

Environnement d'apprentissage fondé sur une simulation : appropriation par les enseignants stagiaires d'IUFM

Françoise CHAUVET* et Chantal DUPREZ**

*IUFM Nord Pas de Calais, ** Université de Lille 1
LDSP Université Denis Diderot - Paris 7
fchauvet@club-internet.fr, chantal.duprez@univ-lille1.fr

Résumé

Dans le contexte d'un enseignement en seconde au lycée d'un modèle cinétique de gaz, qui fait l'objet d'un consensus entre concepteurs des programmes et chercheurs en didactique, nous nous interrogeons sur l'impact d'un environnement d'apprentissage fondé sur une simulation de ce modèle auprès des enseignants et des élèves. Dans cet article, nous voulons savoir dans quelle mesure un travail en formation initiale portant sur l'intégration d'un logiciel qui prend en compte les difficultés des élèves et vise une construction de concepts, permet de transmettre de nouvelles intentions et de faire évoluer les pratiques pédagogiques. L'étude détaillée d'entretiens devant la simulation avec de futurs enseignants permet de comprendre les facteurs décisifs pour son appropriation ou au contraire ce qui fait obstacle. L'analyse des scénarios envisagés par les stagiaires IUFM pour un transfert vers les élèves et les réponses à un questionnaire d'opinion, permet de repérer des tendances de transformations et des aspects de mises en œuvre, en résonance (ou non) avec nos intentions.

1. Contexte et questions de recherche

À tous les niveaux d'enseignement, les recommandations officielles incitent à utiliser des logiciels de simulation comme outils d'apprentissage. Ainsi, dans les nouveaux programmes de seconde (B.O. 1999), cette injonction à l'innovation vise l'illustration des deux types de description, macroscopique et microscopique, des propriétés de la matière. Les documents d'accompagnement (GTD, 2000) portent la marque de résultats de recherches didactiques antérieures, menées au niveau collège, sur l'introduction d'un modèle cinétique particulière pour expliquer les propriétés physiques des gaz avec appui sur une simulation (Chomat, Larcher, Méheut, 1990 ; Méheut 1996). Les propositions d'enseigner le modèle cinétique ou de l'utiliser, avec ou sans simulation informatique (Andersson & Bach, 1996 ; Vollebregt, 1998 ; Vince & Tiberghien, 2000), semblent faire l'objet d'un consensus entre rédacteurs du programme actuel et communauté des chercheurs. Il est intéressant de s'interroger sur l'impact d'un tel enseignement sur des élèves de seconde. Dans cette perspective, notre équipe¹ a réadapté à la puissance actuelle des ordinateurs la simulation issue de la recherche INRP citée. Notre étude est centrée sur les enseignants, nécessaires médiateurs entre les concepteurs d'un outil innovant (séquence ou logiciel) et ses utilisateurs. Elle s'inscrit dans la lignée des travaux didactiques qui s'interrogent sur les difficultés conceptuelles que rencontre un enseignant qui s'approprie un outil innovant et l'intègre dans son enseignement avec des objectifs dont on

1. Projet de recherche « Conception d'un environnement d'apprentissage basé sur une simulation et évaluation en formation des maîtres » soutenu par L'IUFM Nord Pas de Calais (sept 2001- sept 2003). Autres membres de l'équipe : Isabelle KERMEN, Université d'Artois, LDSP, Philippe COLIN, IUFM Nord Pas de Calais, LDSP, Marie Bernadette DOUAY, Lycée Jean Perrin, Lambersart.

attend qu'ils soient en résonance avec les intentions des concepteurs. Se pose alors la question du transfert d'une séquence élaborée à des fins de recherche vers les enseignants de terrain pour une utilisation comme outil d'enseignement. Cette problématique rejoint celle d'une recherche européenne à laquelle nous avons participé. Cette recherche a porté sur les tendances des transformations opérées par les maîtres, considérés comme des transmetteurs actifs, lors de la mise en œuvre d'innovations en matière de TICE et de séquences d'enseignement (STTIS, 1998) et a conduit à l'élaboration de documents pour la formation de formateurs dans le domaine de l'optique (STTIS, 2001).

