

Autonomie et motivation lors de l'apprentissage avec un simulateur

Autonomy and motivation in learning on a simulator

Autonomía y motivación durante el aprendizaje con un simulador

Autonomie und motivation beim lernen mit einem simulator

Rania EL BILANI, Pascale MONTPIED & Jean-François LE MARÉCHAL

UMR ICAR – Coast, université Lumière-Lyon 2
Parvis René Descartes, F 69007 Lyon – France.

Résumé

Dans cet article, autonomie et motivation, qui constituent deux éléments importants de l'apprentissage, sont interrogés lors d'un enseignement de chimie en Première S traitant des énergies de réaction et de liaison chimique. L'autonomie est définie grâce à la théorie de l'autodétermination, et la motivation est considérée sous son aspect cognitif, en relation avec le besoin de clôture. Trois binômes sont observés en train de réaliser une tâche, en classe et hors classe, mettant en jeu un simulateur. Ce dernier allie modèles qualitatif et quantitatif, représentations microscopique et macroscopique, et permet d'être impliqué dans une variété d'approches

de l'étude de la réaction chimique. Son utilisation apparaît comme un moyen pertinent de lutte contre de nombreuses conceptions relatives à la description microscopique de la matière, à la notion de liaison chimique, ou à la réaction chimique. L'enregistrement vidéo des élèves permet d'articuler ce qu'ils disent avec un statut d'hypothèse, et ce qu'ils font en interaction avec la simulation. L'approche théorique utilisée permet d'en déduire que la situation proposée est motivante, et qu'elle fonctionne avec une autonomie volontaire et non contrôlée par des facteurs externes.

Mots clés: *Motivation, autonomie, simulation, énergie, liaison chimique.*

Abstract

Autonomy and motivation are two key elements in learning. The former has been theoretically defined from a self-determination theory, and the latter has been considered to have a cognitive origin in relation with the need for closure. Autonomy and motivation have been addressed during a teaching sequence involving a simulation dealing with reaction energy and chemical bonds. Three pairs of students have been observed as they were performing one of the tasks of the teaching sequence that involves a simulator. This simulator works out quantitative and qualitative models, as well as microscopic and macroscopic representations, which has appeared as a good way of dealing with chemical reactions. The use of the simulator has seemed to be promising in fighting against students' misconceptions about a particulate model of matter, chemical bonds and chemical reactions. Students' autonomy, defined along the lines of the autodetermination theory, and the motivation toward cognitive effort in the situation have been evaluated from their cognitive versus closure needs. By relating students' hypothesis and what they do with the simulation, the video recording of six students, analysed in the frame of our theoretical approach, has helped to conclude that, in the proposed situation, these students had interacted with the simulator in autonomy and developed a motivation aimed by a cognitive need.

Key words: *motivation, autonomy, simulation, energy, chemical bonding*

Resumen :

En este artículo se examinan la autonomía y la motivación que constituyen dos elementos importantes del aprendizaje durante una docencia de química en la clase de Première S francesa (1° de Bachillerato especialidad Ciencias) que trata de las energías de reacción y de enlace químico.

La autonomía se define gracias a una teoría de la autodeterminación y la motivación que consideramos es de origen cognitivo en relación con la necesidad de clausura. Se observan 3 parejas de alumnos realizando una

tarea, en clase, que pone en juego un simulador. Este último relaciona los modelos cualitativo y cuantitativo, las representaciones microscópica y macroscópica y permite implicarse en una variedad de enfoques del estudio de la reacción química. Su utilización aparece como un medio pertinente de lucha contra numerosas concepciones relativas a la descripción microscópica de la materia a la noción de enlace químico o a la reacción química. La grabación por video de los alumnos permite articular lo que dicen con un estatuto de hipótesis y lo que hacen en interacción con la simulación.

El enfoque teórico utilizado permite deducir de esto que la situación propuesta es motivadora y que funciona con una autonomía voluntaria y no controlada.

Palabras clave: *motivación, autonomía, simulación, energía, enlace químico.*

Zusammenfassung

In diesem Artikel werden Autonomie und Motivation, die zwei wichtige Elemente beim Lernen darstellen, im Laufe eines Chemieunterrichts in der première S (11. Klasse mit Leistungskurs Wissenschaft und Mathe) untersucht, in dem es um Reaktionsenergien und chemische Verbindungen geht. Autonomie wird an Hand einer Theorie der Selbstbestimmung definiert und die hier berücksichtigte Motivation ist kognitiver Herkunft, in Zusammenhang mit dem Abschlussbedürfnis. Drei Studentengruppen werden beobachtet, während sie in Tandemarbeit in der Klasse eine Aufgabe lösen sollen, die einen Simulator miteinbezieht. Letzterer verbindet qualitatives und quantitatives Modell, mikro- und makroskopische Darstellungen und erlaubt es, eine vielfältige Herangehensweise in der Untersuchung der chemischen Reaktion zu involvieren. Die Anwendung dieses Simulators erscheint als ein relevantes Mittel, gegen zahlreiche Auffassungen zu kämpfen, was die mikroskopische Beschreibung der Materie, den Begriff der chemischen Verbindung oder die chemische Reaktion angeht. Die Videoaufnahme der Studenten ermöglicht es, das zu analysieren, was sie als Hypothese formulieren, und was sie in Interaktion mit der Simulation machen. Aus der hier benutzten theoretischen Angehensweise kann man folgern, dass die vorgestellte Situation für Studenten motivierend ist, und dass sie zu einer freiwilligen Autonomie führt.

Schlüsselwörter: *Motivation, Autonomie, Simulation, Energie, chemische Verbindung.*

INTRODUCTION

S'il est un mythe qui a la vie dure, c'est bien la crainte que l'ordinateur et les simulations remplacent progressivement les séances expérimentales, voire les enseignants. Bien avant d'en arriver à cet extrême, se pose déjà la question de savoir si un élève peut apprendre de la science, en autonomie, grâce à un ordinateur. Il faudrait pour cela que le travail soit suffisamment motivant, bien organisé, et que des informations adaptées soient accessibles. Quel que soit le sujet abordé, les incontournables thèmes qu'il faut faire maîtriser à l'élève dans le cas de la chimie sont des notions sur le modèle particulaire, la réaction et la liaison chimique.

Le présent travail étudie une situation d'enseignement au cours de laquelle des élèves, largement autonomes, ont utilisé un simulateur. Celui-ci est supposé contribuer à l'apprentissage de notions délicates, comme l'énergie d'une liaison chimique. Notre étude se concentre sur l'autonomie et la motivation (termes définis en partie 3) des élèves pendant leur travail avec les TICE. Dans le cadre de la théorie de l'autodétermination (Deci & Ryan 2000 ; partie 3), la motivation est liée à la qualité de l'apprentissage, ce qui est essentiel puisque les connaissances en jeu sont reconnues comme délicates (partie 2). Les résultats de notre étude (présentés dans la partie 5), qui montrent le rôle de la simulation dans la motivation, sont discutés avec ce point de vue dans la partie 6.1, et avec le point de vue de l'apprentissage dans la partie 6.2.

1 CONTEXTE

Depuis 1997, notre groupe de travail, identifié sous le nom de groupe Sesames-chimie¹, a été impliqué dans des projets de recherche et développement dont une partie de l'activité a permis de créer des activités de chimie à réaliser en classe, en mettant l'élève dans une situation aussi autonome que possible. Cela a consisté à élaborer, au cours de séances réunissant un chercheur en didactique et des enseignants, des textes pour l'élève et pour le professeur. Le rôle de ces écrits est d'organiser le travail de la classe en particulier pendant les séances de TP au niveau du lycée. Certaines de ces activités ont eu comme objets de mettre en œuvre des simulateurs commercialement accessibles (Roux & Le Maréchal, 2003a, 2003b ; El Bilani & Le Maréchal, 2005). Le présent article s'intéresse à l'une d'elles. Il étudie une simulation qui s'intègre à une séquence d'enseignement visant à couvrir la partie *L'énergie au quotidien* qui clôt le programme de première S (2001). À cause de contraintes de temps et du prétendu faible

(1) <http://www2.ac-lyon.fr/enseigne/physique/sesames>

intérêt de cette fin de programme pour le futur bachelier, les enseignants passent peu de temps sur cette partie. C'est pourquoi nous avons tenu à élaborer une séquence courte, en relation avec le reste du programme de physique pour lequel l'énergie prend une large place.

Pour construire cette séquence, nous nous étions assigné trois objectifs :

- tout d'abord concevoir un TP mettant en jeu une simulation permettant d'introduire des notions nouvelles pour les élèves, et de les utiliser sur quelques exemples au sein d'un environnement cohérent du point de vue de la chimie et des opérations successives à produire.

- puis, évaluer cet environnement et le rendre suffisamment riche en informations et instructions accessibles aux élèves afin qu'ils puissent y gérer leur activité en autonomie ;

- et, finalement, donner à cette partie du programme, traitant de l'énergie en chimie, un environnement où une motivation de qualité pourrait s'exprimer ; la répercussion d'une telle motivation sur la qualité de l'apprentissage a été démontrée par de nombreux auteurs dont Kruglanski (1996) et Deci & Ryan (2000) qui ont fondé les théories que nous utiliserons pour valider notre activité selon cette dimension.

Par conséquent, si nous pouvions observer que le système – constitué des élèves, de la fiche d'instructions et de questions, et du logiciel de simulation – fonctionne en autonomie en permettant aux élèves d'exprimer une motivation de qualité pour favoriser une construction de ces connaissances, alors nous aurions atteint nos objectifs.

2 DIFFICULTÉS D'APPRENTISSAGE EN CHIMIE

Les travaux de recherche traitant de l'introduction du modèle particulaire sont nombreux et certains utilisent une simulation (par exemple Ardac & Akaygun, 2004). Les élèves doivent apprendre à faire intervenir le niveau microscopique de description de la matière (Ben-Zvi *et al.*, 1986). Cependant, les difficultés pour utiliser un tel niveau résistent à l'enseignement, *même quand les élèves y sont invités* (Abraham *et al.*, 1992 ; 1994 ; Haider & Abraham, 1991). Une représentation utilisant des symboles doit aussi être enseignée, mais est souvent utilisée sans être comprise (Friedel & Maloney, 1992 ; Yaroch, 1985).

