des travaux antérieurs sur les conceptions des élèves sur les gaz, complétés par une analyse sémiotique plus fine pour chacune des facettes à travers : (a) les mots pouvant être utilisés pour les décrire, ainsi que (b) les possibilités scripturales du registre sémiotique du schéma pour les représenter.
Cette grille d'analyse se compose de catégories spécifiques à chacune des trois facettes conceptuelles étudiées, ainsi que deux catégories transversales ("Autre" et "non réponse") applicables à chacune des questions.
Chaque réponse fait l'objet de 3 codages relatifs à chacune des facettes des gaz selon les indicateurs décrits ci-dessous :

F1 : Aspect particulaire.

Le codage utilisé vise à différencier le niveau (**macroscopique** ou **microscopique**) où se situent les explications fournies par les élèves.
a) Pour ce qui est des explications littérales, toutes les explications faisant appel aux mots *molécules*, *atomes* ou *particules* sont considérées comme des indicateurs du niveau **microscopique**. En effet, nous considérons que ces trois mots sont issus du vocabulaire scientifique et qu'ils font explicitement référence aux éléments se trouvant à l'échelle microscopique. Voici à titre d'exemple quelques réponses écrites d'élèves (sans correction de l'orthographe, afin de limiter les risques de surinterprétation) : "*car des molécules d'air sont partie du ballon*", "*le gaz est composé de plusieurs particules*" et "*les atomes tapent sur les parois*".
Par opposition, le niveau **macroscopique** regroupe toutes les explications n'utilisant pas les mots *molécules*, *atomes* ou *particules,* mais avec des termes relevant du niveau macroscopique, comme : *:air, gaz, hélium, hydrogène, gaz carbonique...*Voici quelques exemples de réponses d'élèves (sans correction orthographique) : "*le ballon contient moins d'air, il y a donc moins de pression à l'intérieur, le ballon devient moins dur*", "*l'air est omniprésent et agit avec la même force sur toutes les parois*", "*un gaz est dégagé par la chaleur et gonfle le ballon*".
b) Pour ce qui est des schémas complétés par les élèves, les éléments de dessin (points, croix,

ronds...) représentant des *entités séparées discontinues* sont considérés comme relevant du niveau **microscopique** (figure 8). En effet, le caractère discontinu des gaz n'est pas perceptible, c'est pourquoi nous inférons que ce type de représentation relève du niveau microscopique. En effet, les gaz issus des situations du questionnaire ne sont pas visibles, donc il n'est pas possible pour les élèves de percevoir au niveau macroscopique le caractère discontinu de ceux-ci, c'est pourquoi nous considérons que ce type de représentation relève du niveau microscopique.

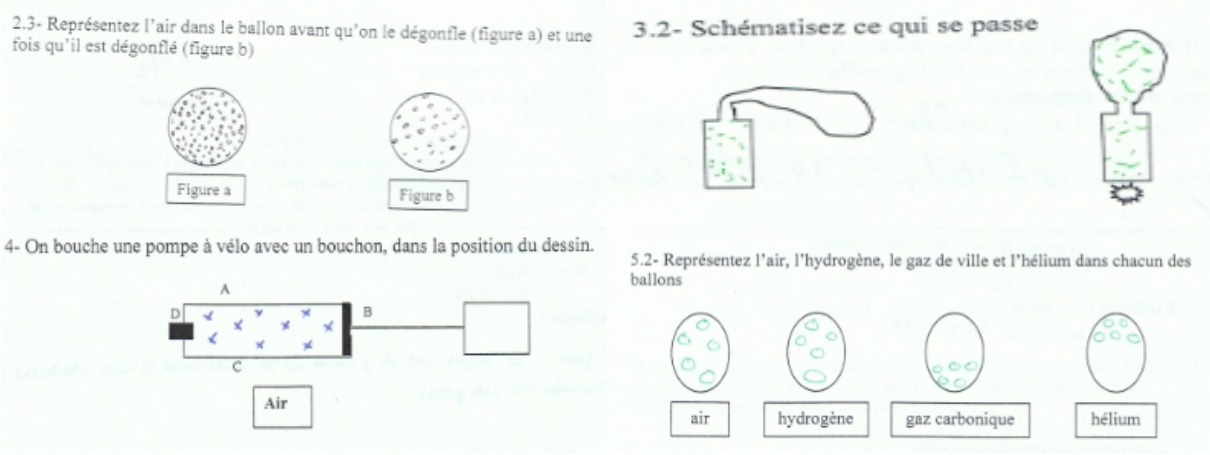


Figure 8 : Schémas d'élèves codés dans la catégorie microscopique

Par opposition, nous considérons comme relevant du niveau **macroscopique** tous les schémas représentant les gaz par une *surface continue* (figure 9).

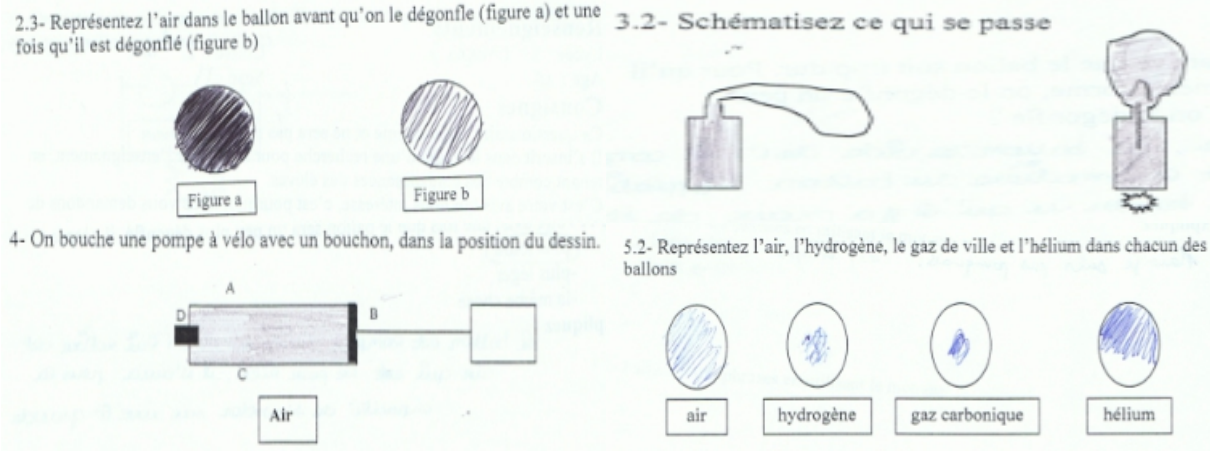


Figure 9 : schémas d'élèves codés dans la catégorie macroscopique

F2 : Répartition homogène des gaz

L'analyse vise à discerner deux types de répartition : **homogène** ou **inhomogène**. Ces catégories s'appliquent aux réponses littérales et schématisées.

a) La catégorie répartition **homogène** correspond aux réponses écrites mobilisant des idées se rapprochant de la propriété d'expansibilité du gaz. C'est-à-dire qu'il se répartit dans tout le volume qui lui est offert. Concrètement, nous avons sélectionné toutes les réponses écrites décrivant une répartition de *partout,* illustrée par les exemples suivants : "comme l'air prend <u>toute la place</u> dans le ballon les parois st donc tendues" et "l'air est situé <u>homogènement partout</u> dans la seringue", "Il se gonfle car les molécules <u>occupent toute la place donnée</u>"

b) Cette catégorie regroupe aussi les schémas qui représentent l'air, les gaz au niveau macroscopique (surface continue) ou microscopique (entités séparés) se répartissant de *partout* dans les enceintes fermées des objets des différentes situations (figure 10).