Nous voulons savoir dans quelle mesure un travail de formation portant sur l'intégration d'un logiciel ciblé permet de transmettre de nouvelles intentions à visée constructiviste et de faire évoluer les pratiques pédagogiques. Nous pensons que les composantes d'une situation d'enseignement, comme celle de formation, sont multiples et que les variables ne sont pas isolables. C'est en cherchant à agir sur un ensemble de composantes corrélées que l'on peut favoriser une évolution des pratiques : cohérence d'ensemble et aspects fins de mise en œuvre concourent à une intégration pertinente de l'outil (Viennot, 2002).

Notre étude comporte donc plusieurs volets : appropriation de l'environnement didactique par les enseignants en service et en formation initiale, analyse des conditions d'un transfert en situation de classe et évaluation des acquis conceptuels des élèves, élaboration en retour d'un ensemble de documents pour la formation, en direction des enseignants et des formateurs.

Former à l'intégration d'un outil relevant des TICE ne peut pas se découpler d'une réflexion sur le choix d'objectifs d'enseignement, elle-même fortement imbriquée avec un éclairage spécifique du contenu. De même, former des enseignants à une nouvelle activité pédagogique passe, selon nous, par une analyse des potentialités du logiciel pour l'apprentissage en relation avec les concepts de physique et l'analyse des conceptions et raisonnements des élèves dans ce contexte ciblé. Concernant l'évaluation de l'impact d'un dispositif donné, il nous semble impossible de dire quel élément plutôt que tel autre s'est révélé déclencheur d'un éventuel succès (ou échec). Ce sont les mises en relation entre ces différentes composantes que nous décrivons en détail et dont nous évaluons la pertinence.

Dans cet article, nous traitons des réactions des jeunes enseignants stagiaires, en formation initiale à l'IUFM, et présentons quelques aspects marquants de leur appropriation du logiciel et de son environnement didactique.

2. Des intentions spécifiques pour une séquence d'apprentissage avec le logiciel

Le cadre théorique qui fonde la simulation est celui de la théorie cinétique des gaz parfaits. Pour interpréter les mêmes phénomènes, le physicien dispose de deux modèles. L'un se situe au niveau macroscopique : le modèle du gaz parfait où l'état d'un gaz est décrit par l'équation $pV = nRT$. L'autre se situe au niveau microscopique : le modèle cinétique, dans lequel un gaz est décrit par un très grand nombre de particules considérées comme des sphères dures de dimension négligeable, dont le mouvement est régi par les lois de la mécanique newtonienne auxquelles on adjoint des hypothèses statistiques. Nos objectifs pour une séquence d'enseignement intégrant la simulation sont de faire construire par les élèves les notions de pression et de température d'un gaz en introduisant le modèle cinétique et d'utiliser ce modèle pour ses fonctions de prévision et d'explication des propriétés thermoélastiques des gaz. Le travail conceptuel attendu porte sur la mise en relation de deux niveaux de description des mêmes phénomènes relatifs aux gaz. Fondé sur ces lois, le logiciel produit une image animée, aide à l'exploration du modèle cinétique. Par rapport à d'autres construits sur le même thème, le logiciel a des particularités qui font écho aux obstacles dont on vise le dépassement.

- Le mot pression n'est pas affiché sur l'écran de visualisation. Cette notion est à construire par l'utilisateur à partir des effets statistiques et dynamiques des chocs et à relier à la

grandeur macroscopique « force par unité de surface ». Seuls les nombres de chocs par unité de surface de paroi sont affichés. En s'appuyant sur l'association spontanée entre « tassement » des particules (Séré, 1985) et fréquence des chocs, on vise une première approche des forces pressantes à partir des effets des chocs, associés à leur fréquence.