Les relations entre la structure de la matière, la réaction chimique et l'énergie ont également été abordées, soit du point de vue macroscopique comme la difficulté à faire comprendre ce qu'est une réaction exo/endothémique (de Vos & Verdonk, 1986), soit du point de vue

microscopique comme la confusion entre les rôles respectifs des liaisons intra/intermoléculaires lors d'un changement d'état (Peterson *et al.*, 1986). Des travaux sur la liaison chimique ont également été réalisés (Harrison & Treagust, 2000; Taber & Watt, 1996; Coll & Taylor, 2002), montrant que seuls 15 % des élèves de terminale (grade 12) étaient capables de prédire l'exothermicité de quelques réactions (dont une combustion), et de la mettre en relation avec la force des liaisons chimiques des réactifs comparée à celle des produits (Boo, 1998).

La difficulté de comprendre ce qu'est une liaison chimique a également été abordée, souvent en comparaison à ce qu'est une structure ionique (Coll & Treagust, 2002; Harrison & Treagust, 2000; Taber & Watts, 1996; Taber, 2001; 2003). Dans une étude des différents modes de liaison chimique, Coll et Taylor (2002) ont étudié les modèles mentaux des élèves et des étudiants, mais aucune approche énergétique n'a été proposée.

Nous relaterons donc l'étude des conditions qui permettent d'aborder en autonomie, grâce à une simulation, les notions d'énergie de liaisons et de réaction chimique. Nous allons voir qu'il est possible de définir théoriquement la motivation et d'observer sa qualité en considérant l'expression du besoin d'autonomie de l'individu, ainsi que l'effet de la situation construite sur le besoin cognitif.

3 CADRE THÉORIQUE ET QUESTION DE RECHERCHE

Afin de pouvoir apprécier l'autonomie de fonctionnement de l'activité que nous avons proposée aux élèves en leur faisant utiliser un simulateur, nous avons dû analyser leurs actions comme l'expression, d'une part, de leur besoin d'autonomie et, d'autre part, de leur satisfaction. Nous avons pour cela utilisé la théorie de l'autodétermination, qui repose plus particulièrement sur ce besoin d'autonomie et d'autodétermination, et qui suggère que, selon le niveau et les possibilités d'investissement de cette autodétermination, la motivation engagée dans les comportements d'apprentissage varie en qualité (Deci & Ryan, 2000; Black & Deci, 2000). Cependant, cette théorie étant basée sur une composante interne de la motivation – le besoin d'autonomie – l'expression de celui-ci dans le cadre d'un apprentissage de la chimie dépend beaucoup de l'histoire de l'individu et de ses expériences antérieures d'autonomie dans ce cadre. L'engagement, ou au contraire la difficulté à l'engagement autonome observés, peuvent donc résulter des qualités ou des défauts de notre activité, mais également des attitudes positives ou négatives construites par l'élève au sujet de l'expression de son besoin d'autonomie dans un tel cadre.

Aussi, pour mieux analyser, d'une part la situation où l'on expose l'élève à un problème avec lequel il doit composer et, d'autre part, son niveau de motivation tout au long de l'activité proposée pour le conduire vers la solution, nous avons eu recours à une seconde théorie de la motivation : la théorie cognitive de la motivation. Celle-ci, contrairement à celle de Deci & Ryan (2000), ne met pas au centre les besoins psychologiques fondamentaux de l'individu mais, au contraire, la situation où se développe la cognition. Cette situation produit des effets régulateurs qui dépendent en particulier d'éléments observables, tels que les interactions avec des personnes ou autres composantes interactives et, des relations entre la fonction du comportement motivé produit et l'intégration des différentes dimensions du contexte. Ces observables varient en fonction des qualités de l'environnement et permettent donc d'analyser l'effet de cet environnement sur la motivation à la cognition dans la situation étudiée. L'un de ces observables est le nombre d'hypothèses émises dans une situation problème ; ce sera la variable que nous choisirons de mesurer ici ; cette variable a été corrélée à un niveau d'exigence et de satisfaction (Kelley, 1971) permis par la situation. Ce niveau atteste d'un engagement cognitif plus ou moins poussé et d'un possible développement de la motivation intrinsèque dans la situation d'apprentissage (Kruglanski & Webster, 1996 ; Small & Venkatesh, 2000).

3.1 Théorie de l'autodétermination

Il convient de distinguer les comportements motivés suivant qu'ils proviennent d'un besoin d'autonomie ou d'un contrôle externe poussant à l'action. Dans le premier cas, les causes mobilisatrices de la motivation ont une forte composante interne. Le sujet est désintéressé, et ses décisions émanent d'un plan de développement personnel parfaitement intégré et indépendant des pressions externes. Dans le second cas, la causalité est externe, et le sujet décide sous la pression d'autrui, pour être récompensé ou reconnu, en accord avec l'environnement social. Entre ces deux niveaux extrêmes de motivation du sujet – l'expression ou l'absence totale du besoin d'autonomie – il existe divers types de régulation de la motivation par une autodétermination de qualité variable, avec des causes qui invoquent des facteurs d'origines variables et souvent mixtes : interne/externe.

Dans une situation de classe, l'obligation de participation fait partie du contrat de l'institution scolaire, mais un plaisir peut aussi être pris par l'élève. Son engagement dans la tâche peut donc être régulé par une motivation régie au moyen des règles d'identification ou d'introjection, et demeurer une contingence externe, ou être régulé par les règles d'intégration qui sont déterminées par des facteurs internes. Ces trois

formes de motivation répondent à un fort besoin d'autonomie bien qu'elles ne soient pas à proprement parler des formes de motivation intrinsèque pure (c'est-à-dire strictement volontaire, sans incitation et obligation à l'action ; Deci & Ryan 2000).

Dans le contexte des choix d'enseignement, un enseignant peut proposer un travail dans une situation de contrôle direct mettant en jeu son autorité et son arbitrage. Il use alors de coercition ou de séduction. Il récompense ou sanctionne. Il peut au contraire proposer un travail en dévolution où l'élève gère les instructions et ses actions, pour s'y soumettre en autonomie. Ce choix de l'enseignant produit des effets opposés sur la motivation de l'élève à apprendre. Ceci a été particulièrement étudié par divers auteurs utilisant des approches variées de la motivation (Deci & Ryan, 1987). Cependant, le milieu où peut se développer le travail en dévolution et l'autonomie d'apprentissage doit fournir suffisamment d'informations, et l'enseignant doit être là pour encourager à les utiliser, afin de permettre à l'élève une résolution personnelle par un cheminement choisi. Cela permet le développement d'une motivation avec un fort degré d'autodétermination et permet l'identification de l'élève avec une régulation externe. Il en résulte généralement un meilleur apprentissage conceptuel, plus de créativité et un affect positif (Black & Deci, 2000).

3.2 Théorie cognitive de la motivation

La motivation, dont il est question dans les paragraphes précédents se positionne, par rapport à l'individu et prend en compte ce qui, en lui, régule son engagement, entre ses besoins et ses buts. Nous considérerons une théorie complémentaire de la motivation qui s'intéresse plus à la situation, et où l'inconnu d'une histoire psychologique de l'individu n'est pas un écueil à l'interprétation de son engagement.

Le modèle de la motivation cognitive est parfaitement adapté au processus qui conduit à l'utilisation de la connaissance. Il est basé sur plusieurs théories de la motivation (Small & Venkatesh, 2000). Ce modèle reconnaît le lien entre, d'une part, la confiance et la satisfaction (Keller, 1983) et, d'autre part, le besoin de clôture (Kruglanski & Webster, 1996). La satisfaction est une émotion obtenue à chaque fois qu'un conflit, cognitif dans notre cas, est résolu.

La satisfaction est ce que doit produire le but. Elle contribue au développement de la motivation quelle qu'elle soit. Dans un contexte d'enseignement, la satisfaction est souvent décrite comme le sentiment que l'élève ressent à la conclusion d'un moment privilégié de l'apprentissage, quand le fruit de ses efforts est en accord avec son attente. En revanche, le besoin de clôture est défini comme le désir d'une réponse définitive et

sans ambiguïté à une question afin d'en finir et d'être soulagé de la crainte de la non réponse (impulse ou crainte induits par la situation : Kruglanski & Webster, 1996 ; Pierro *et al.* 2005).

Le besoin de clôture est induit par une situation qui déstabilise les besoins psychologiques fondamentaux de l'individu, et qui le pousse à réagir dans le sens d'une protection du moi, puisque son besoin de self-estime est mis en danger par la compétition, la pression du temps, la pénalisation ou la survalorisation notamment. Le besoin cognitif, en revanche, est mû par ces besoins qui sont le fondement du goût à comprendre et à apprendre de la situation. En rendant compte de l'interdépendance des éléments et des aspects de la situation et des processus cognitifs, il constitue un point d'articulation privilégié dans l'étude des stratégies de prise d'informations et de jugement. Pour qu'il puisse se développer, il est nécessaire que la situation soit perçue comme un environnement non conflictuel, et au sein duquel l'élève veut et peut satisfaire deux besoins fondamentaux : compétence et autonomie. Ceux-ci aboutiront à la finalisation de qualité qui induira une forte satisfaction de son besoin d'accomplissement et de self-estime (Scheldon, 2001). Si la situation d'enseignement situe la conclusion de l'activité comme un lieu de récompense externe, le besoin de clôture sera le seul mobile de l'élève et se fera au détriment de son exigence intrinsèque d'une qualité de la réponse. Si, au contraire, l'enseignement favorise l'autodétermination, et donc l'expression des besoins d'autonomie et de compétence, alors l'élève sera conduit par ce que Small et Kruglanski appelle le besoin cognitif. La motivation cognitive met alors en jeu une exigence de qualité de la réponse et conduit l'élève à produire des cycles de genèse et de jugement d'hypothèses. Ceux-ci sont limités lorsque la motivation est régulée par le besoin de clôture.

La théorie cognitive de la motivation de Small et Venkatesh (2000) peut se décrire comme sur la figure 1. Suite à une question soumise dans une situation d'apprentissage. L'élève est alors amené à formuler une hypothèse dont il estime le taux de confiance par rapport à un niveau acceptable. Au-dessus de ce niveau, cette hypothèse se transforme en réponse, ce qui lui procure de la satisfaction en relation avec son besoin de compétence. En dessous, l'élève, en conflit cognitif intrinsèque, est donc amené à rechercher de l'information et à la traiter afin que son hypothèse satisfasse son exigence de qualité de la réponse, ou qu'elle soit modifiée. Quand il y parvient, une satisfaction est également éprouvée puisque l'ambiguïté soulevée par son hypothèse est diminuée ; le conflit cognitif s'apaise. La satisfaction apportée par cette situation n'apparaît que si, suite à la question posée, l'élève peut progresser dans l'une ou l'autre des boucles décrites sur la figure 1.