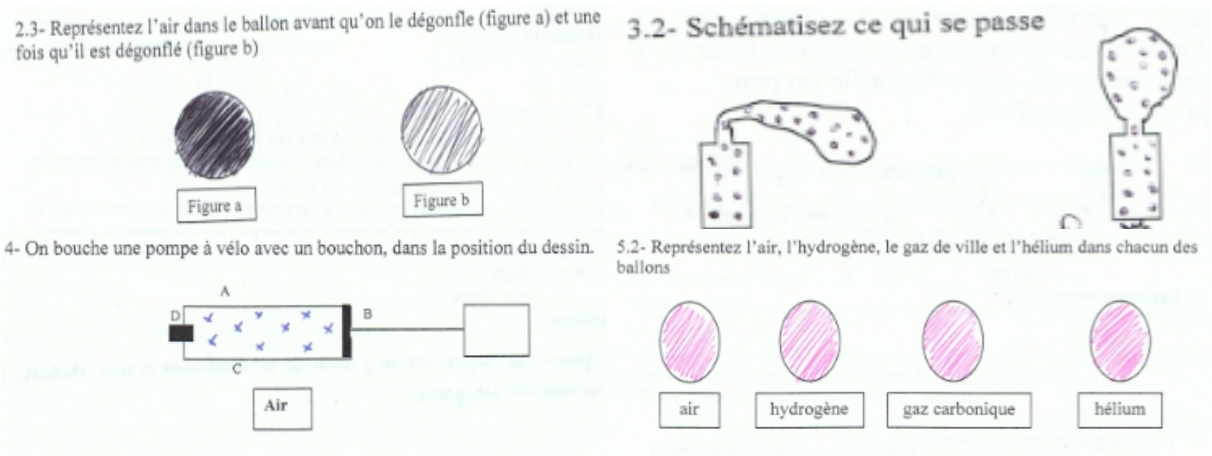


Figure 10 : exemples de schémas codés dans la catégorie répartition homogène

La catégorie **inhomogène** regroupe :
a) les expressions qui précisent que le gaz ou les molécules se situent *à un endroit* spécifique, comme dans les exemples suivants : "les molécules <u>se concentrent sur les parois</u> qui sont occupées par l'air", "l'air qui était dans la bouteille est <u>uniquement dans le ballon</u> car l'air chaud monte vers le haut" et "oui car il y a <u>moins d'air sur les bords</u> du ballon"
b) les schémas représentant le gaz (surface continue) ou les molécules (entités séparés) avec une répartition plus importante *à un endroit* déterminé (figure 11) :

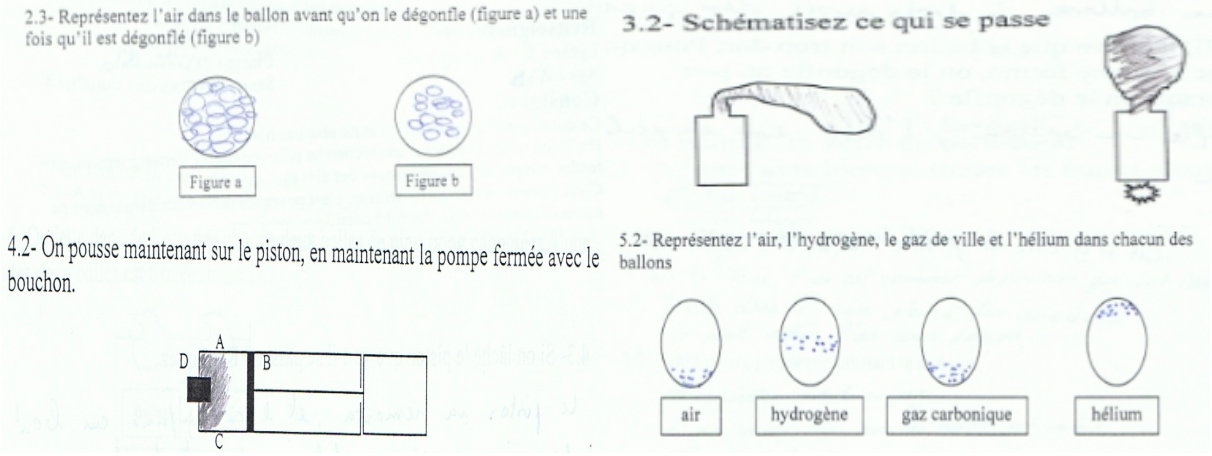


Figure 11 : exemples de schémas codés dans la catégorie répartition inhomogène

F3 : Action du gaz

S'agissant d'une propriété importante pour construire le concept de pression, ainsi que de force pressante, il nous importe de dissocier les élèves dont les réponses témoignent de l'action du gaz de celles qui ne le manifestent pas.
a) La catégorie "**Agit**" regroupe les réponses littérales qui font explicitement état d'une *action* ou du résultat d'une *action* du gaz ou des molécules sur la ou les parois des objets concernés, comme dans les réponses d'élèves suivantes :"l'air <u>agit</u> sur toute les parois", "le ballon devient moins dur car il contient moins d'air, dc il y aura moins de <u>chocs</u> sur les parois" ;
b) Les élèves ont schématisé l'action du gaz à l'aide de *flèches* mais celles-ci sont polysémiques. En effet, elles peuvent aussi bien représenter l'action du gaz sur une paroi, que le déplacement de celui-ci. Par conséquent, nous avons considéré que les flèches dont la pointe est orientée vers la paroi d'un objet et simultanément proche de celle-ci (cf. les deux schémas de gauche de la figure 12)

comme faisant référence à l'action du gaz et celles dont la pointe n'est pas orientée directement dans le sens de la paroi (voir les deux schémas de droite de la figure 12) comme relevant du déplacement du gaz. Seules les flèches dont la pointe est orientée vers la paroi et proches de celle-ci ont donc été classées dans la catégorie "**Agit**" (figure 12).