- Le choix de simuler deux volumes de gaz séparés par une paroi mobile vise une autre difficulté : la non prise en compte de la pression atmosphérique considérée comme un état « normal sans pression ». C'est le sens de déplacement de la paroi une fois libérée (ou son maintien à l'équilibre) qui sert d'indicateur pour comparer les pressions de part et d'autre de la paroi. Relier le mouvement de la paroi aux chocs des particules est un passage obligé, favorisé par l'image animée. Les élèves de seconde ignorent la loi de conservation de la quantité de mouvement et le concept d'énergie cinétique. Ils disposent d'une première approche du principe d'inertie, enseignée avant le thème sur les gaz, pour observer le mouvement d'une particule au cours d'un choc ou entre deux chocs. Ils peuvent expliquer en termes de compensation ou de comparaison d'actions mécaniques la mise en mouvement ou l'équilibre de la paroi.
- La masse des particules, variable dans le modèle cinétique, est introduite comme paramètre de la simulation, alors qu'elle reste cachée dans l'équation d'état $pV = nRT$ liant les variables macroscopiques. Le logiciel permet de simuler des situations où l'égalité des pressions ne correspond pas à une égalité des nombres de chocs, alors que l'association pression et fréquence des chocs est souvent privilégiée par les élèves (Méheut, 1996) ou les étudiants (Rozier, 1988). Dans une telle situation, où se manifeste un raisonnement « une cause, un effet », il faut prendre en compte non seulement la fréquence des chocs, grandeur à caractère spatial, mais aussi la quantité de mouvement échangée, grandeur dynamique qui dépend de la masse et de la vitesse des particules. Rozier avait déjà trouvé au niveau universitaire la non prise en compte des aspects dynamiques des chocs. D'autres situations permettent une approche intuitive de la grandeur physique qui traduit l'efficacité des chocs et que les élèves appellent souvent la « violence » ou la « force » des chocs.
- Le logiciel peut ainsi être un support privilégié pour mettre en scène des situations favorisant une analyse « fonctionnelle » des relations entre variables macroscopiques. Ainsi on peut chercher de quelles variables dépend (ou ne dépend pas) la pression en précisant les sens de co-variation ou de contre variation. Cette étape d'une démarche scientifique mérite d'être travaillée, en privilégiant une approche qualitative de la relation $pV = nRT$, relation à plusieurs variables dont on sait les difficultés associées.

3. Enquête en formation initiale

Une formation de six heures a été menée avec trois groupes de professeurs stagiaires (N = 49). Elle a comporté une phase d'explicitation de nos intentions didactiques pour un apprentissage avec le logiciel. La discussion a porté sur l'articulation des objectifs d'apprentissage avec les spécificités de l'outil dans des activités pertinentes pour les élèves. En particulier, la sensibilisation des stagiaires aux difficultés des élèves s'est faite à partir des résultats connus d'études didactiques et de ceux obtenus dans une enquête menée parallèlement dans les académies de Lille (Chauvet & Douay, 2002) et de Créteil (Canac, 2001), qui confirme pour les élèves à l'entrée en seconde les difficultés mises en évidence au collège (Séré, 1985 ; Méheut, 1996). Nous proposons des chemins d'appropriation et des démarches expérimentales qui tiennent compte des difficultés communes et qui favorisent l'implication des apprenants dans la construction de leurs connaissances. Après une phase de prise en mains, libre et très courte, il est demandé aux stagiaires de construire un guide d'activités pour les élèves de seconde s'intégrant dans une séquence d'enseignement sur le

thème des gaz, en se limitant à une introduction avec le logiciel des concepts de pression et température.

Au cours de cette formation, nous recueillons deux types de données : les scénarios ébauchés pour le guidage d'élèves de seconde produits par petits groupes de stagiaires (N = 18) et les réponses à un questionnaire d'opinion portant sur l'usage potentiel de l'environnement didactique proposé. Pour compléter les informations recueillies à partir des scénarios, nous avons enregistré deux entretiens pendant l'appropriation de la simulation et l'élaboration de scénarios (N = 2) par quatre étudiants de licence de sciences physiques dans un module de pré-professionnalisation enseignement. Nous considérons ces deux publics comme équivalents. En effet, la discussion des raisonnements de sens commun et l'élaboration d'activités d'apprentissage passent bien souvent par une remise en question des connaissances et des raisonnements du futur enseignant et le conduisent à réfléchir sur les démarches et méthodes de la physique. Notre analyse porte sur des indices de cette prise de conscience : l'importance accordée à la construction conceptuelle, à la cohérence dans l'enchaînement des concepts et des activités proposées, notamment autour des expériences simulées.

4. Résultats en formation initiale

Des chemins d'appropriation par les étudiants de licence

De la séance de travail avec des étudiants de licence², nous choisissons quelques extraits de dialogues significatifs de leurs fonctionnements pour s'approprier le logiciel et construire un guide d'activités pour les élèves de seconde. Nous observons deux parcours typiques d'appropriation du logiciel : celui de M, en tout point conforme aux intentions des concepteurs et celui de S, manifestant des difficultés avec le modèle cinétique et le rôle de la simulation.