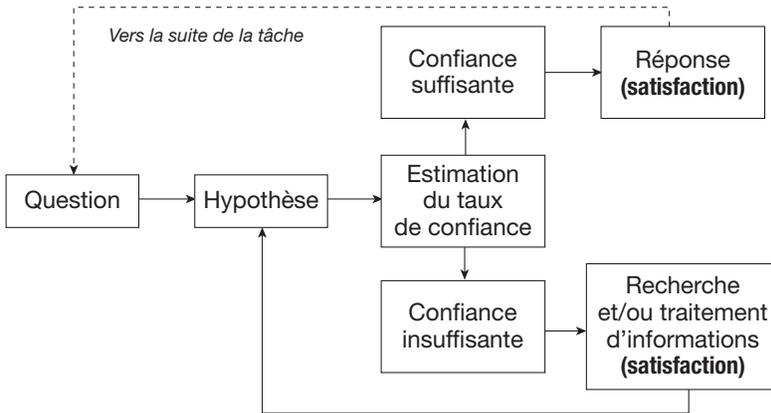


Figure 1 • **Représentation de la théorie cognitive de la motivation de Small & Venkatesh (2000).**

Il faut donc que les questions posées aux élèves soient formulées en des termes qui leur sont suffisamment familiers pour qu'ils puissent établir une première hypothèse. Pour cela les questions centrales de la tâche doivent être, par exemple, préparées par des informations ou questions préliminaires, un peu triviales, de mise en contexte ou de rappel. Puis, la situation doit fournir d'une part les éléments nécessaires pour estimer la confiance qu'ils apportent à leur hypothèse, et/ou d'autre part des informations pertinentes. Le rôle d'une simulation dans les boucles de la figure 1 est au centre de cet article.

3.3 Question de recherche

La question de recherche à laquelle nous nous proposons de répondre concerne la boucle inférieure de la figure 1, où une hypothèse pour laquelle le taux de confiance est insuffisant conduit, soit au passage à une nouvelle hypothèse, soit à la recherche d'informations en vue d'un accroissement de la confiance qui lui est attribuée. Ces conduites ont lieu pendant la résolution de la tâche, et nous allons chercher à comprendre en quoi la simulation intervient, d'où la question de recherche :

À quel point les données fournies autour d'une simulation interviennent-elles dans l'estimation de la confiance que les élèves ont des éléments de réponse qu'ils formulent lors de la résolution d'une tâche mettant en jeu un TICE ?

L'intérêt d'une telle question est de valider l'utilisation cognitive d'une simulation. Si celle-ci est un artéfact décoratif, voir ludique, sans

interaction avec la construction de la connaissance, on s'attend à pouvoir décrire l'activité de l'élève par la boucle inférieure de la figure 1 sans que les élèves utilisent la simulation ou consultent les données adjointes. Au contraire, si le passage d'une hypothèse à une autre la fait intervenir, alors on pourra penser que la simulation joue un rôle dans l'apprentissage. La satisfaction du besoins de compétence via la possibilité d'obtenir des informations, qui sont nécessaires à l'élève pour formuler une réponse qu'il juge exacte, sera déterminante pour cet apprentissage. Elle le motivera pour recourir à la simulation proposée.

4 MÉTHODOLOGIE

Pour répondre à cette question, nous avons observé des élèves en train de réaliser une tâche mettant en jeu une simulation. Le contexte de cet enregistrement, la méthode d'analyse des données, la description du simulateur utilisé et de la tâche élaborée sont successivement présentés dans cette partie et mis en relation avec la question de recherche.

4.1 Collecte des données de recherche

Le travail analysé ici constitue la 3^e séance d'une séquence d'enseignement qui en compte 4 et dont l'ensemble traite de la partie *L'énergie au quotidien* du programme 2001 de première S. La première séance était une activité papier-crayon, sous forme de test, visant à réactiver le modèle de la chaîne énergétique enseigné quelques mois auparavant en physique. La deuxième était un TP de neutralisation acide base réalisé en vase Dewar et analysée dans le cadre du modèle énergétique. La troisième est largement décrite ci-dessous, et la quatrième était une activité papier-crayon relative au changement d'état. La séquence réalisée au sein du groupe Sesames a été testée hors classe en janvier avec un binôme d'élèves de terminale S qui n'avait pas traité cette partie du programme quand ils étaient en première. Légèrement améliorée, elle a été réalisée en mai de la même année avec une véritable classe, sous la responsabilité du professeur, et entièrement enregistrée avec des moyens vidéo. Les enseignants participant à l'élaboration des activités Sesames ont pour habitude de laisser leurs élèves se débrouiller avec le texte et de les observer en intervenant au minimum dans la situation proposée. Par ailleurs, afin d'obtenir un maximum d'informations écrites, les professeurs rappellent à chaque séance que les comptes-rendus ne sont pas notés. Pour notre recherche, cette absence de notation favorise un développement de motivation cognitive et autodéterminée.

La 3^e séance est la seule qui mette en jeu un TICE. Elle nécessite 1 h à 1 h 20 pour que les élèves la traitent à leur rythme. Une classe spécialement équipée d'ordinateurs a été utilisée. Le texte de la tâche est intégralement donné en annexe. Les données analysées sont les transcriptions d'enregistrements audio et vidéo du binôme d'élèves de terminale et de deux binômes de Première. Les comptes rendus de l'ensemble de la classe ont été récupérés.

Le choix de la classe et des élèves a été contraint par la faisabilité de l'étude. Il fallait une classe de première S dont le professeur se donne les moyens d'aller jusqu'au bout du programme officiel (ce qui ne fut pas évident à trouver) dont la dernière partie, non explicitement réutilisée en terminale S, n'est en conséquence pas évaluée au baccalauréat. Afin d'effectuer une étude en situation réelle de classe, nous avons dû fournir à l'enseignant les garanties de faisabilité de la séquence d'enseignement et donc la précéder de la pré-étude hors classe.

Le choix des élèves pour la pré-étude s'est porté sur des élèves volontaires de terminale S qui n'avaient pas reçu, pendant leur année de première S, d'enseignement de cette partie du programme. Il fallait également que l'étude soit menée suffisamment tôt dans l'année pour que ces élèves ne soient pas trop différents d'élèves de première S. Nous avons retenu deux élèves dont l'une (celle à gauche figure 2) avait déjà accepté d'être filmée l'année précédente lors d'une recherche sur l'étude des solutions ioniques (Gandillet *et al.* 2003).

Le choix des élèves de l'étude définitive a été laissé à l'initiative du professeur. Celui-ci avait déjà été impliqué dans d'autres recherches. Nous lui avons demandé de choisir des élèves susceptibles de parler facilement afin d'obtenir des données suffisamment riches, et pas trop lents afin d'aller au terme de la situation dans le temps imparti puisqu'il s'agissait d'une étude en situation naturelle. Nous sommes conscients que ces critères définissent des élèves qui, à la base, ont un bon niveau d'autodétermination et une réactivité autonome. Cependant ce choix est pleinement légitime puisqu'il ne s'agit pas ici de faire une étude psychologique, mais de didactique, et que des élèves, dont l'histoire psychologique dans le cadre de leur scolarité en chimie serait trop marquée, nécessiteraient des analyses complémentaires et pluridisciplinaires. De plus, comme précisé dans le cadre théorique, nous avons pris soin d'aborder notre situation et la motivation dans ce cadre selon deux modèles de la motivation, l'un axé sur l'individu et l'expression de son besoin autonomie, l'autre axé sur la contextualisation de l'effort cognitif qu'il doit mobiliser. Il fallait en outre que ces élèves soient volontaires et puissent obtenir une autorisation parentale.

Chaque binôme enregistré a été filmé de profil avec l'écran de l'ordinateur légèrement tourné vers la caméra. Cette disposition a permis

d'avoir sur une même image vidéo les élèves et l'écran. Elle a contribué à répondre à la question de recherche sur l'importance de la simulation sur les décisions prises par les élèves. La transcription a consisté à reproduire les interactions verbales ainsi que tous les gestes et mouvements du corps qui indiquaient une interaction avec l'ordinateur (figure 2).



Figure 2 • Extrait de l'enregistrement vidéo de la pré-étude permettant de voir les élèves et leur interaction avec l'écran de l'ordinateur.

4.2 Méthode d'analyse

L'analyse a consisté à repérer les hypothèses formulées par les élèves, et à voir comment ils les ont soumises à leur sagacité. Nous avons considéré comme hypothèse toute proposition faisant apparaître explicitement la mise en jeu d'au moins une connaissance, suivie d'une interrogation de l'élève qui la formulait, comme par exemple :

Dans la question 1.c – Euh E égal [...] la somme de : / la somme des : énergies des / liaisons / pour chaque atome enfin / tu vois c'que je veux dire quoi (?)

Dans la question 5.a – Et bien, je vais dire que la température augmente hein (?)

Dans ces exemples, l'incertitude exprimée par le « c'que je veux dire quoi » ou le « hein » montre le caractère hypothétique de la proposition qui précède. N'a pas été considérée ce qui pourrait être une hypothèse, mais pour laquelle aucune connaissance n'est explicitée comme par exemple : « on fait comme d'habitude(?) », ou « Attends j'veux voir un truc... non c'est pas ça ».

Nous avons ensuite cherché si l'hypothèse était « mise au travail » en utilisant des données environnant la simulation et fournies par l'écran de l'ordinateur. Un mouvement suffisamment distinct de la tête vers l'écran a été considéré comme une consultation de l'écran ainsi qu'un geste déictique en sa direction (figure 2). Ceci a été possible étant donné notre méthode de prise de données. Nous avons considéré que les données

environnant la simulation étaient utilisées si cette consultation de l'écran intervenait avant la formulation d'une nouvelle hypothèse, et avant la lecture d'une nouvelle question. Nous n'avons compté qu'au plus une consultation de l'écran par hypothèse formulée. Dans les cas où l'élève ne consultait pas l'écran, on a trouvé qu'il pouvait effectuer des calculs ou recevoir des informations de son binôme par exemple.

Nous nous sommes posé la question de savoir si un regard de l'écran correspondait réellement à une interaction avec les informations affichées. Nous n'avons pour cela considéré ces mouvements faciaux que s'ils étaient accompagnés d'une trace, dans la transcription, de la prise en compte d'une partie de l'écran.