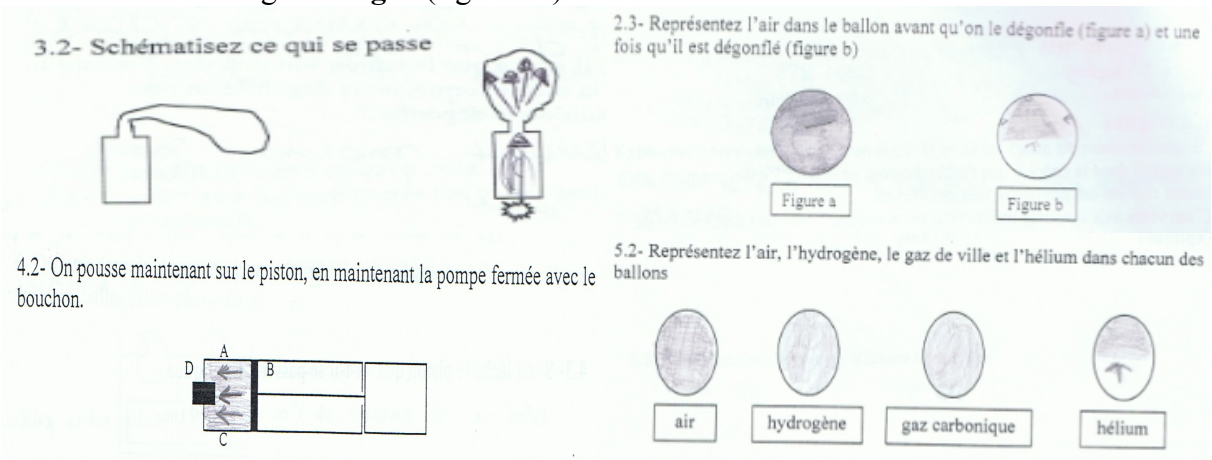


Figure 12 : exemples de schémas relevant de la catégorie "Agit"(à gauche) ou considérés comme faisant référence au déplacement du gaz (à droite) catégorie "Autre"

Pour chacune des trois facettes, la catégorie transversale "**Autre**" s'applique :

1. à toutes les réponses écrites :
   a) *ambigües* ne permettant pas de coder la réponse dans l'une de nos catégories, comme par exemple :*"oui, il devient plus dur*", "*un va exploser*", "*puisqu'on a pas appuyé sur la pompe*", "*ils vont reprendre la forme initiale*". La phrase "oui il devient plus dur" est ainsi codée dans la catégorie "autre" de la facette aspect particulaire (car elle ne parle ni du niveau macroscopique, ni du niveau microscopique), mais aussi dans la catégorie autre de la facette répartition homogène du gaz (puisqu'elle ne parle pas de répartition) et dans la catégorie autre des catégories de la facette action du gaz (puisqu'elle ne parle pas explicitement de l'action du gaz) ;
   b) *hors sujet du point de vue de la physique* : "*je sais pas trop pourquoi (désolé)*", "*c'est comme ça*", "*allez l'O.L.*", "*bonne chance pour ta recherche*", "*parce que c'est logique*" ;
   c) *ne faisant pas référence à l'une des facettes des gaz*, par exemple, la réponse "les molécules se répartissent partout dans le ballon" sera codée dans la catégorie "autre" pour la facette action du gaz (car elle ne fait pas explicitement référence au fait que le gaz agit dans le ballon)
2. aux schémas ambigus ne permettant pas d'être codés dans nos catégories, ainsi que ceux ne répondant pas aux questions. À titre d'exemple, la figure 13 illustre des schémas ne permettant pas de se situer au niveau macroscopique (surface continue) ou microscopique (entités discontinues), ainsi qu'une représentation hors sujet

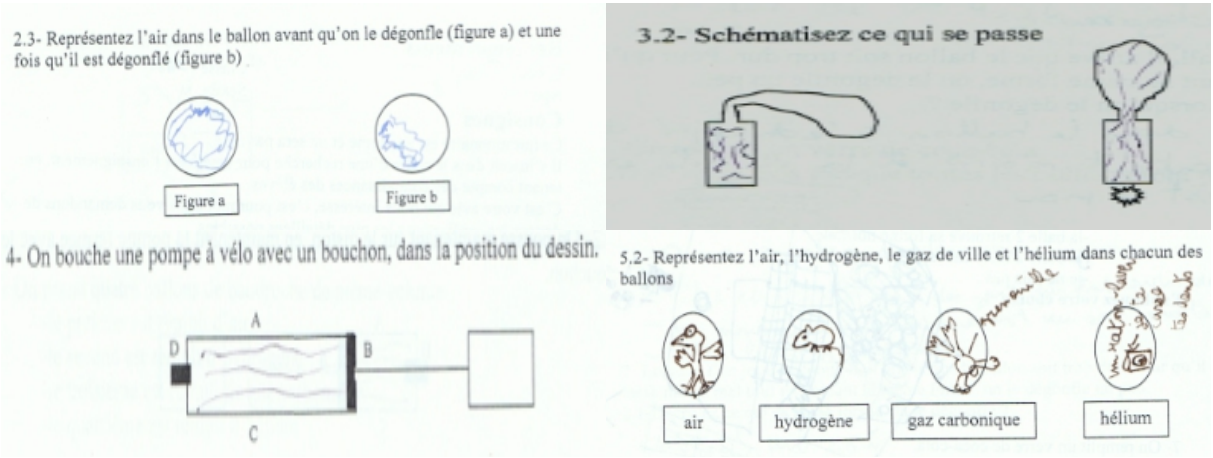


*Figure 13 : exemples de schémas classés dans la catégorie **Autre***

La catégorie transversale "**non réponse**" correspond à l'absence de réponse de la part d'un élève à une question.

Reproductibilité du codage et fiabilité statistique de l'analyse

Les productions des élèves ont toutes été catégorisées par le même chercheur. La fidélité de son codage a été éprouvée en comparant à plus d'un an d'intervalle à l'aide du logiciel Sphinx les catégorisations opérées pour l'ensemble de réponses des élèves. L'application du test statistique de Cohen's kappa (κ) a confirmé la très bonne fiabilité intra-analyste de ces codages ; avec $\kappa = 0{,}84$ correspondant au meilleur niveau (excellent) de reproductibilité de la mesure. De plus, l'ensemble des résultats que nous présentons sur les variables Texte et Schéma sont statistiquement significatifs au regard du test d'ajustement du Khi2 par rapport à une loi d'équiprobabilité.

Résultats

La présentation des résultats est organisée en fonction des différentes questions sous-jacentes à cette recherche.
Question 1. Y a-t-il une influence des situations proposées dans l'évaluation écrite sur la mobilisation des idées des élèves dans les registres sémiotiques du texte et du schéma ?
Question 2. La mobilisation des idées des élèves pour les facettes aspect particulaire, répartition homogène et action du gaz est-elle plus ou moins facile selon le registre sémiotique convoqué ?
Question 3. Les registres sémiotiques des tâches proposées dans l'enseignement des gaz ont-ils un effet sur la mobilisation des idées dans le registre du texte et du schéma lors d'une évaluation écrite ?

1. Les situations ont un effet sur la mobilisation des idées

Le tableau 1 présente la répartition des réponses littérales (registre sémiotique du texte) et figurales (registre du schéma) des 86 élèves en fonction des catégories macroscopique, microscopique, autre et non réponse (colonnes) pour l'ensemble des 5 situations (lignes). Le nombre de réponses total est de 430 (nombre de réponses multiplié par le nombre de situations) pour chacun des registres sémiotiques. En effet, pour chacune des 5 situations nous avons catégorisé 86 réponses écrites et 86 schémas.