Une situation qui pose problème

Dans la phase de découverte des fonctions du logiciel, le formateur propose aux quatre étudiants une situation qui permet de mettre en évidence les effets des chocs sur les parois et d'associer d'abord pression et fréquence de chocs. Dans une seconde situation (deux gaz différents constitués de particules de masse différente), la fréquence des chocs est différente de part et d'autre alors que la pression est identique. On demande de prédire le sens du déplacement éventuel de la paroi. Dans un bref épisode, deux réactions se manifestent par rapport à la question posée. L'une, celle de S, qui « attend de voir » et s'en tient à l'explication dans la formule, puisque « tout est pareil » des deux côtés, ce qui conduit bien sûr à une prévision correcte, mais court-circuite l'image. L'autre, celle de M et N qui jouent le jeu à partir de l'image, mais donnent une prévision fautive :

F que pensez-vous du sens dans lequel la paroi va se déplacer ?

M N vers la gauche

F vers la gauche et pourquoi vous dites vers la gauche ?

M parce que la paroi de ce côté là subit plus de chocs

D'une part, la situation met en conflit les deux approches : la connaissance de la loi des gaz parfaits se révèle ici un obstacle pour chercher l'explication dans le modèle cinétique. D'autre part, la prévision fautive amène à s'interroger sur les variables qui interviennent dans les effets des chocs. Cet épisode illustre les possibilités du logiciel pour mettre en scène un conflit cognitif et favoriser le questionnement des utilisateurs.

2. (M = Marianne, N = Nathalie) et (S = Stéphane, A = Aurore), P = Enseignante, F = Formateur

Un chemin d'appropriation attendu et observé : circulation entre les niveaux macroscopique et microscopique

M et N parviennent à résoudre le conflit lorsqu'elles donnent la priorité aux variables microscopiques, en associant type de particules, masse et quantité de mouvement et en laissant de côté la relation entre les variables macroscopiques :

M le même nombre, même T, même volume, la pression est égale (des deux côtés), la formule le dit mais après !/.../

M ça y est j'ai compris, force et quantité de mouvement

M d'un autre côté, c'est pas la quantité de chocs, c'est la force des chocs

La simulation joue son rôle : aider à imaginer l'effet de chocs d'un ensemble de boules plus ou moins lourdes sur la paroi. La mise en relation de la masse des molécules avec la « force des chocs » se révèle ici l'élément déclencheur. Pour ces étudiantes, la prise en mains du logiciel se centre d'emblée sur la circulation entre les deux niveaux et l'appui privilégié sur les variables microscopiques. Elles choisissent de guider l'apprentissage des élèves avec le logiciel sur un parcours de même type. On retrouve dans leur scénario (voir extrait E1, encadré 2) des situations et des questions pour favoriser chez les élèves un double regard (micro et macro) sur les concepts, une mise en relation des différentes variables d'un même niveau et entre niveaux, en résonance avec nos intentions.

Un exemple de blocage : priorité aux grandeurs macroscopiques et aux mesures

S pose des questions sur ce que fait le logiciel et effectue de constants allers et retours entre les informations sur les modèles physiques en jeu et l'affichage sur l'écran. Il demande confirmation des lois statistiques du modèle, à propos de la vitesse quadratique moyenne :

S Et pourquoi il y a des molécules qui n'ont pas la même vitesse ? parce qu'on s'imagine ça comme quelque chose d'assez uniforme /.../et on voit pas pourquoi elles ralentissent...,

ou des lois de conservation au cours d'un choc :

S mais alors pourquoi elles ralentissent, elles vont vite et puis tout d'un coup on ne sait pas pourquoi elles ralentissent

F non, c'est pas les mêmes qui vont vite et qui ralentissent, il peut y avoir des chocs

P dans un choc ça change

Les possibilités d'explication des phénomènes avec le logiciel lui semblent insuffisantes : la température est imposée, le logiciel calcule la vitesse moyenne des particules, sans possibilité de montrer que, à l'inverse, une augmentation de la vitesse des particules se traduit par une augmentation de température. S'appuyant sur les limites de la simulation, il ne cherche pas le détour par le modèle pour expliquer ce qu'il sait à partir de la formule. Il voudrait même « voir » la pression en voyant la mesure :

S oui mais si on avait les valeurs qui le prouvent, les élèves pourraient trouver tout seuls.