4.3 Le simulateur utilisé

Le simulateur utilisé est issu de la collection Micromega® décrite par ailleurs (Le Maréchal & Bécu-Robinault, 2006). Il n'a pas spécifiquement été conçu pour la présente étude. Une présentation de ses possibilités, puis de ses limites, permet, à la fin de cette partie, de justifier que son utilisation permet effectivement de répondre à la question de recherche qui sous-tend cet article.

Présentation du simulateur

Le simulateur *Calorimétrie* présente à l'utilisateur essentiellement une situation microscopique (figure 3), et une autre macroscopique (figure 5).

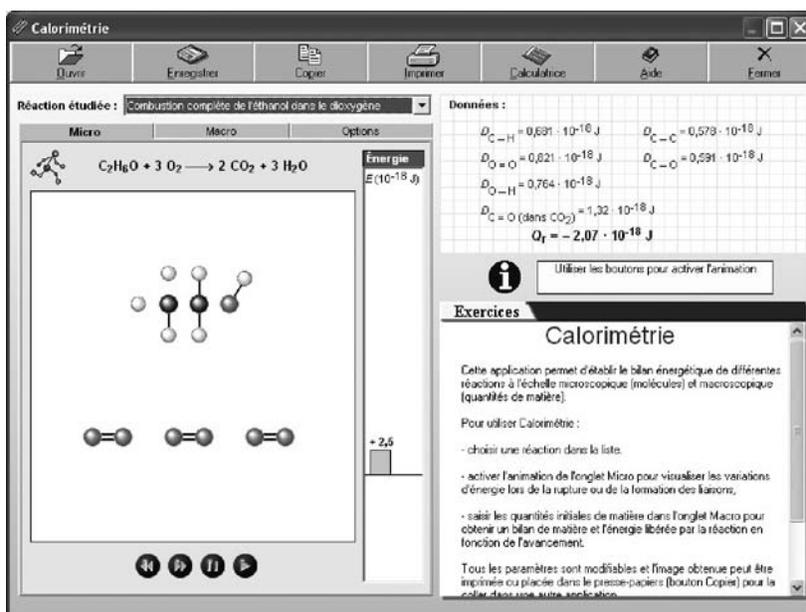


Figure 3 • Écran du simulateur *Calorimétrie* au niveau microscopique. La capture d'écran a été réalisée pendant le déroulement de la simulation, alors que certaines liaisons de l'éthanol sont rompues (centre gauche) et que l'énergie du système est modifiée (histogramme au centre de l'écran) (Garcia, 2001).

L'aspect microscopique de la simulation permet à l'utilisateur de choisir une réaction chimique, parmi sept, dont une étude énergétique peut être réalisée. Ici, il s'agit de la combustion complète de l'éthanol dans le dioxygène, tel qu'il est écrit dans le menu déroulant « Réaction étudiée ». Il s'agit de la simulation utilisée dans la tâche proposée aux élèves (voir Annexe). Cette réaction est également représentée avec une écriture symbolique. Des modèles moléculaires représentent les réactifs en début de réaction. L'animation est initiée par l'utilisateur qui voit, une à une, les liaisons chimiques des réactifs se rompent en même temps qu'un histogramme dynamique (au centre de l'écran) représente la valeur de l'énergie du système moléculaire (en unité 10^{-18} J). Quand toutes les liaisons sont rompues, un réarrangement des atomes est simulé (figure. 4a), puis les nouvelles liaisons chimiques sont formées en même temps que l'énergie du système est décrite jusqu'à l'état final (figure 4b).

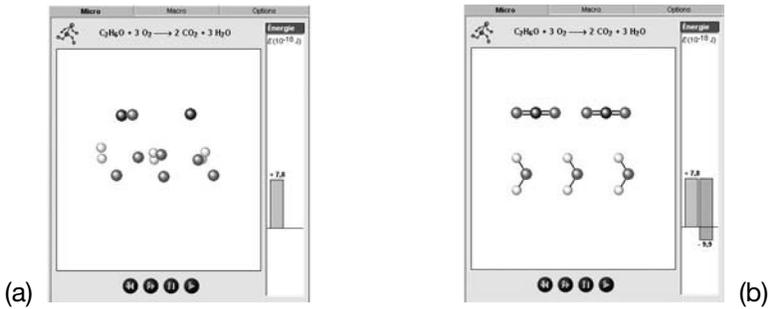


Figure 4 • (a) Extrait de l'écran du simulateur *Calorimétrie* pendant la réorganisation des atomes et (b) à l'état final.

Une autre représentation de cette réaction chimique est proposée au niveau macroscopique (figure 5). L'utilisateur peut toujours choisir une réaction chimique ou conserver la même que celle étudiée au niveau microscopique. Il peut également choisir les quantités de matière initiales des réactifs constituant le système chimique, et considérer que celui-ci est isolé (cas de la figure 5), ou pas. L'animation montre l'évolution des différentes grandeurs impliquées dans cette simulation en fonction de l'avancement : les valeurs en mole des quantités de matière des réactifs et des produits, la valeur ΔE de l'énergie échangée avec le milieu extérieur et, qualitativement, l'évolution de l'énergie du système et du milieu extérieur, ainsi que leur température (en bas à gauche).

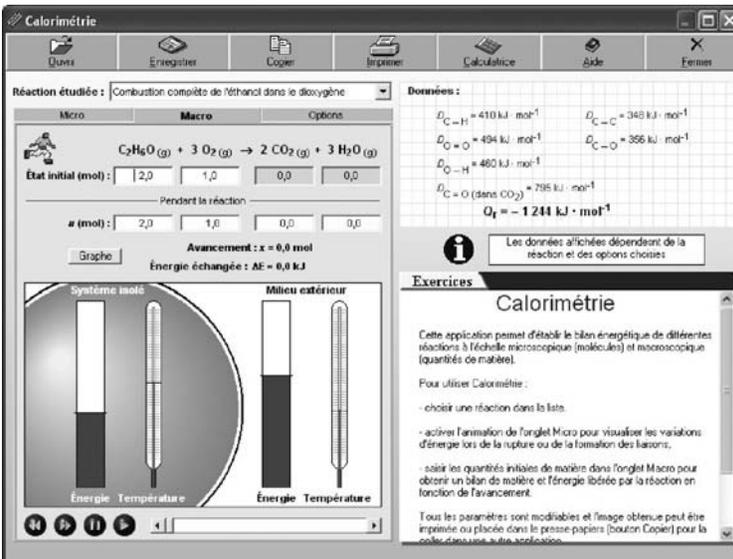


Figure 5 • Écran du simulateur *Calorimétrie* au niveau macroscopique (Garcia, 2001).

Limites de la simulation

Les 7 réactions simulées sont toutes des oxydations par voie sèche (avec O_2 ou Cl_2). Cette limitation, due au modèle des énergies de liaison mis en jeu, ne permet pas d'aborder la thermodynamique des réactions en solution comme les réactions de titrage, qui pourtant posent problème à l'université (Cros & Maurin, 1986).

Aucune représentation concrète, excepté celle des thermomètres, n'est proposée à l'utilisateur. La simulation reste donc au niveau des modèles. Il n'apparaît pas de lampe à alcool par exemple, qui pourrait matérialiser le système chimique simulé.

Le modèle ne considère pas les grandeurs volume et pression du système étudié. Cela ne permet donc pas de préciser si la réaction est simulée à pression ou à température constante. Il n'est donc pas possible de spécifier si l'énergie mise en jeu est une énergie interne ou une enthalpie.

Seul le premier principe de la thermodynamique est considéré, aucune discussion sur la réversibilité des processus n'est donc réalisable. De plus, toutes les réactions proposées sont exothermiques. Même si c'est presque toujours le cas dans l'enseignement, un tel simulateur ne pourrait, par exemple, pas être utilisé pour s'attaquer à une conception telle que « les réactions endothermiques ne peuvent être spontanées » (Johnstone *et al.*, 1977).

Adéquation des possibilités de ce simulateur à la question de recherche

L'intérêt de ce simulateur pour notre étude tient à la richesse des relations qui peuvent être établies entre différents types de connaissances : microscopique, macroscopique et théorique, au moyen de représentations variées. Par ailleurs, il fournit des données quantitatives comme les énergies de liaisons. Une telle source d'information, clairement organisée dans des fenêtres distinctes, est essentielle pour notre étude où l'on suppose que les élèves qui formulent des hypothèses ont besoin d'accéder à de l'information et de pouvoir la traiter.

La totalité des notions dont il est question dans le programme officiel sont représentées sur ces écrans. Les grandeurs (énergie, température, avancement de la réaction, quantité de matière, énergie de liaison, chaleur de réaction) utilisées sont articulables grâce à la simulation macroscopique. Des données chiffrées sur les énergies de liaisons sont fournies, tant au niveau macroscopique que microscopique, sur les écrans correspondant. Cette possibilité est intéressante puisque Cohen et Ben-Zvi (1992) ont rapporté que des erreurs largement répandues, ce qu'ils

appellent *misconceptions*, peuvent se développer parce que les problèmes associés avec la compréhension d'un grand nombre de concepts abstraits tels que chaleur, énergie, température et énergie de liaison, interviennent dans l'enseignement. Différents types de représentations sont fournis. Par ailleurs, représenter des informations pertinentes et organisées sur ces concepts constitue autant d'atouts pour répondre à la question de recherche puisque, dans la boucle inférieure de la figure 1, l'élève a besoin d'être informé et doit avoir les outils pour traiter cette information.

Le fait qu'il n'y ait pratiquement pas de relation avec le monde des objets perceptibles nous paraît être un avantage, puisque le calcul énergétique recommandé dans le programme officiel correspond à une réaction chimique en phase gazeuse. Les gaz (éthanol, dioxygène, dioxyde de carbone et eau) n'étant pas perceptibles, toute représentation matérielle ne pourrait qu'être trompeuse. On peut penser que les élèves, à ce niveau, ne sont pas à même d'apprécier la différence entre la phase des réactifs dans un calcul d'énergie de combustion, pas plus que l'importance du choix de la température et la pression du système chimique dans les états initial et final.

Le simulateur semble donc pertinent pour notre étude. Il doit cependant être articulé avec une tâche qui oriente son utilisation.

4.4 Tâche mettant en œuvre la simulation

Le texte de la tâche est donné en annexe, et l'analyse *a priori* de quelques questions est décrite ici pour faire comprendre sa relation avec la problématique de l'article.