Situations	**Texte** (N=430)				**Schéma** (N=430)			
	Micro	Macro	Autre	Non réponse	Micro	Macro	Autre	Non réponse
S1 situation 1 (n=86)	40	35	7	4	66	12	6	2
S2 situation 2 (n=86)	19	49	9	9	55	6	17	8
S3 situation 3 (n=86)	21	46	7	12	69	10	4	3
S4 situation 4 (n=86)	24	40	11	11	68	9	3	6
S5 situation 5 (n=86)	11	30	25	20	58	11	1	16
Total des réponses (N=430)	**115**	**200**	**59**	**56**	**316**	**48**	**31**	**35**

Tableau 1: Catégorisation des réponses littérales (Texte) et schématiques (Schéma) des 86 élèves pour chacune des 5 situations.

On constate que dans le registre sémiotique du **texte**, la proportion des réponses se situant au niveau microscopique varie très significativement ($p < .001$ Chi 2 (4, N = 430) = 26,94)[2] en fonction des situations. Ces réponses sont nettement plus nombreuses en S1 que dans les autres situations, qui favorisent au contraire une majorité de réponses se situant au niveau macroscopique. Ceci semble donc témoigner d'une influence des situations lorsque le registre du langage naturel est mobilisé.

En ce qui concerne les productions de nature figurative (**schéma**), on constate que les réponses qui relèvent du niveau microscopique dominent dans toutes les situations. Toutefois, leur proportion d'une situation à l'autre ne diffère pas significativement en fonction des situations ($p > .05$ Chi 2 (4, N = 430) = 9,47) lorsque les élèves ont à produire une représentation schématique. La modalité du schéma favorise ainsi une bonne restitution de l'aspect microscopique quelle que soit la situation en jeu. Il s'agit là d'un aspect inattendu de nos résultats qui montre que, lorsqu'il s'agit de rendre compte de l'aspect particulaire des gaz, le registre du langage naturel s'avère nettement plus sensible aux situations, que celui du schéma. A la lumière de ce constat, il s'agira donc pour nous, dans le cadre d'une autre exploitation ultérieure de ces données, de fouiller plus avant ce résultat pour en vérifier l'ampleur; le but principal de la présente recherche n'étant pas de se centrer sur l'influence des situations, mais de s'intéresser essentiellement au rôle des registres sémiotiques sur la mobilisation des idées.

Dans le cadre plus strict qui nous occupe ici, à savoir celui de la comparaison de l'effet de chacun des registres sur le type d'appréhension mobilisée par les élèves, on observe en revanche que, dans chacune des situations, le registre du schéma engendre significativement ($p<.001$ Chi 2 (2, N = 172) = 16,62 pour S1; 30,74 pour S2; 53,69 pour S3 ; 45,24 pour S4; 53,46 pour S5) plus de réponses situées au niveau microscopique (catégorie "Micro") que celui du langage naturel.

Inversement, les réponses relevant du niveau macroscopique sont également significativement plus nombreuses pour le registre du texte que pour celui du schéma, et ceci là encore quelle que soit la situation ($p<.001$ Chi 2 (2, N = 172) = 12,15 (S1) ; 49,42 (S2) ; 34,31 (S3) ; 27,42 (S4) et 11.56 (S5).

Nous retrouvons en outre des résultats similaires pour les autres facettes (répartition homogène et action des gaz) : avec des variations des réponses en fonction des situations, mais surtout un écart relativement constant entre l'utilisation des deux registres sémiotiques. Compte tenu de l'homogénéité de l'effet des situations sur les deux modalités de la variable indépendante "type de registre sémiotique mobilisé", nous avons donc fait le choix de ne pas alourdir inutilement la suite de la présentation des résultats en globalisant les réponses obtenues sur les cinq situations (soit un total de 430 réponses par registre concerné).

2 Pour tous les calculs du Chi2, nous avons regroupé les catégories "Autre" et "Non réponse".

2. Les registres sémiotiques influencent la mobilisation des idées

Nous proposons de montrer que le registre sémiotique du schéma favorise la mobilisation des idées des élèves sur les facettes : aspect particulaire (F1) et répartition homogène (F2) alors que le registre du texte facilite les réponses faisant référence à l'action du gaz (F3).

2.1 Le schéma favorise les idées sur l'aspect particulaire

Le tableau 2 donne le nombre total des réponses pour les 5 situations (issues du tableau 1) des 86 élèves en fonction du registre du texte et celui du schéma (colonnes) en fonction des 4 catégories: microscopique, macroscopique, autre et non réponse (lignes).

	Texte (N= 430)		**Schéma (N=430)**	
Catégories	Total des réponses dans les 5 situations	Pourcentage	Total des réponses dans les 5 situations	Pourcentage
Microscopique	115	27%	316	73%
Macroscopique	200	46%	48	12%
Autre	59	14%	31	7%
Pas de réponse	56	13%	35	8%

Tableau 2: répartition des réponses littérales et schématiques des 86 élèves sur l'aspect particulaire (p <.0001 Chi 2 (3, N = 860) = 200,46)

Au niveau global (toutes situations confondues) il apparaît encore plus évident que le registre sémiotique du schéma favorise la mobilisation des idées des élèves sur l'aspect particulaire des gaz (relevant du niveau microscopique) alors que celui du texte favorise celles se situant à l'échelle macroscopique. En effet, les réponses relevant du niveau microscopique sont mobilisées par 73% des élèves dans le registre du schéma contre seulement 27% d'entre eux dans celui du texte, soit un écart de 46%. À l'inverse, les idées des élèves relevant du niveau macroscopique sont mobilisées par 46% des élèves dans le registre du texte et par seulement 12 % d'entre eux dans le cadre des schémas, soit un écart de 34%. Les différences observées dans cette répartition sont fortement significatives (p <.0001 Chi 2 (3, N = 860) = 200,46).

La question relative à l'influence du type de registre sémiotique proposé aux élèves sur leur capacité à rendre compte plus ou moins facilement de l'aspect particulaire des gaz reçoit donc une réponse positive. Plus précisément, il apparaît que la modalité de réponse offerte par les schémas est plus facilitante que celle du langage naturel eu égard à la mobilisation de l'aspect particulaire des gaz.

2.2. Le schéma favorise les idées sur la répartition homogène

Le tableau 3 donne la répartition du nombre total des réponses aux 5 situations des 86 élèves pour les registres sémiotiques du texte et du schéma en ce qui concerne la facette "répartition homogène".

	Texte (N = 430)		**Schéma (N = 430)**	
Catégories	Total des réponses sur les 5 situations	Pourcentage	Total des réponses sur les 5 situations	Pourcentage
Homogène	95	22%	300	69%
Inhomogène	17	4%	75	18%
Autre	262	61%	20	5%
Pas de réponse	56	13%	35	8%

Tableau 3: répartition des réponses littérales et schématiques des 86 élèves sur la facette répartition homogène (p <.0001 Chi 2 (3, N = 860) = 355.478)

Ce tableau montre que l'idée de répartition homogène est mobilisée par 69% des élèves dans le registre du schéma et par seulement 22% d'entre eux dans le cadre de réponses littérales, soit un écart de 47% de sujets d'une modalité à l'autre. On constate par ailleurs que les idées en faveur d'une répartition inhomogène des gaz (en contradiction avec le point de vue de la physique) sont également trois fois plus répandues dans les réponses schématiques (18 % des élèves) que littérales (4 %).