Pourquoi ils parleraient de pression, il n'y a pas le mot pression là-dedans, si on leur en parle pas, comment on fait, il faudrait mettre /.../enfin graduer, et comme ça ils peuvent aussi se dire, il y a la pression qui joue, parce qu'on voit... on voit la pression.

On trouve ainsi, en cohérence avec sa propre démarche, un objectif principal à son scénario : trouver des relations de proportionnalité entre les grandeurs macroscopiques pour vérifier la loi (extrait E2, encadré 3).

Scénarios produits et aspects de pratique repérés par les stagiaires

Dans les scénarios ébauchés (N = 20), nous repérons des intentions manifestées par les stagiaires pour un travail avec les élèves. Les fréquences d'apparition mentionnées, sans valeur statistique, nous permettent de caractériser des tendances de transformations.

Par rapport à notre première ligne d'analyse, appui sur l'image animée pour la construction de concepts, tous les scénarios considèrent comme un passage obligé l'introduction de la pression du gaz par l'analogie mécanique des effets des chocs des molécules sur les parois. Deux tiers

des scénarios (encadré 1) mentionnent d'une façon ou d'une autre la double dépendance de la pression avec la fréquence et la « force » des chocs. La même proportion indique que la vitesse des particules ne dépend que de la température, à masse donnée.

Mais lorsqu'il s'agit de mettre en scène pour leurs élèves une connaissance récemment acquise pour eux-mêmes, dans un tiers des scénarios seulement, les stagiaires le font en formulant des questions qui laissent l'explication à la charge des élèves : j'ai appris, dit un stagiaire, « *qu'il faut poser des questions moins ciblées à l'élève ; ex : "comment va évoluer la membrane ?" pour l'obliger à réfléchir avant, et non laisser faire l'expérience et demander comment évolue la membrane ?* ». Sur le même registre, la découverte récente du rôle que peut jouer dans la construction de connaissances par les élèves une situation de conflit cognitif, « *j'enseigne en collègue et je ne pense pas utiliser le logiciel, mais je pense utiliser le fait de mettre les élèves en conflit avec ce qu'ils pensaient intuitivement et le déroulement de l'expérience* », en convainc un autre quart d'utiliser un cycle de questions (encadré 2) incluant une demande de prévision avec justification, avant la vérification avec le résultat de la simulation.

Encadré 1. Modèle cinétique de pression (extraits de scénarios) et démarches mises en œuvre

- **A6 III Paramètres dont dépend la pression**
- 1° Chocs
- 2° Situation contradictoire pour montrer que la pression dépend de la force des chocs
- à gauche O₂, N = 100, T = 300 K
- à droite H₂, N = 100, T = 300 K.
- paroi fixe --> nombre de chocs à gauche < nombre de chocs à droite
- et pourtant quand on libère la paroi, elle ne se déplace pas

- **A4 Conclusion** : l'enseignant introduit ainsi la notion de violence des chocs.
- **D6 Faire faire des suppositions aux élèves**
- **A1 Proposer une hypothèse**

Encadré 2 : Cycle prévision /observation/ comparaison

- **E1 On veut savoir de quels paramètres dépend la pression**
- 1er cas : dans chaque compartiment, mêmes molécules, même T, même nombre de molécules
- a) prévision : que se passe-t-il quand on libère la paroi ? Justifier
- b) simulation : vos observations sont-elles en accord avec vos prévisions ?

Si la plupart des scénarios s'accordent sur une démarche d'ensemble liée à la facilité d'utilisation de l'outil, « *la simulation = s'ils se trompent, ce n'est pas grave* » ou « *confrontation et vérification à volonté des hypothèses émises, $p = f(T, V, v, Ec)$* », le rôle qu'y joue la simulation diffère. La moitié des scénarios privilégie les questions conduisant à une analyse des situations de type qualitatif. Dans ce cas, l'image sur l'écran est d'abord considérée comme un support pour mettre en relation les variables microscopiques du modèle cinétique et les variables macroscopiques (modèle du gaz parfait). La comparaison des deux cases sur le même écran est aussi un outil pour favoriser un raisonnement à plusieurs variables dans le cadre du modèle cinétique (encadrés 1 et 2).

Un scénario sur cinq (encadré 3) se focalise sur la relation $pV = nRT$ et cherche à la faire vérifier avec la simulation. Dans cette démarche que nous qualifions de quantitative, une fois établi un raisonnement en termes de comparaison des pressions dans les deux cases, le lien avec le niveau microscopique n'est plus envisagé. L'image devient alors un instrument de mesure. Le repérage de la position d'équilibre de la paroi sert à vérifier des relations de proportionnalité entre les variables macroscopiques (V, n, T).