Les questions 1.c et 1.d sont importantes puisqu'on demande à l'élève de formuler l'interprétation de l'évolution de l'énergie du système (1.c), puis d'en déduire une définition (1.d) pour une notion qu'il ne connaît pas, mais dont la simulation est supposée lui donner le sens: l'énergie d'une liaison chimique. Avec ces questions, on attend que l'élève formule des hypothèses sur la définition, et qu'il voit si elles sont en accord avec les informations présentes dans la simulation. Elles sont formulées en termes simples après avoir été préparées par les questions 1a et 1b. L'élève peut donc s'engager dans une des boucles de la figure 1. Pour certaines questions difficiles, parce que mettant en jeu des concepts nouveaux, comme la 1.c et 1.d, il y a peu de chance que l'élève trouve du premier coup, et il devra donc s'approcher de sa réponse progressivement, fournissant un regard intéressant à notre question de recherche. À la question 1.d, pour formuler une réponse telle que: «c'est l'énergie mise en jeu lors de la rupture ou de la formation de la liaison », l'élève doit donner du sens

à l'animation et éventuellement aux données chiffrées fournies à l'écran. Dans cette construction de sens, la simulation risque d'être essentielle.

La question 2.c demande de prévoir ce que peut être l'animation dans le cas d'une réaction dont on vient de faire écrire l'équation à l'élève (2.b). Cet élève sait que l'ordinateur peut lui donner la réponse, ce qui satisfera de toute façon son besoin de clôture. La situation est donc motivante, et la question de savoir si l'écran va intervenir également dans le processus de prévision est intéressante. On constate que, pour que l'élève puisse réfléchir à une telle question peu habituelle, un certain nombre de connaissances ont été mises en jeu dans l'introduction de cette partie de la tâche puis dans les questions préparatoires 2.a et 2.b.

Un nouveau jeu de prévisions est également proposé aux questions 3.a et 3.c. Il s'agit cette fois de prévoir des valeurs numériques issues d'un calcul que l'élève n'a jamais eu l'occasion de faire, mais dont il a pu construire le sens avec les simulations précédentes. Ce sont des questions problèmes accessibles, pour lesquelles les élèves peuvent mettre à profit les données environnant la simulation pour répondre, et la simulation elle-même pour vérifier. Le besoin de clôture peut donc aussi s'exercer pour ces questions.

Les questions 4.a et 4.c sont précédées d'une définition de l'énergie de liaison formulée au niveau macroscopique, alors que les élèves l'ont élaborée par eux-mêmes au niveau microscopique à la question 1d. Elles mettent à nouveau en jeu des calculs d'énergie de liaison mais, cette fois-ci, l'élève est conduit à fournir des valeurs macroscopiques. Il faut donc que l'élève mette en jeu le nombre d'Avogadro, ce qui constitue généralement une difficulté (Staver & Lumpe, 1995). Il faut ensuite (4.c) que l'élève soit capable de passer de l'énergie de liaison à l'énergie de réaction mise en jeu avec des conditions particulières. Il ne peut le faire sans transférer ce qui a été vu au niveau microscopique, avec la simulation au niveau macroscopique. On attend à nouveau que l'élève résolve ce problème par étape, avec à chaque fois une possibilité d'estimer le taux de confiance qu'il accorde aux hypothèses qu'il formule.

La question 5.b fait intervenir un système isolé. On sort du strict cadre de l'énergie en relation avec la chimie pour aborder ce qui a été vu en physique quelques mois auparavant, et qui a été rappelé dans la première tâche au début de la séquence d'enseignement. Ce changement de cadre est une difficulté pour lequel on attend que l'élève avance progressivement. Le fera-t-il en utilisant la simulation ?

Les questions 6.a et 6.c sont de véritables problèmes de thermodynamique chimique qui nécessitent que l'élève ait intégré ce qui a été introduit pendant la séance, et que soit fait appel aux notions de stoechiométrie et d'avancement d'une réaction chimique. On attend à

nouveau que l'élève utilise la boucle du bas de la figure 1 pour arriver au fait qu'il doit multiplier l'énergie de la réaction par l'avancement maximal de la réaction. On est, en 6.a, dans les proportions stoechiométriques et, en 6.c, en présence d'un réactif limitant. Ce sont autant de difficultés dont la résolution peut être motivante, qu'elles puissent ou non être réalisée avec le simulateur.

5 RÉSULTATS

Pour chaque question où est apparue au moins une hypothèse de la part des élèves, le nombre d'hypothèses formulées a été reporté dans les tableaux 1 à 3. Le nombre de fois que l'hypothèse a donné lieu à une consultation de l'écran est indiqué juste en-dessous. Par exemple pour la question 1.c (tableau 1), l'élève a formulé 5 hypothèses différentes (voir les extraits ci-dessous) avant de donner une réponse pour laquelle son taux de confiance est suffisant. Cela signifie qu'il a parcouru 5 fois la boucle inférieure de la figure 1. Pendant ces 5 boucles, 4 ont mis en jeu le simulateur ou les données qui l'accompagnent, d'où le nombre indiqué dans la ligne « Nombre de consultations », colonne 1.c, du tableau 1. Ces 5 hypothèses apparaissent dans les dialogues ci-dessous, lors de la recherche de la réponse à la question 1.c :

Hypothèse 1

Me29: Ben t'as une certaine énergie pour une certaine liaison
(10s)

Les étudiants cherchent leur calculette mais ne s'intéressent pas à l'écran. C'est un cas où l'avancée des élèves dans la boucle du bas de la figure 1 ne met pas en jeu la simulation.

Hypothèse 2

Ma36: Moi j'ai regardé si hm: j'ai fait 7 fois par 1, 3 moins 4, 8 fois 2 / pour voir si c'était: (1s) / proportionnel

Au tour de parole 38, l'élève Ma montre l'écran où il constate, avec les données, que les énergies des liaisons C C sont différentes des énergies des liaisons C H, et donc que son hypothèse de proportionnalité ne tient pas. Il y a eu une interaction avec l'écran avant que l'hypothèse suivante ne soit émise, interaction qui lui a permis de modifier sa connaissance des énergies de liaison.

Hypothèse 3

Ma52: Ouais voilà ouais en fait c'est là / 1 c'était 2 liaisons / je crois c'était 2 liaisons carbone hydrogène donc c'est deux fois 0, 682 (2s) donc ça fait 1, 2 (2s) c'est vrai (10s)

Au tour de parole 53, l'élève Me écrit en regardant l'écran puis pointe l'écran comme sur la figure 2. Il s'agit d'une interaction avec l'écran en disant « on peut le dire ». Il s'agit d'une confirmation de l'hypothèse qui vient d'être émise. Cela permet au binôme d'avancer dans la réflexion et cela s'est fait à l'occasion d'une interaction avec l'écran.

Hypothèse 4

Ma54: C'est ouais ouais c'est E / c'est E égale / hm:
Me55: Y a une certaine énergie en fait

Les élèves regardent ensuite alternativement l'écran et leur feuille.

Hypothèse 5

Ma60: Euh E égal

Me61: Le nombre de fois

Ma62: La somme de: /la somme des: énergies des / liaisons / pour chaque atome enfin tu vois ce que je veux dire quoi (?)

Au tour de parole 63, Me confirme en regardant l'écran.

Réponse donnée (correcte à une convention de signe près)

Ma70: Ouais ben dis l'énergie de liaison est l'énergie libérée à chaque fois qu'une liaison se casse (5s)

On constate qu'à chaque fois qu'un (ou plusieurs) tour de parole est considéré comme hypothèse, des connaissances sont mises en jeu, et un doute est exprimé; puis, 4 fois sur 5, l'écran est ensuite consulté, parfois pour infirmer (hypothèse 2), ou pour confirmer (hypothèse 3 et 5). Dans le cas de l'hypothèse 4, on ne peut pas dire quel est le rôle de l'écran, mais celui-ci est effectivement consulté.

Un travail analogue sur l'ensemble des transcriptions a permis d'établir les tableaux 1 à 3, dans lesquels ne sont consignées que les questions pour lesquels il y a eu formulation d'hypothèses pour le binôme correspondant.

Questions	1c	2c	3a	3c	4a	4c	5b	6a	6c
Nombre d'hypothèses	5	1	4	4	2	4	2	1	1
Nombre de consultations	4	1	2	4	1	3	1	0	1

Tableau 1 • **Nombre d'hypothèses formulées et de consultations de l'écran qui ont suivi. Cas du binôme Me/Ma d'élèves-test de terminale.**

Avec le binôme Me/MA (Tab. 1), 71 % des 24 hypothèses ont mis en jeu des informations environnant la simulation. Ceci indique que le TICE a joué un rôle lors de l'élaboration de la réponse définitivement formulée. Ce rôle sera précisé ci-dessous, dans le paragraphe relatif au taux de confiance.

Questions	1.c	1.d	2.a	2.c	3.a	3b	3.d	4.d	5.b
Nombre d'hypothèses	1	2	1	3	1	1	2	1	1
Nombre de consultations	1	1	0	2	1	1	2	1	1

Tableau 2 • Nombre d'hypothèses formulées et de consultations de l'écran qui ont suivi. Cas du binôme Ro/Ju, élèves de première S.

Si le pourcentage d'utilisation du TICE par le binôme Ro/Ju (Tab. 2) est pratiquement le même que pour le binôme Me/Ma, 75 %, on trouve deux fois moins d'hypothèses. Deux raisons peuvent être avancées pour cette différence: (1) le binôme est brillant, il s'agit des deux meilleurs élèves de la classe, ce que nous n'avons su qu'une fois l'expérimentation réalisée, et on constate que la tâche est réalisée avec plus de sûreté, les propositions étant faites sur des bases solides; (2) un certain nombre de propositions pourraient avoir un statut d'hypothèse, mais non suivies d'un marqueur lexical qui montre l'interrogation, nous ne les avons pas comptabilisées; nous avons préféré adopter un décompte strict du nombre d'hypothèses, plutôt que de se baser sur des inférences moins fondées.

Questions	1.c	1.d	2.a	2.e	3.a	3.b	3.c	4.a	4.c	4.d	5.b	6.a
Nombre d'hypothèses	2	2	1	4	3	1	3	2	3	1	3	2
Nombre de consultations	1	1	1	4	3	1	3	2	2	1	3	2

Tableau 3 • Nombre d'hypothèses formulées et de consultations de l'écran qui ont suivi. Cas du binôme Sy/AI, élèves de première S.

Si la tendance se confirme avec 89 % d'hypothèses suivies d'une consultation du TICE, quelques différences sont notables avec le binôme Sy/AI. Ces élèves émettent plus d'hypothèses (27 contre 24 et 13) dans plus de questions (12 contre 9 et 9). La lecture de la transcription montre également que le binôme est plus faible, il hésite sur des connaissances anciennes (multiplicité de la liaison dans Cl_2) et nouvelles (différence entre endo et exothermique vue à la séance précédente).