Manifestement, il s'avère que le schéma constitue une modalité de réponse qui induit fortement les élèves à prendre en compte la répartition des gaz (87% si l'on regroupe les catégories "*Homogène*" et "*Inhomogène*"), ce qui n'est pas le cas pour le registre du texte. En effet, la majorité (61%) des réponses littérales des élèves ne fait pas référence à la répartition (catégorie '*'Autre*") et seulement 26% de réponses mobilisent des idées sur cet aspect. Le registre du schéma montre pourtant, que près de 70 % des élèves savent réinvestir l'idée de répartition homogène des gaz dans différentes situations suite à la séquence d'enseignement dispensé.

Cette différence de répartition des réponses selon le registre mobilisé est fortement significative (p<.0001 Chi 2 (3, N = 860) = 355.478). La question relative à l'influence du type de registre sémiotique proposé aux élèves sur leur capacité à rendre compte plus ou moins facilement des différents aspects conceptuels liés à l'enseignement sur les gaz reçoit donc là aussi une réponse positive. Plus précisément, il s'avère ici que le fait d'inviter les élèves à recourir au langage naturel ne les induit pas à réinvestir ce qu'ils ont appris au sujet de la répartition des gaz contrairement aux possibilités qu'offre le schéma à cet égard.

2.3 Le registre du texte avantage les idées sur l'action du gaz

Les précédents résultats sur l'effet positif du registre sémiotique du schéma sur la mobilisation des idées des élèves à propos des facettes "aspect particulaire" et "répartition homogène" laissent penser que l'expression populaire "*un schéma vaut mieux qu'un long discours*" pourrait être généralisée à l'ensemble des facettes du savoir concernant l'enseignement des gaz. Cependant, il n'en est rien, car comme le montre le tableau 4 les idées des élèves sur la facette "action du gaz" ne sont absolument pas avantagées par le registre du schéma.

	Texte (N=430)		Schéma (N=430)	
Catégories	Total des réponses sur les 5 situations	Pourcentage	Total des réponses sur les 5 situations	Pourcentage
Agit	190	44%	3	1%
Autre	185	43%	392	91%
Pas de réponse	55	13%	35	8%

Tableau 4: répartition des réponses littérales et schématiques des 86 élèves sur la facette "action du gaz" (p <.0001 Chi 2 (2, N = 860) = 259.892)

On constate ici (tableau 4) que les idées en faveur d'une possible action des gaz sont utilisées par 44% des élèves dans le registre du texte et par seulement 1% d'entre eux dans le registre du schéma à l'aide de flèche dont le bout est proche de la paroi et en même temps orienté vers celle-ci, ce qui représente un écart de 43%.

On observe parallèlement que la modalité schéma favorise au contraire très largement (91 % des élèves) des réponses classées dans la catégorie "autre", c'est-à-dire des explications qui ne font aucune référence à l'action du gaz sur les parois des objets quotidiens concernés. Pourtant, les élèves ont une certaine familiarité avec l'utilisation des vecteurs pour modéliser les actions développées durant les enseignements tout au long de l'année scolaire, ainsi qu'un entraînement spécifique à l'utilisation de ces vecteurs pour décrire la force pressante afin de modéliser l'action de l'air dans une seringue dans plusieurs tâches proposées dans la séquence d'enseignement sur les gaz.

La répartition des réponses selon chaque modalité donne lieu, quoi qu'il en soit, à une différence fortement significative (p <.0001 Chi 2 (2, N = 860) = 259.892).

Rappelons que l'un des buts de l'enseignement était que les élèves s'approprient l'idée que les gaz agissent sur les parois d'une enceinte fermée dans les différentes situations. Nos résultats semblent indiquer que l'efficacité de l'enseignement de cette facette du savoir n'est pas atteinte. En effet, plus de la moitié des élèves n'arrivent pas à mobiliser cette idée dans le registre du langage naturel. De plus, quasiment aucun élève (1%) ne l'utilise dans le registre du schéma. Malgré ces « performances » insuffisantes, l'écart entre les registres sémiotiques est comparable aux écarts obtenus (de l'ordre de 40%) pour l'aspect particulaire et la répartition des gaz. En conclusion, notre question principale d'une influence éventuelle des registres sémiotiques sur la mobilisation des idées des élèves reçoit également une réponse positive en ce qui concerne cette facette du savoir.

3. Les registres sémiotiques de l'enseignement influencent la mobilisation des idées dans l'évaluation

Le tableau 5 rend compte du nombre de tâches issues de l'enseignement et du total des réponses mobilisées lors de l'évaluation pour les deux registres sémiotiques en fonction de chacune des facettes du savoir.

	Texte		Schéma	
Facettes	Enseignement Nombre de tâches (N= 52)	Évaluation Total réponses (N=430)	Enseignement Nombre de tâches (N= 52)	Évaluation Total réponses (N=430)
F1. Aspect particulaire	6 (12%)	115 (27%)	9 (17%)	316 (73%)
F2. Répartition homogène	6 (12%)	95 (22%)	9 (17%)	300 (69%)
F3. Action du gaz	17 (33%)	190 (44%)	2 (4%)	3 (1%)

Tableau 5: Importance respective des différentes facettes mobilisées dans l'enseignement et dans l'évaluation

Le tableau 5 montre qu'au cours de l'enseignement, les tâches réalisées à propos de l'*action* des gaz ont globalement été un peu plus nombreuses (19 au total) que celles réalisées à propos des deux autres facettes (15 tâches de part et d'autre). Malgré cette légère différence, nos résultats montrent pour chacune des facettes, que le registre sémiotique le plus utilisé dans les tâches de l'enseignement, se trouve être celui mobilisant le plus de réponses lors de l'évaluation. En effet, les facettes *aspect particulaire (F1)* et *répartition homogène (F2)* sont plus convoquées dans le registre du schéma (9 tâches), que celui du texte (6 tâches), et elles sont plus fortement réinvesties par les élèves dans les réponses de nature figurative (73% et 69% d'entre-elles) que littérales. De même, l'*action du gaz (F3)* a essentiellement donné lieu à des tâches en langage naturel (17 tâches), ne mobilisant par opposition que très peu l'autre registre, et l'on retrouve un réinvestissement plus important de cette facette au niveau du texte (44% des réponses) que du schéma (1%).
Les différences dans le recours à chacun des registres sémiotiques dans l'enseignement et au niveau de l'évaluation vont ainsi dans le même sens. Ceci pourrait laisser envisager la possibilité d'un lien entre la fréquence de l'utilisation d'un registre sémiotique dans les tâches de la séquence sur les gaz et le nombre de réponses pour ce registre dans l'évaluation. Ce lien pourrait se confirmer pour la facette *action du gaz* compte tenu de la différence de 15 tâches en faveur du registre du texte. Cependant, l'écart d'utilisation des registres sémiotiques dans les tâches d'enseignement pour les deux autres facettes (F1 et F2) n'est pas assez important (seulement 3 tâches) pour justifier la différence de mobilisation entre ces derniers dans l'évaluation. De plus, il est important de rappeler que la différence de mobilisation des idées entre les registres sémiotiques du questionnaire est pratiquement la même (entre 41% et 46%) pour les trois facettes. Dans la mesure où ce lien entre phase d'enseignement et phase d'évaluation apparaît nettement moins probant pour deux d'entre-elles, il ne convient pas de lui accorder plus de crédit qu'il ne faut.