Encadré 3 : une démarche quantitative après des questions de prévisions

- **E2** 1° b) choisir deux cases : même T , même type, même nombre, volumes différents $V_1 > V_2$,
- prévoir le sens du déplacement ; - vérifier que p_2 est proportionnelle à $1/V_2$
- 2° a) T change, le reste est identique \Leftrightarrow observer que les vitesses des particules sont différentes
- b) choisir T_1 et $T_2 = 4T_1 \Leftrightarrow$ vérifier la relation entre les volumes à l'équilibre $T_1/T_2 = V_1/V_2$

Enfin dans d'autres scénarios (un sur cinq), il semble que la simulation soit considérée comme un montage réel permettant la conduite d'une expérience classique (encadré 4). Les lois statistiques qui fondent la simulation sont oubliées. La vérification de la loi des gaz parfaits s'appuie sur un cycle de mesures avec données numériques (les nombres de chocs, seuls résultats affichés) ce qui nécessite la comparaison d'écrans successifs. L'élève est invité à choisir les paramètres de la simulation, à suivre un protocole où il doit noter des résultats numériques dans un tableau, (ou même tracer une courbe !), interpréter et conclure. Dans ces scénarios, on observe une contre utilisation de la simulation par rapport à nos intentions. Les stagiaires ne distinguent pas les deux niveaux de description du modèle de gaz : ils suggèrent une relation directe entre la température (grandeur macroscopique) et le nombre de chocs (microscopique). Ils ne guident pas les élèves vers la maîtrise de l'interdépendance des variables : ils occultent la double dépendance de la pression cinétique avec la fréquence et la violence des chocs. Enfin ils mettent en œuvre une démarche inductive stéréotypée, sans doute habituelle dans leur pratique d'enseignement pourtant débutante, où la recherche d'une relation numérique suffit à l'énoncé de la loi.

Encadré 4 : démarche quantitative et cycle expérience avec mesures /interprétation /conclusion

• **O4** Influence de la température

Expérience : boîte avec paroi : dans chaque compartiment 50 H_2 et une température différente.

Arrêter le compte tour à 250 et noter le nombre de chocs

T K	273	473	673	873
nombre de chocs	39	52	58	62

Observer les résultats

Interpréter (y a-t-il un rapport entre T et le nombre de chocs ?). Conclure

5. Synthèse et perspectives

Au-delà d'une enquête de satisfaction que nous avons d'ailleurs menée, l'analyse détaillée de nos données nous a permis de repérer les principaux aspects d'une mise en œuvre pertinente de l'outil de simulation en résonance avec nos objectifs. Les stagiaires guident d'emblée les élèves dans une mise en relation des deux niveaux de description, macroscopique et microscopique. Mais les difficultés conceptuelles, notées par certains, se traduisent dans les scénarios par des silences : dans deux tiers des scénarios, les stagiaires manifestent leur intention de prendre en compte la double dépendance de l'effet des chocs à leur fréquence et à leur "violence". Ils ne sont plus qu'un tiers à la mettre en scène dans le guidage des élèves.

On pourrait penser, au vu des réponses au questionnaire d'opinion, que l'activité d'intégration proposée, en suscitant une réflexion contextualisée sur les contenus et les modes de travail avec les élèves, a donné des clés aux jeunes enseignants pour une évolution de leurs pratiques. Pour autant, élaborer un guidage des élèves ne va pas de soi. Savoir mettre en scène une situation de conflit cognitif ou opter pour une démarche de questionnement de type prévision /simulation/ comparaison ne relève pas d'un choix de détail, mais de la maîtrise d'un ensemble de facteurs à mettre en cohérence pour favoriser des formes de raisonnement scientifique chez les élèves. Une seule mise en situation des stagiaires ne suffit pas, bien évidemment, pour lever toutes les rigidités liées aux représentations qu'ils se font de ce qu'est une démarche

scientifique et pour examiner de façon critique leurs conceptions sur l'apprentissage et sur la valeur des différentes activités pédagogiques. Les routines, que certains stagiaires semblent avoir déjà mises en place, se révèlent des obstacles pour guider les élèves dans une démarche, d'abord qualitative, de construction de concepts.