6 DISCUSSION

Ces résultats permettent d'aborder et de discuter la qualité du fonctionnement en autonomie du système constitué des élèves en interaction avec notre situation d'apprentissage de l'énergie en chimie. Cette qualité est abordée ici sous deux angles : (i) le maintien d'une autodétermination tout au long de l'activité révélant que celle-ci permet et satisfait le besoin d'autonomie des élèves, et (ii) l'engagement cognitif impliquant l'utilisation de la simulation à des fins de recherche de construction et de validation du savoir ciblé par l'activité. Ces deux aspects qualitatifs déterminent des formes de motivations garantissant une implication et un apprentissage construit chez les élèves. Ceci nous permettra alors de conclure quant à l'intérêt de la simulation pour l'enseignement de l'énergie mise en jeu lors d'une réaction chimique.

6.1 Autonomie et motivation en présence d'une simulation

La recherche d'une situation permettant un fonctionnement autonome satisfaisant et une motivation régie par un besoin cognitif a été essentielle dans la conception de la tâche. Ces notions éclairent également la lecture des transcriptions des élèves, ce qui va apparaître successivement dans les discussions sur la simulation en tant que ressource, sur le taux de confiance des élèves, et sur leur autonomie.

La simulation comme ressource

Le modèle cognitif de la motivation (Small & Venkatesh, 2000), axé sur l'interaction avec la situation et non centré sur l'histoire psychologique de l'individu, a pu être appliquée à notre situation vécue par trois binômes de caractéristiques différentes : l'un de terminale S hors classe, un autre, tête de classe en première S, et le dernier dans la même classe, mais bien moins brillant, ces deux derniers pendant le cours normal de l'enseignement. L'engagement dans la boucle (figure 1) a pu être mis en évidence pour chaque binôme et, 4 fois sur 5 en moyenne, la simulation est intervenue comme ressource permettant aux élèves de continuer de réfléchir. Cela ne signifie pas que la simulation a été déterminante, mais au moins que la situation l'a mise en œuvre de manière satisfaisante. En effet, nous avons constaté que ce comportement ne s'atténue pas au cours de l'activité. Par exemple, à la question 1.c :

Ro51 formule une hypothèse : En fait peut-être c'est la rupture des liaisons qui fait augmenter l'énergie.

Ro55, 4 tours de paroles après, en montrant l'écran: ça fait quand elles se reforment que ça redescend.

Au tour de parole 51, Ro a émis une hypothèse et le « peut-être » indique que son taux de confiance est insuffisant pour l'accepter comme réponse. Au tour de parole, 57, Ro écrira cette hypothèse comme réponse. Il aura acquis une confiance suffisante parce qu'il a vu la simulation en 55.

Taux de confiance

Bien que le taux de confiance apparaisse comme central dans la théorie cognitive de la motivation de Small et Venkatesh (2000), il ne nous a pas été possible de quantifier cet état, ce qui aurait nécessité une étude en soi (entretien de confrontation, questionnaire post-activité). Cependant, nous avons pu constater des différences dans les états de confiance suivant les binômes et suivant les hypothèses. Nos observations sont totalement en accord avec la théorie de la motivation cognitive, qui repose sur de nombreux autres travaux de psychologie cognitive et notamment ceux de Kelley (1971), montrant que le taux de confiance est inversement proportionnel au nombre d'hypothèses émises. Ainsi, la quantité importante d'hypothèses émises par le binôme Me/MA (24 hypothèses – tableau 1) permet d'une part de considérer que le binôme Me/MA avait un taux de confiance limité dans ses propositions de réponse, mais d'autre part que le TICE a joué un rôle dans l'amélioration de ce taux de confiance puisqu'il a été consulté dans 71% des cas. Ceci est dû au fait que plus on reste sur la boucle du bas de la figure 1, plus les hypothèses s'affinent et, chemin faisant, deviennent plus proches les unes des autres au niveau de leur contenu. Nous avons constaté que le binôme le moins fort émet plus d'hypothèses que les deux autres, car il a besoin de plus d'ajustements. Ceci prouve en premier lieu que ce binôme, bien que confronté à plus de difficultés, et donc à plus de doute, reste dans un état de motivation cognitive. Il n'agit pas parce qu'il est animé d'un besoin de clôture, en formulant peu d'hypothèses, et en étant trop facilement satisfait. Par ailleurs ce même binôme, bien que développant une bonne qualité de motivation cognitive dans notre situation, atteint parfois un palier quant à l'amélioration de ses hypothèses. Il cesse alors ses recherches sans avoir satisfait à son exigence cognitive. Par exemples, certaines réponses ont été considérées comme définitives avec un faible taux de confiance par le binôme, Sy/AI:

Question 1.d – Dire ce qu'est pour vous l'énergie d'une liaison chimique?

Après 11 tours de paroles sur cette question :

Sy101 : C'est pour moi c'est enfin / chimiquement mais je veux dire c'est en réalité c'est l'électron / ça c'est électrique / ça c'est un truc

AI102 : [hmm]

Sy103 : [qui est chargé électriquement]

AI104 : Ben on passe à un autre / non (?)

Sy105 : Ouais enfin ouais / j'sais pas hein(?)

AI106 : Ouais si on n'a pas d'idée [et ils passent à la question suivante]

Les élèves ont, semble-t-il, associé liaison à électron (ils ont entendu dire en classe de seconde qu'une liaison était constituée de deux électrons partagés), et énergie à électrique (lien que leur cours de physique ou leurs observations quotidiennes favorisent). Ils ont bien regardé l'animation au tour de parole 94, mais n'ont pas apparemment pu s'en servir pour améliorer leur réponse.

La satisfaction peut être obtenue même dans le cas où la question n'a pas d'intérêt scientifique. Par exemple, Sy et AI à la question 2.c se sont inutilement posé la question de savoir s'il fallait rompre la liaison HH avant la liaison ClCl. Ils ont proposé une réponse et, lors de la vérification, la simulation a fait, par hasard, ce qu'ils avaient prévu. On a alors entendu AI 160 : Superbe / c'est ce qu'on attend / remets. Même chez ce binôme faible, en situation d'efficacité scientifique peu intéressante, la simulation peut donc apporter de la satisfaction. Cette situation peu paraître regrettable, et l'on aurait apprécié que le système déjouât l'hypothèse inintéressante des élèves, au lieu de renforcer leur conviction. Du point de vue didactique, le professeur n'a pas pu se rendre compte que ces deux élèves prêtaient de l'importance à l'ordre de rupture, et le cours normal de l'enseignement pourra présenter une situation mettant en défaut l'hypothèse erronée. Celle-ci se trouvera alors corrigée d'elle-même. Du point de vue de notre recherche, force est de constater que même dans de tels cas, la simulation favorise la satisfaction.

Autonomie

Du point de vue du fonctionnement en autonomie de l'activité d'apprentissage de notions concernant la liaison chimique, des résultats satisfaisants ont été obtenus. Tout d'abord, les trois binômes n'ont eu besoin que d'un seul appel au chercheur dans le cas de la pré-expérimentation, et d'un appel au professeur pendant la séance en classe. Pendant la pré-expérimentation, l'appel au chercheur résultait d'une question mal posée qui a dû être réécrite. Cela montre que la qualité de la formulation de la

tâche est essentielle dans la recherche d'un travail en autonomie à faire faire à des élèves. Les élèves ont donc exprimé leur autonomie sans frustration pendant la quasi intégralité du temps didactique. Ceci a des effets positifs sur l'affect, sur la valeur du moi, et sur la motivation comme l'ont montré tous les théoriciens de l'autodétermination. De plus, ces appels n'étaient pas une demande concernant une difficulté à comprendre des données fournies par le simulateur :

Sy393 : Je suis sûr que l'athermique ça produit rien

Al394 : Athermique ouais mais endo

Sy395 : Endo franchement / je suis pas sûr

Al396 : Madame (20s) exothermique c'est quand ça produit

Les élèves étaient bloqués parce qu'il leur manquait une information de la séance précédente qui ne se trouve pas dans la simulation. Une meilleure connaissance du cédérom qui possède également un cours doté d'un moteur de recherche aurait pu leur permettre de gérer, en autonomie, cette difficulté.

Dans le cas Ma/Me, nous avons constaté que, jusqu'à la question 1.c, les élèves avaient respecté le protocole d'utilisation du simulateur. Cependant, quand il leur a été demandé de proposer une interprétation à l'évolution de l'énergie du système pendant l'animation, on a assisté à l'apparition de connaissances sur la proportionnalité qui n'avait pas été anticipées par le texte de la tâche ni par l'analyse *a priori*. Un tel apport de connaissances montre une dévolution au problème (Brousseau, 1998), que nous pouvons considérer comme traduisant d'un processus mû par une autonomie volontaire, où l'élève considère la tâche proposée comme susceptible de valoriser son développement personnel par un processus d'identification ou d'introjection (Deci & Ryan, 2000)

Me35 : Ouais c'est bizarre / t'as fait quoi toi (?)

Ma36 : Et moi j'ai regardé si hm : j'ai fait 7 fois par 1, 3 moins 4, 8 fois 2 / pour voir si c'était (1s) / proportionnel

Des connaissances personnelles sont apparues dans les transcriptions des trois binômes. Elles ont utilement servi à ce que ces derniers puissent répondre aux questions posées, montrant leur investissement réel. Par ailleurs, le professeur avait annoncé que cette séance de TP n'était, comme d'habitude, pas notée. L'enjeu de reconnaissance institutionnelle était donc absent, ce qui renforce l'idée que l'autonomie observée ne s'inscrit pas dans le cadre d'un contrôle externe.

On a pu constater, avec l'extrait fournissant les 5 hypothèses, au début de la partie 6, qu'en autonomie dans la situation proposée, les élèves

avaient pu construire des connaissances étonnamment élaborées. Pouvoir énoncer en moins de 4 min que « l'énergie de liaison est l'énergie libérée à chaque fois qu'une liaison se casse » nécessite qu'un grand nombre de connaissances aient été agencées avec finesse (même si la réponse correcte est « quand la liaison se forme »), et on a vu à quel point les informations variées du simulateur ont été utilisées. D'autres apprentissages importants ont été relevés et sont discutés dans la partie suivante.