Discussion

En résumé, nos résultats sur l'analyse des productions réalisées a posteriori par une population de 86 élèves de Seconde à l'issue d'une séquence d'enseignement sur les gaz montrent un écart quasi constant de l'ordre 44% entre les deux registres sémiotiques. En effet, les idées des élèves sont mobilisées sur : (1) l'aspect particulaire des gaz dans 73 % des schémas et seulement dans 27% des réponses écrites en langage naturel, (2) la répartition homogène des gaz dans 69% des schémas et

seulement dans 22% des réponses écrites et (3) l'action du gaz dans 44% des réponses écrites et seulement 1% des schémas. Il s'avère ainsi qu'il est plus facile pour les élèves de rendre compte : (a) de l'aspect particulaire et de la répartition homogène des gaz à l'aide d'un schéma et (b) dans le registre des réponses écrites en langage naturel pour mobiliser le savoir relatif à l'action des gaz.
Nous retrouvons ainsi des résultats apparemment similaires à ceux établis précédemment par Duval (1995) en didactique des mathématiques, à savoir notamment que les élèves appréhendent et restituent plus ou moins facilement certaines notions en fonction des registres de représentation sémiotiques utilisés. Cependant, dans les travaux de Duval (1995), la différence de réussite entre élèves semble s'appuyer sur la notion de congruence entre les registres sémiotiques qui s'applique à la coordination des registres entre eux et aux difficultés que pose le cloisonnement entre les systèmes sémiotiques spécifiques à chacun d'eux qui limitent les conversions d'un registre à un autre.
Dans notre propre étude, cette explication en termes de congruence ne semble néanmoins pas totalement satisfaisante. A priori, il y a par exemple congruence entre le mot "molécule" en langage naturel et sa représentation par un "cercle" sur un schéma, c'est-à-dire "*qu'il y a correspondance sémantique entre leurs unités signifiantes, univocité sémantique terminale et même ordre possible d'appréhension de ces unités dans les deux représentations*" (Duval, 1995, p.49). Par conséquent, les élèves devraient réussir aussi bien à décrire un gaz au niveau microscopique dans le registre sémiotique du langage naturel (avec le mot "molécule") qu'avec celui du schéma (en dessinant des cercles). Or, ceci n'est pas le cas dans nos résultats, où on enregistre notamment une meilleure performance des élèves dans le registre du schéma sur cet aspect particulaire.
Le second constat marquant qui ressort de nos résultats concerne l'influence contrastée du registre sémiotique convoqué selon la facette du savoir concerné et c'est donc de cela qu'il convient aussi de discuter. Comment expliquer qu'il est plus facile pour les élèves de rendre compte de l'aspect particulaire et de la répartition des gaz à l'aide d'un schéma qu'à l'aide d'une explication écrite ? Et comment expliquer qu'il leur soit plus facile de rendre compte de l'action des gaz à l'aide de phrases qu'à l'aide d'un schéma ?
Pour rendre compte de ces constats, il convient, selon nous, de revenir sur le mode de catégorisation que nous avons utilisé pour décider des types de connaissance à l'œuvre dans les productions des élèves.
Pour ce qui est de l'*aspect particulaire*, plus concrètement nos résultats signifient qu'il est plus facile pour les élèves de schématiser sous quelle que forme que ce soit (ronds, croix, points,…) le fait que les gaz sont constitués d'éléments discrets que de mobiliser par écrit des mots tels que « molécules », « particules » ou « atomes ». Doit-on considérer pour autant que les ronds, croix ou points que les élèves dessinent dans leurs schémas symbolisent véritablement pour eux des molécules, particules ou atomes ? Nos interprétations ne vont évidemment pas jusqu'à faire ce type d'inférence puisqu'elles s'autorisent simplement à dire que, dans un cas les réponses se situent au niveau microscopique et dans l'autre non. Toutefois là encore, ce n'est pas parce que les élèves n'utilisent pas tel ou tel mot que l'on peut en inférer qu'ils ne possèdent pas une connaissance atomiste des gaz. Seul le fait qu'ils puissent explicitement exprimer par une phrase l'idée contraire permettrait de procéder à cette affirmation. Il est ainsi manifeste qu'au plan interprétatif, il s'avère toujours très difficile en ce qui concerne les recherches de terrain de proposer une interprétation univoque à des différences de comportements recueillis dans le cadre de situations qui ne diffèrent pas que sous l'angle d'un seul facteur possible.
En tout état de cause, chaque type de dispositif de réponse proposé aux élèves offre en effet "intrinsèquement" ou "mécaniquement" des possibilités plus ou moins étendues de faire état du savoir idoine en jeu construit à ce sujet. Dans le cadre de ce travail, représenter la structure d'un gaz sur un schéma n'offrait que deux possibilités aux élèves : y faire figurer des éléments discrets ou donner l'image d'une structure non atomistique en représentant une surface continue. La formulation de phrases excluant les mots attendus représentait en revanche un champ de possibles

nettement plus large. C'est donc à cela qu'il convient de réfléchir, que cela soit pour les enseignants au niveau du contenu des contrôles de connaissances auxquels ils soumettent leurs élèves, qu'au niveau des recherches qui visent à objectiver les connaissances que les élèves savent mettre en œuvre.

En ce qui concerne l'*aspect répartition*, la représentation sur un schéma de molécules donne automatiquement des informations supplémentaires sur le nombre et la répartition qui n'apparaissent pas dans le terme "les molécules" en langage naturel. Comme précédemment, la mobilisation plus forte de cette facette du savoir dans les schémas peut donc ici aussi s'expliquer par une sorte d'effet mécanique. De fait, les élèves qui représentent des molécules ne disposent que de deux possibilités : soit ils les dessinent en les répartissant à l'intérieur de toute l'enceinte fermée de manière homogène ou presque, soit ils les groupent à un endroit particulier. Dans les explications demandées sous forme littérale, la question posée aux élèves s'avère de fait bien plus ouverte puisqu'ils peuvent parler de molécules (particules, ..) sans pour autant penser à s'exprimer sur leur répartition. Il est donc clair, là encore, que les deux registres sémiotiques ici proposés aux élèves n'offrent pas intrinsèquement les mêmes possibilités d'apprécier la façon dont les élèves se représentent la savoir en jeu.