On constate, en accord avec d'autres recherches, qu'il ne suffit pas de diffuser un logiciel, même porteur de nouvelles intentions, pour que les enseignants se l'approprient (Rebmann, 1998 ; Buty 2000 ; Richoux *et al.*, 2002). Les résultats mitigés que nous observons lorsqu'il s'agit de transposer dans des actions précises les éléments les plus innovants par rapport à la pratique habituelle plaident en faveur d'un accompagnement nécessaire qui va bien au-delà d'une simple présentation des possibilités du logiciel ou d'un approfondissement de la théorie. Les chemins d'appropriation et les scénarios produits révèlent les difficultés et les résistances pour mettre en pratique les éléments nouveaux, pourtant acceptés verbalement. Ces premiers résultats nous servent d'appui pour poursuivre l'étude de l'appropriation de l'outil et de ses intentions didactiques par les enseignants en service qui l'ont utilisé dans leurs classes. Ils orientent la rédaction de documents sur les points qui sont les plus difficiles à faire passer chez les enseignants. Ils permettent en retour d'améliorer les documents ressources à proposer aux enseignants et aux formateurs.

Bibliographie

- ANDERSSON, B. & BACH, F. (1996). Developing New Teaching Sequences in Science : The Example of 'Gases and Their Properties'. In G. Welford, J. Osborne & P. Scott (Éds) *Research in Science Education in Europe*, p. 7-21, London : The Falmer Press.
- BULLETIN OFFICIEL DE L'ÉDUCATION NATIONALE (1999). Physique-Chimie, Classe de seconde, *Bulletin officiel*, n° 6 hors série du 12 août 1999, p. 7-23.
- BUTY, C. (2000). *Étude d'un apprentissage dans une séquence d'enseignement en optique géométrique à l'aide d'une modélisation informatique*. Thèse, Université Lyon II, UMR GRIC.
- CANAC, S. (2001). *Modèle particulière et propriétés thermoélastiques des gaz en seconde*. Mémoire de Tutorat (tuteur F. Chauvet), DEA de Didactique Université Paris 7, L.D.S.P.
- CHAUVET, F. et DOUAY, M.-B. (2001), *Difficultés des élèves de seconde à propos des gaz*. Rapport de recherche, IUFM Nord - Pas de Calais.
- CHOMAT, A., LARCHER, C., MÉHEUT, M. (1990). *Modèle particulière et démarches de modélisation*. LIREST-INRP.
- GROUPE TECHNIQUE DISCIPLINAIRE, (2000). Document d'accompagnement des programmes, Physique, classe de seconde. Paris : CNDP.
- MÉHEUT, M. (1996). Enseignement d'un modèle particulière cinétique de gaz au collège. Questionnement et simulation. *Didaskalia*, 8, 75- 96.
- RICHOUX, B., SALVETAT, C., BEAUFILS, D. (2002). Simulation numérique dans l'enseignement de la physique : enjeux, conditions, *BUP*, 842, Vol. 96, 497-521.
- REBMAN, G. (1998). *Investigation of actual use of informatic tools by science teachers : the French case*. STTIS National Report on W.P.1.2.
- ROZIER S. (1988). *Le raisonnement linéaire causal en thermodynamique classique élémentaire*. Thèse, Université Paris 7, L.D.P.E.S.

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 proposition de stratégies pédagogiques pour en faciliter l'évolution*. Thèse, Université Pierre et Marie Curie - Paris 6.

STTIS Consortium (1998). WP0 Outline and justification of research methodology. Hyperlink : <http://www.uab.es/sttis.htm>.

STTIS Report (WP5), COLIN P., CHAUVET F., HIRN C., REBMANN G. et VIENNOT L. (2001). *Formation des enseignants : des ressources pour la construction de séquences*. Hyperliens : <http://www.uab.es/sttis.htm> et http://www.ccr.jussieu.fr/ldsp/sttis_p5/index.htm.

VIENNOT, L. (2002). *Enseigner la physique*. Bruxelles : De Boeck.

VINCE, J. & TIBERGHEN, A. (2000). Simuler pour modéliser. Le cas du son. *Sciences et techniques éducatives*, 2, vol. 7, 333-366.

VOLLEBREGT, M.J. (1998). *A Problem Posing Approach to Teaching an Initial Particle Model*. Thèse, Centre for Science and Mathematics Education, Utrecht University.