6.2 Simulation et qualité de l'apprentissage de l'énergie d'une liaison chimique

La méthode de collecte des données de recherche ne donne pas accès à une information concernant l'apprentissage à long terme au moyen de la séquence d'enseignement que nous avons développée. En revanche, nous avons montré que les connaissances qui sont l'objet de l'apprentissage ont effectivement été mises en œuvre par les élèves (El Bilani & Le Maréchal, 2005). Nous allons voir ici ce que la simulation a apporté à l'apprentissage de quelques incontournables concepts de la chimie.

Simulation et exothermicité d'une réaction chimique

De Vos et Verdonk (1986) ont rapporté la difficulté qu'ils ont eu pour enseigner à des élèves de 15 – 16 ans la notion d'exothermicité d'une réaction. Ils avaient défini une réaction endothermique comme une réaction qui consomme de la chaleur, et ont utilisé cette définition dans un contexte expérimental. Notre approche fut différente puisque nous n'avons pas défini l'exothermicité comme propriété d'une réaction vis-à-vis d'un concept aussi abstrait qu'un échange de chaleur, mais en la basant sur un critère simple (l'élévation d'une température), et nous avons fourni une simulation qui mettait en œuvre un thermomètre. Il est apparu que si la définition (déclarative – cf. la difficulté de Sy/AI, 7.1.3) de l'exothermicité était connue, son utilisation (procédurale) ne posait pas de problème dans ces conditions. Par rapport à l'expérience réelle mise en œuvre par de Vos et Verdonk, notre simulation a épuré la situation, et la figure 5 permet de comprendre pourquoi les élèves ont pu raisonner avec les deux thermomètres simulés (du système étudié et du milieu extérieur). Les notions d'énergie, d'échange d'énergie sous mode chaleur, et de température étaient probablement plus accessibles avec un enseignement impliquant une simulation de ce type.

Simulation et conceptions de la réaction chimique

Parmi les connaissances, en désaccord avec le savoir savant, repérées dans la littérature à propos de la réaction chimique, celle d'agent-patient (Andersson, 1986) consiste à imaginer que la réaction chimique résulte d'un réactif qui agit (sans se transformer) sur un autre qui se transforme. Ne dit-on pas dans le langage courant que l'acide attaque le fer, et non que le fer attaque l'acide ? L'animation, en montrant la décomposition en atomes de chaque réactif, participe à la lutte contre cette conception puisque les deux réactifs se transforment visiblement.

Pour des élèves de 15 ans, la conception d'addition des réactifs (et non leur interaction) a été observée (Ben-Zvi *et al.*, 1987). La réaction chimique est alors vue comme le collage de réactifs entre eux, et non le résultat de ruptures et de formations de liaisons. Là encore, la simulation doit être efficace puisqu'elle propose une alternative à la conception du collage des réactifs.

Les élèves se construisent une idée de ce qu'est une réaction chimique avec les connaissances qui sont les leurs, ce qui conduit à des conceptions que nous avons dénoncées. Leur fournir une représentation alternative sur la façon dont on peut traiter d'une réaction chimique est donc bénéfique. Celle montrée par l'animation a le mérite d'être en cohérence avec la thermodynamique chimique. Il ne faut toutefois pas laisser penser que la simulation représentée correspond à un mécanisme réactionnel tel que les étudiants qui poursuivent des études scientifiques le découvriront en chimie organique 2 à 3 ans après. Ce qui est proposé est un chemin, certes peu probable, mais dont l'intérêt est de permettre une détermination théorique de l'énergie de réaction.

Simulation et liaison chimique

La liaison chimique a été abordée sous de multiples aspects par la recherche en didactique et l'utilisation de la tâche incluant la simulation présentée ici y contribue. À notre connaissance, c'est la première fois qu'une approche didactique de l'énergie de liaison est rapportée. La confusion entre les liaisons covalentes et les interactions ioniques, rapportées par Butts et Smith (1987), en terminale (grade 12), ou Taber (1994) au grade 11, a plus de chance d'être évitée en faisant usage de la simulation de *Calorimétrie* que celle décrite par Ardac et Akaygun (2004). Celui-ci montre en particulier ce qui est donnée figure 6, où la même représentation est adoptée pour un composé moléculaire O_2 et un composé ionique MgO , juxtaposé à une vidéo d'une combustion d'un ruban de magnésium. Si Taber (1994) remarque que des élèves évoquent la « molécule $NaCl$ », Ardac et Akaygun (2004) suggèrent aux utilisateurs de son interface l'utilisation de la notion de « molécule MgO ».

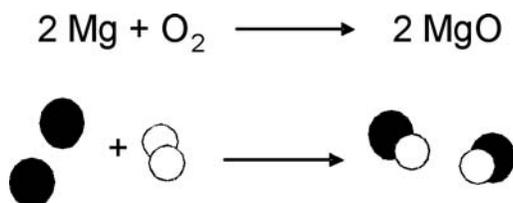


Figure 6 • Extrait d'un écran donné en exemple par Ardac et Akaygun (2004) pour enseigner le modèle particulaire en relation avec la quantité de matière.

À la suite d'une étude de cas sur un élève de grade 11 qui a été suivi sur une longue période lors de l'apprentissage de la notion d'atome et de liaison chimique, Harrison et Treagust (2000) concluent sur l'évolution qui s'est produite sur le plan de la connaissance du modèle. La liaison chimique est représentée par plusieurs modèles; un seul ne suffit pas à appréhender la totalité du concept. Apprendre ce qu'est une liaison chimique nécessite de changer ce que l'on sait d'un modèle, mais aussi de changer de modèle. C'est ce que notre simulation montre, puisqu'au niveau où en étaient les élèves avant cet enseignement, aucune approche de la réaction chimique au moyen des énergies de liaison ne leur avait été proposée.

L'élève naïf, qui découvre un modèle au travers d'une simulation lui paraissant réelle, risque de ne pas chercher à aller plus loin (Harrison & Treagust, 2000). Dans notre étude, l'utilisation quantitative du modèle grâce aux énergies de liaison permet de continuer à donner du sens à la représentation bien au-delà de l'animation. Celle-ci n'est plus une fin en soi, mais un véritable moyen de pouvoir faire des calculs. Les périodes de calcul se sont trouvées être, pour les trois binômes, un travail qui a pris du temps, que ce soit à la question 1.c sur la formulation de la notion d'énergie d'une liaison chimique au cours duquel, pour le binôme Me/Ma par exemple, des hypothèses de proportionnalité ont été testées puis réfutées, ou quand des calculs étaient explicitement demandés (3.1, 3.c, 4.a, 4.c, etc.).

CONCLUSION

La simulation *Calorimétrie* permet de faire comprendre les notions de chaleur de réaction et d'énergie de liaison, ce qui est une originalité par rapport aux simulateurs les plus couramment utilisés dans l'enseignement de la chimie. Elle allie modèles qualitatif et quantitatif, représentations microscopique et macroscopique, et permet d'être impliqué dans une variété d'approches de l'étude de la réaction chimique. Son utilisation

semble être un moyen pertinent de lutte contre de nombreuses conceptions relatives à la description microscopique de la matière, à la notion de liaison chimique, ou à la réaction chimique. Nous avons montré qu'une situation incluant une simulation pouvait permettre l'expression de l'autonomie et la satisfaction. Une telle situation constitue donc un précieux outil de travail utilisable par l'élève. Il y gère son propre cheminement et sa construction de connaissances. De plus nous avons évalué, par des marqueurs de la motivation cognitive en situation, que les élèves répondent par ce que les auteurs du modèle appellent le « besoin cognitif », et qu'il n'y a jamais dans nos observables l'expression du besoin opposé, défini comme le « besoin de clôture ». La qualité de l'apprentissage en condition d'expression du besoin d'autonomie et de satisfaction de ce besoin, ainsi que, par ailleurs, dans des situations construites dans le but de permettre la motivation cognitive, a été largement étudiée. Il s'avère que la qualité de l'apprentissage y est meilleure que lorsque l'autonomie est bloquée, ou que des pressions externes dues à la situation sont présentes. Notre étude corrobore ce type de résultats puisque, bien que n'ayant pas de dimension statistique, elle montre que la motivation observée est bien parallèle à un apprentissage de qualité.

Dans la situation proposée, autonomie et motivation ont pu être observées, et ont contribué à la qualité de l'apprentissage. Il n'est pas pour autant envisageable qu'un tel travail se passe du professeur. Le rôle de celui-ci reste à étudier, tant dans la séance où la simulation est mise en œuvre, que pendant la suite de l'enseignement. Son rôle sur la structuration des connaissances qui ont émergées en autonomie est probablement essentiel, comme il l'est lors de leur utilisation ultérieurement.

BIBLIOGRAPHIE

- ABRAHAM M.R., GRYBOWSKI E.B., RENNER J.W., MAREK E.A. (1992). Understanding and misunderstanding of eighth graders of five chemistry concepts found in textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 29, p. 105–120.
- ANDERSSON B. (1986). The experiential gestalt of causation: a common core to pupils' preconceptions in science. *European Journal of Science Education*, vol. 8, p. 155–171.
- ARDAC D., AKAYGUN S. (2004). Effectiveness of multimedia-based instruction that emphasizes molecular representations on students' understanding of chemical change. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 41 (4), p. 317–337.
- BEN-ZVI R., EYLON B., SILBERSTEIN J. (1986). Is an atom of copper malleable? *Journal of Chemical Education*, vol. 63, p. 64–66.
- BEN-ZVI R., EYLON B.-S., SILBERSTEIN J. (1987). Students' visualization of a chemical reaction. *Education in Chemistry*, vol. 24, p. 117–120.
- BLACK A. E., DECI E. L. (2000). The effects of instructors' autonomy support and students' autonomous motivation on learning organic chemistry: a self-determination theory perspective. *Science Education*, vol. 84, p. 740–756.