En ce qui concerne l'*action du gaz*, nous avons fait le choix de regrouper dans cette catégorie tous les schémas utilisant des flèches orientées vers la paroi et proches de celles-ci bien que cette schématisation puisse malgré tout traduire aussi une simple idée de déplacement. Deux raisons ont néanmoins étayé ce choix. La première s'appuie sur des résultats de recherche montrant que pour les élèves de l'école primaire (Borghi & al., 1988), et ceux du collège (Séré, 1985) l'air n'agit que lorsqu'il est en mouvement. Il existe ainsi pour eux une sorte de lien entre l'action de l'air et son mouvement. Bien que cette utilisation de la flèche puisse être en soit polysémique, le fait qu'elle puisse ne faire référence par exemple qu'au mouvement de l'air, n'est donc en soi pas si gênant du fait de l'association habituelle que les élèves font entre cette propriété et l'action des gaz. Le second argument qui nous a conduits à considérer la flèche comme indicateur de réponses en faveur de l'action des gaz se rapporte à la séquence d'enseignement elle-même, dans laquelle la flèche est utilisée pour représenter le vecteur de la force pressante qui modélise l'action exercée par le gaz sur une paroi. Les flèches n'en demeurent pas moins insuffisantes pour expliquer la plupart des situations proposées. Par exemple, l'air dans le ballon de football agit sur toutes les parois, mais cela ne suffit pas à expliquer pourquoi il devient plus mou (il faudrait aussi tenir compte de l'action de l'air se trouvant à l'extérieur du ballon). Seule la situation mobilisant l'action de l'air sur les parois du ballon de baudruche semble pertinente pour expliquer pourquoi le ballon se gonfle. En revanche, les explications écrites utilisant l'action de l'air semblent plus pertinentes, par exemple : "*l'air agit moins sur les parois du ballon de foot lorsqu'il est dégonflé", "l'air agit plus dans le ballon de baudruche", "l'air agit plus dans la pompe lorsque l'on pousse le piston*". Autrement dit, le langage naturel offre ici la possibilité de rendre compte non seulement du fait qu'il y a action mais aussi de l'ampleur de cette dernière qui est à prendre en compte pour fournir une explication pertinente au phénomène en jeu. C'est donc en cela que réside ici l'explication la plus plausible du plus fort taux de réponses littérales en faveur de l'action.

Limites et implications

D'un point de vue méthodologique, notre étude fait l'objet d'une analyse reproductible et de résultats statistiquement significatifs. En effet, la catégorisation des réponses du questionnaire a été reproduite par le premier auteur avec le meilleur niveau d'accord au test statistique Kappa (κ = 0,84). Pour augmenter la qualité de cette reproductibilité, il aurait été souhaitable que notre analyse puisse être reproduite par un autre chercheur, de préférence d'une autre équipe de recherche. La taille de notre échantillon (86 élèves), nous a permis néanmoins d'obtenir des résultats statistiquement significatifs au test d'ajustement du Chi2. Ces résultats demanderaient également à

être étendus auprès d'une population plus large, à propos d'autres registres sémiotiques (formules, graphes, photos, ...), de même qu'en ce qui concerne d'autres contenus d'enseignement. Ils mériteraient aussi d'être mis à l'épreuve dans le cadre d'évaluations différées (à moyen et long terme), contrairement au fait qu'ils s'appliquent ici à un contrôle de connaissances effectué une semaine seulement après l'apprentissage

Mais c'est surtout d'un point de vue épistémologique que ce travail gagnerait à être poursuivi et approfondi afin de mieux cerner la nature des problèmes et des savoirs en jeu. Nous formulons ainsi le vœu que nos résultats puissent servir de point de départ à de futures recherches visant à améliorer l'efficacité didactique des dispositifs de contrôles de connaissances proposés aux élèves, sachant que les élèves ont besoin des évaluations pour situer leurs acquisitions et que les enseignants en ont en principe besoin, de leur côté pour réguler leurs enseignements.

À partir d'un travail empirique portant sur l'analyse des réponses d'élèves de seconde à une épreuve papier-crayon, nous avons mis en évidence que l'appréciation de l'efficacité d'une séquence d'enseignement varie selon que les élèves sont invités à fournir des réponses par écrit dans un texte ou à l'aide d'un schéma. Selon le registre sémiotique convoqué, il est plus ou moins facile pour les élèves de rendre compte de telle ou telle facette du savoir (aspect particulaire, répartition homogène et action du gaz) à l'œuvre dans les phénomènes physiques qu'il s'agit d'expliquer à propos des gaz.

La conclusion qui s'impose à ce sujet concerne les modalités souvent peu diversifiées des registres sémiotiques offerts aux élèves lors des contrôles de connaissances chargés d'évaluer ce qu'ils ont acquis ou construits en termes de savoirs, voire ce dont ils ont pris conscience en termes de facettes conceptuelles en jeu et des propriétés à l'œuvre qui s'y rapportent.

Il n'en reste pas moins que, par rapport à la question étudiée dans le cadre de cet article, à savoir celui de la restitution par les élèves de ce qu'ils ont appris et compris, on ne saurait que trop recommander l'utilisation lors des contrôles de connaissances de réponses à la fois écrites sous forme de texte et schématisées ; voir de schémas que les élèves auraient à renseigner par des commentaires écrits.

A cet égard, nos résultats semblent très parlants. Dans la mesure où le fait d'inviter les élèves à s'expliquer sur la même question en formulant des réponses par le biais d'explications littérales ou de réponses graphiques ne leur offrent pas la même opportunité de rendre compte de ce qu'ils ont acquis, il conviendrait a minima que les enseignants diversifient du point de vue sémiotique les dispositifs de réponse proposés lors des contrôles de connaissances afin de se faire une meilleure opinion. En effet, en utilisant un seul registre dans notre épreuve nous aurions pu conclure, selon le cas, qu'à la suite de l'enseignement dispensé : soit que 73% des élèves utilisent l'aspect particulaire des gaz soit que seulement 27% d'entre eux en sont capables. Plus généralement, les enseignants devraient donc aussi s'efforcer de proposer des consignes les plus explicites possibles, en spécifiant notamment aux élèves, s'ils attendent des réponses sur le plan macroscopique ou microscopique.

Ces recommandations vaudraient d'ailleurs aussi en ce qui concerne les travaux chargés d'éclairer les conceptions des élèves : une précaution méthodologique voudrait qu'on fasse varier non seulement les situations (ou leur habillage), mais aussi les modalités sémiotiques de réponse proposées aux élèves afin que notamment les difficultés langagières que certains peuvent rencontrer ne viennent pas limiter) l'appréhension de ce qu'ils pensent ou savent réellement à ce qu'ils savent formuler par écrit.

Remerciements

Nous tenons à remercier l'ensemble des membres de l'équipe GESTEPRO (laboratoire ADEF), et particulièrement Michel Larini et Alice Delserieys pour leurs précieux conseils, ainsi que les experts pour la pertinence de leurs remarques qui nous a permis d'améliorer la qualité de cet article.

Références

Andreucci, C., Froment, J.-P., & Vérillon, P. (1996). Contribution à l'analyse des situations d'enseignement-apprentissage d'instruments sémiotiques de communication technique. *Aster*, *23*, 181-211.

Barsalou, L. (2008). Grounded cognition. *Annual Review of Psychology*, *59*, 617-645.

Benson, D. L., Wittrock, M. C., & Baur, M. E. (1993). Students' preconceptions of the nature of gases. *Journal of Research in Science Teaching*, *30*(6), 587–597.

Bertin, J. (1977). *La graphique et le traitement graphique de l'information.* Paris : Flammarion.

Borghi, L., Ambrosis, A. D., 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*, *10*(2), 179-188.

Brook, A., Briggs, H., & Driver, R. (1984). *Aspects of secondary students' understanding of the particulate nature of matter*. Leeds: University Leeds, center for Studies in Science and Mathematics Education.

Bulletin Officiel. Programme de physique - chimie en classe de seconde générale et technologique (2010).

Buty, C., & Peterfalvi, B. (2009). Rôle des graphismes dans l'enseignement scientifique et technologique. *Aster*, *48*, 7-14.

Chomat, A., Larcher, C., & Méheut, M. (1988). Modèle particulaire et activités de modélisation en classe de quatrième. *Aster*, *7*, 143-184.

Clough, E. E., & Driver, R. (1986). A study of consistency in the use of students' conceptual frameworks across different task contexts. *Science Education*, *70*(4), 473–496.

De Berg, K. C. (1992). Students' thinking in relation to pressure - volume changes of a fixed amount of air: the semi - quantitative context. *International Journal of Science Education*, *14*(3), 295-303.

DiSessa, A. A. (1998). What changes in conceptual change? *International Journal of Science Education*, *20*, 1155-1192.

DiSessa, A. A. (2008). A Bird's-Eye View of the Piece vs Coherence Controversy. In S. Vosniadou (Éd.), *International Handbook of Research on Conceptual Change* (p. 35-60). New York: Routledge.

Duval, R. (1988). Graphiques et équations. *Annales de didactique et de sciences cognitives*, *1*, 235-253.

Duval, R. (1995). *Sémiosis et pensée humaine: registres sémiotiques et apprentissages intellectuels*. Neuchatel (Suisse) : Peter Lang.

Duval, R. (2006). A cognitive analysis of problems of comprehension in a learning of mathematics. *Educational Studies in Mathematics*, *61*(1), 103–131.

Givry, D., (2003). *Etude de l'évolution des idées des élèves de seconde durant une séquence d'enseignement sur les gaz (Thèse de doctorat).* Université Lumière, Lyon.

Givry, D., & Roth, W. M. (2006). Toward a new conception of conceptions: Interplay of talk, gestures, and structures in the setting. *Journal of Research in Science Teaching*, *43*, 1086-1109.

Givry, D., & Pantidos, P. (2012). Toward a Multimodal Approach of Science Teaching. In *Dispositifs, démarches, apprentissage dans l'Enseignement des sciences et technologies* (Vol. 17, p. 123-130). Marseille: SKHOLÊ.

Givry, D., & Tiberghien, A. (2012). Studying Students' Learning Processes Used during Physics Teaching Sequence about Gas with Networks of Ideas and Their Domain of Applicability.

International Journal of Science Education, *34*(2), 223-249.

Kress, G., Jewitt, C., Ogborn, J., & Tsatsarelis, C. (2001). *Multimodal Teaching and Learning: The Rhetorics of the Science Classroom* (Continuum.). London: Continuum International Publishing Group.

Kücüközer, A. (2006). Evolution of the students' conceptual understanding in the case of a teaching sequence in mechanics: Concept of interaction. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, *2*, 30-40.

Lave, J., & Wenger, E. (1991). *Situated Learning: Legitimate Peripheral Participation.* Cambridge : Cambridge University Press.

Lemke, J. L. (1990). *Talking science: Language, learning and values.* Norwood, NJ: Ablex.

Lemke, J. L. (1998). Multiplying Meaning: Visual and Verbal Semiotics in Scientific Text. In J. R. Martin & R. Veel (Éd.), *Reading Science*. London: Routledge.

Leontiev, A. N. (1981). Activité Conscience Personnalité. Moscou : Edition du progrès.

Malafosse, D., Lerouge, A., & Dusseau, J.-M. (2001). Étude en inter-didactique des mathématiques et de la physique de l'acquisition de la loi d'Ohm au collège: changement de cadre de rationalité. Consulté à l'adresse http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/23903

Méheut, M. (1994). Enseignement de modèles particulaires et modélisation de systèmes gazeux. Présenté à Sixièmes journées informatique et pédagogie des sciences physiques, Paris : INRP et UDP.

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 psychology of education*, *5*(4), 417-437.

Minstrell, J. (1992). Facets of students' knowledge and relevant instruction. In R. Duit, F. Goldberg, & H. Niedderer (Éd.), *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies* (p. 110- 128). Kiel : IPN.

Niaz, M. (2000). Gases as Idealized Lattices: A Rational Reconstruction of Students' Understanding of the Behavior of Gases. *Science & Education*, *9*(3), 279-287.

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*, *34*(2), 199–217

Novick, S., & Nussbaum, J. (1978). Junior high school pupils' understanding of the particulate nature of matter: An interview study. *Science Education*, *62*(3), 273–281.

Novick, S., & Nussbaum, J. (1981). Pupils' understanding of the particulate nature of matter: A cross-age study. *Science Education*, *65*(187-196).

Peirce, C. S. (1978). *Écrits sur le signe.* Paris : Seuil. .

Peraya, D. (1995). Vers une théorie des paratextes : images mentales et images matérielles, *4*, 1-38.

Pozzer-Ardenghi, L. (2009). Research on inscriptions: Visual literacy, authentic science practices, and multimodality. In K. Tobin & W.-M. Roth (Éd.), *The world of science education. Handbook of research in North America* (p. 307-324). Rotterdam: Sense Publishers.

Pozzer-Ardenghi, L., & Roth, W.-M. (2007). On performing concepts during science lectures. *Science Education*, *91*(1), 96-114.

Rogalski, J. (2008). Théorie de l'activité et cadres développementaux pour l'analyse liée des pratiques des enseignants et des apprentissages des élèves. In F. Vandebrouck (Éd.), *La classe de mathématiques : activités de élèves et pratiques des enseignants*. Toulouse: Octares.

Roth, W.-M., & Welzel, M. (2001). From activity to gestures and scientific language. *Journal of Research in Science Teaching*, *38*(1), 103–136.

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 (thèse de doctorat)*. Paris: Université Paris 6.

Séré, M. G., & Moppert, M. (1989). Présentation d'un modèle particulaire des gaz à des élèves de 6ème. Obstacles et acquisitions. *Petit x*, *21*, 31-42.

Stavy, R. (1988). Children's conception of gas. *International Journal of Science Education*, *10*(5), 553-560.

Tang, K., Tan, S. C., & Yeo, J. (2011). Students' Multimodal Construction of the Work–Energy Concept. *International Journal of Science Education*, *33*(13), 1775-1804.

Tiberghien, A. (2000). Designing teaching situations in the secondary school. In R. Millar, J. Leach, & J. Osborne (Éd.), *Improving science education* (p. 27-47). Buckingham: Open University Press.

Tiberghien, A., & Malkoun, L. (2007). Différenciation des pratiques d'enseignement et acquisitions des élèves du point de vue du savoir. *Éducation et didactique*, *1*(1), 29–54.

Tiberghien, A., Vince, J., & Gaidioz, P. (2009). Design‐based Research: Case of a teaching sequence on mechanics. *International Journal of Science Education*, *31*(17), 2275-2314.

Vince, J., & Tiberghien, A. (2000). Simuler pour modéliser. Le cas du son. *Sciences et Techniques Educatives*, *7*(2), 333-366.

Vygotski, L. S. (1985). *Pensée et langage. Paris : Messidor*