- BOO H. K. (1998). Students' understandings of chemical bonds and the energetics of chemical reactions. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 35 (5) p. 569–581.
- BROUSSEAU G. (1998) *La théorie des situations didactiques*, Grenoble: La pensée sauvage éditions.
- BUTTS B., SMITH R. (1987). HSC chemistry students' understanding of the structure and properties of molecular and ionic compounds. *Research in Science Education*, vol. 17, p. 192–201.
- COHEN I., BEN-ZVI R. (1992). Improving student achievement in the topic of chemical energy by implementing new learning materials and strategies. *International Journal of Science Education*, vol. 14, p. 147–156.
- COLL R. K., TAYLOR N. (2002). Mental models in chemistry: senior chemistry students. mental models of chemical bonding. *Chemistry Education Research and Practice in Europe*, vol. 3 (2), p. 175–184.
- COLL R.K., TREAGUST D.F. (2002). Learners' mental models of covalent bonding. *Research in Science and Technological Education*, vol. 20 (2), p. 241–268.
- CROS D., MAURIN M. (1986). Conceptions of first-year university students of the constituents of matter and the notions of acids and bases. *European Journal of Science Education*, vol. 8, p. 303–313.
- DE VOS W., VERDONK A. (1986). A new road to reactions. Part 3: Teaching the heat effect of reactions. *Journal of Chemical Education*, vol. 63, p. 972–974.
- DECI E.-L., RYAN R.-M. (2000) « Intrinsic and extrinsic motivations: classic definitions and new directions » *Contemporary Educational Psychology*, vol. 25, p. 54–67.
- DECI E.-L., RYAN R.-M. (1987) « The support of autonomy and control behaviour » *Journal of Personality and Social Psychology*, vol. 53, n° 6, p. 1024–1037.
- EL BILANI R., LE MARÉCHAL J.-F. (2005). L'articulation entre anciennes et nouvelles connaissances : apprentissage de l'énergie d'un système chimique enseigné au moyen d'un TICE. *4^e rencontres de l'ARDIST*, 12-15 octobre 2005, Lyon, Éd. de l'INRP, p. 143-150.
- FRIEDEL A.W., MALONEY D.P. (1992). An explanatory classroom based explanation of students' difficulties with subscripts in chemical formulas. *Science Education*, vol. 76, p. 65–78.
- GARCIA G. (2001). Physique et chimie en première S, cédérom élève. Micromega®, Hatier.
- GANDILLET E., DUPONT C., LE MARÉCHAL J.-F. (2003). Students' gestures as an extra observable to scaffold the « Entity-Quantity » alternative conception for ionic solutions chemistry. *Esera. Noordvikerout* (Holland), August 2003.
- HAIDER A.H., ABRAHAM M.R. (1991). A comparison of applied and theoretical knowledge of concepts based on particulate nature of matter. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 28, p. 919–938.
- HARRISON A.G., TREAGUST D.F. (2000). Learning about atoms, molecules, and chemical bonds: a case study of multiple-model use in grade 11 chemistry. *Science Education*, vol. 84, p. 352–381.
- JOHNSTONE A.H., MACDONALD J.J., WEBB G. (1977). A thermodynamic approach to chemical equilibrium. *Physics Education*, vol. 12, p. 248–251.
- KELLER J.M. (1983). Motivational design of instruction. In C.M. REIGELUTH, ed., *Instructional design theories and models: an overview of their current status*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- KELLY H.H. (1971). Attribution in social interaction. In E.E. JONES, D.E. KANAUSE, H.H. KELLY, R.E. NISBETT, S. VALENS & B. WEINER, (éd.) *Attribution: perceiving the causes of behavior*. Morristown, NJ: General Learning Press.
- KRUGLANSKI A.W. (1989). *Lay epistemics and human knowledge: cognitive and motivational bases*. New York: Plenum.

- KRUGLANSKI A. W., WEBSTER D. M. (1996). Motivated closing of the mind : « Seizing » and « freezing ». *Psychological Review*, vol. 103, p. 163–183.
- LE MARÉCHAL J.-F., BÉCU-ROBINAUT K. (2006). La simulation en chimie au sein du projet Microméga®. *Aster*, n° 43, p. 81-108.
- PETERSON R., TREAGUST D., GARNETT P. (1986). Identification of secondary students' misconceptions of covalent bonding and structure concepts using a diagnostic instrument. *Research in Science Education*, vol. 16, p. 40 – 48.
- PIERRO A. T., CICERO L., BONAIUTO M., VAN KNIPPENBERG D., KRUGLANSKI A. W. (2005). Leader group prototypicality and leadership effectiveness: the moderating role of need for cognitive closure. *The Leadership Quarterly*, vol. 16, p. 503–516.
- ROUX M., LE MARÉCHAL J.-F. (2003a). Introducing dynamic equilibrium before static equilibrium by means of computer modelling. Noordvikerout (Holland), August 2003
<http://gric.univ-lyon2.fr/membres/lemarech/Publications/EsEquil.pdf> [lien vérifié le premier octobre 2007, NDLR]
- ROUX M., LE MARÉCHAL J.-F. (2003b). Équilibre chimique : du concept-procédé au concept-objet au moyen d'un simulateur. 3^e Rencontre de l'ARDIST, Toulouse, Octobre 2003.
- SHELDON K.M., ELLIOT A.J., KIM Y. & KASSER T. (2001). What is satisfying about satisfying events? Testing 10 candidate psychological needs. *Journal of personality and social Psychology*, vol. 80 (2), p. 325–339.
- SMALL R. V., VENKATESH M. (2000). A cognitive-motivational model of decision satisfaction. *Instructional Science*, vol. 28, p. 1–22.
- STAVER J. R., LUMPE A. (1995). Two investigations of students' understanding of the mole concept and its use in problem solving. *Journal of Research in Science Teaching*. Vol. 32 (2), p. 177-193.
- TABER K. (1994). Misunderstanding the ionic bond. *Education in Chemistry*, vol. 31, p. 100–102.
- TABER K. S. (2001). Building the structural concepts of chemistry: some considerations from educational research. *Chemistry Education Research and Practice in Europe*, vol. 2 (2), p. 123-158.
- TABER K. S. (2003). Understanding ionisation energy: physical, chemical and alternative conceptions. *Chemistry Education : Research and Practice*, vol. 4 (2), p. 149-169
- TABER K. S., WATTS M. (1996). The secret life of the chemical bond: students. anthropomorphic and animistic references to bonding. *International Journal of Science Education*, vol. 18, p. 557-568.
- WILD ET AL. (1997) « Perceiving others as intrinsically or extrinsically motivated effect on expectancy formation and task engagement » *Personality Social Psychology Bulletin*, vol. 23, p. 837-848.
- YARROCH W.L. (1985). Student understanding of chemical equation balancing. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 22, p. 449–459.

ANNEXE

3^e tâche

Simulation

1. Ouvrir le simulateur Microméga® *Calorimétrie*, si ce n'est pas fait. Cliquer sur l'onglet « Micro ». Choisir comme réaction étudiée, la combustion complète de l'éthanol dans le dioxygène.
2. La fenêtre d'animation montre l'état initial d'un système chimique constitué d'une molécule d'éthanol et de trois molécules de dioxygène. Son niveau d'énergie (à droite) est considéré comme nul à l'état initial.
3. Reporter sur votre feuille les formules développées représentées sur l'écran.
4. Commencer l'animation en cliquant sur ► puis arrêter l'animation au bout de 3 ou 4 secondes en cliquant sur ;.

Question 1

- a. -À ce stade de la simulation, quelles liaisons chimiques ont été cassées lors de l'animation ?
- b. Quelle est alors la valeur de l'énergie du système ?
- c. Proposer une interprétation à l'évolution de l'énergie du système pendant l'animation. (pour répondre on pourra être amené à recommencer l'animation en cliquant sur ◀ puis sur ;).
- d. En vous aidant de l'animation, dire ce qu'est, pour vous, l'énergie d'une liaison chimique.

On s'intéresse maintenant à un autre système chimique. On considère un système chimique constitué d'une molécule H_2 et d'une molécule Cl_2 . Un tel système chimique peut évoluer en produisant du chlorure d'hydrogène HCl.

Question 2 (sans utiliser le simulateur)

- a. Écrire les formules développées des entités mises en jeu dans un tel système chimique.
- b. Écrire l'équation chimique qui représente la réaction.
- c. Prévoir ce que serait l'animation qui représente cette réaction chimique.

Avec le simulateur, choisir la réaction « Combustion du dihydrogène dans le dichlore ». Sur la fenêtre de droite, les énergies de liaisons sont indiquées.

Question 3

- Prévoir à l'aide d'un calcul simple l'énergie mise en jeu lors de cette réaction.
- Vérifier en effectuant la simulation.
- Prévoir, de même, quelle énergie serait mise en jeu dans la réaction d'une molécule de méthane CH_4 avec deux molécules de dioxygène pour donner une molécule de dioxyde de carbone et deux molécules d'eau.
- Vérifier le calcul avec la simulation.

Énergie de liaison : aspect macroscopique

Définition

L'énergie de liaison, notée D_{A-B} , est l'énergie à fournir à une température donnée pour dissocier une mole de molécule A-B à l'état gazeux en une mole d'atomes A et une mole d'atomes B à l'état gazeux. Elle s'exprime en $\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}$ ou souvent en $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$.

Question 4

- Calculer les énergies de liaison $D_{\text{H-H}}$, $D_{\text{Cl-Cl}}$ et $D_{\text{H-Cl}}$, en $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ à partir des données microscopiques précédemment utilisées.
- Vérifier les valeurs à l'aide du simulateur en cliquant dans l'onglet « lore ».
- À l'aide de ces valeurs, calculer l'énergie mise en jeu lorsqu'une mole de dihydrogène réagit avec une mole de dichlore pour donner deux moles de chlorure d'hydrogène.
- La réaction est-elle endothermique ou exothermique ?
- Cette valeur est une valeur théorique de l'énergie de réaction.

Question 5

- Rappeler la définition d'un système isolé.
- On considère un système chimique isolé contenant à l'état initial H_2 et Cl_2 . On réalise au sein de ce système chimique isolé la réaction chimique exothermique entre H_2 et Cl_2 . Comment évoluent: la température de ce système? L'énergie de ce

système? L'énergie du milieu extérieur? La température du milieu extérieur?

- c. Simuler l'expérience; vérifier dans l'onglet « option » que le système est isolé (rubrique « Aspect macroscopique »). Les prévisions étaient-elles correctes ?
- d. On considère à nouveau le système chimique de la question (b), mais cette fois, il n'est pas isolé. Il est alors en contact avec un environnement *de grande dimension*, c'est-à-dire un environnement dont la température ne varie pratiquement pas. Prévoir comment évoluent: la température de ce système? L'énergie de ce système? L'énergie du milieu extérieur? La température du milieu extérieur?

Question 6

- a. Utiliser la valeur théorique de l'énergie de la réaction $\text{H}_2 + \text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{HCl}$ pour déterminer l'énergie qu'un système chimique constitué de 0,15 mol de H_2 et autant de Cl_2 échange au cours de cette réaction sous forme de chaleur avec le milieu extérieur.
- b. Vérifier avec le simulateur.
- c. Quelle serait l'énergie échangée s'il y avait eu à l'état initial 0,15 mol de H_2 et 0,50 mol de Cl_2 ?
- d. Vérifier avec le simulateur.