

CONCEPCIÓN DE SECUENCIAS DE APRENDIZAJE: MODELOS PARTICULARES

Martine MEHEUT, LD PES, Université Denis Diderot, France.

Introducción

Hoy en día, es una necesidad enseñar las primeras nociones sobre la estructura atómica de la materia desde los primeros años de la enseñanza secundaria (o antes). Sin duda se puede unir este estado de hecho al creciente impacto en la vida cotidiana de la tecnología unida a estas teorías (electrónica, producción de energía nuclear, por ejemplo) y a la difusión por los medios de un vocabulario y de imágenes que les son inherentes.

En esta empresa, el carácter “concreto” de los modelos en juego no debe despreciar los aspectos teóricos que le son asociados. En efecto, algunas investigaciones levan a evaluar tales enseñanzas y trabajos de investigación (Dow & al., 1978; Novick & Nussbaum, 1978; Pfundt, 1981; Méheut, 1982; Brook & al., 1984) ponen en evidencia una serie de dificultades:

- refuta la existencia del vacío,
- denegación de la invarianza de los átomos, afectación a los átomos de las propiedades observables.

Estas dificultades pueden ser puestas en relación con ciertos tratos específicos del desarrollo histórico de los modelos de estructura de la materia. Así, aparece que el atomismo se desarrolló a partir de una convicción filosófica más que de observaciones empíricas, la de la inmutabilidad de la materia a través de sus transformaciones y de su unidad sobre la diversidad. A esta convicción está asociada una desconfianza a la consideración de testimonios de los sentidos, una afirmación del carácter escondido pero racional de la realidad (Kubbinga, 1983; Bensaude – Vincent & Kounelis, 1991; Pullman, 1995). La materia puede ser coloreada, fluida, maleable, compresible, combustible, etc. Los átomos no están dotados sino de una forma y de dimensiones invariables, de un movimiento permanente, estos sólo pueden toparse y agregarse.

“Los átomos no tienen ninguna cualidad fenomenológica fuera de la gravedad, la magnitud, de la forma (...). Puesto que toda cualidad cambia, los átomos, por el contrario, no experimentan ningún cambio(...)” o aún *“ellos no poseen nada cambiante de la naturaleza; tienen masa y formas propias, que son necesariamente permanentes.”* (Epicuro, citado por Bensaude-Vincent & Kounelis, 1991).

Es una dificultad aceptar tales “arbitrariedades” que parecen traducir ciertos “errores” encontrados por los investigadores en didáctica. No olvidemos a cuáles objeciones son contrarias estas posiciones asumidas, tanto en el comienzo del atomismo como en diferentes momentos de su desarrollo. Demos simplemente por eco esas proposiciones de Ostwald, en la víspera de la aceptación del atomismo por la comunidad científica internacional.

Por doquier se repite, a manera de axioma, que sólo la mecánica de los átomos puede dar la clave del mundo físico. Materia y movimiento, son los dos conceptos a los cuales se llevan en último análisis los fenómenos naturales más complejos (...). De ordinario, no se toma en cuenta a qué punto esta manera de ver, bien que es respaldada, es hipotética, toda metafísica.” O aún 2Entonces, diremos, si es necesario renunciar a los átomos, a la mecánica, ¿que imagen

de la realidad nos quedará entonces? Pero, no se tiene necesidad de ninguna imagen, de ningún símbolo. (...) Establecer las relaciones entre realidades, es decir entre magnitudes tangibles, medibles (...) he allí la tarea de la ciencia y esta no la ha hecho cuando se paga de una imagen más o menos hipotética.” (Ostwald, citado por Bensaude – Vincent & Kounelis, 1991)

Lo que aparece como una respuesta de Boltzmann, poniendo de antemano el carácter de instrumento del pensamiento del atomismo, justificado por demás a posteriori por sus potencialidades de descripción unificado y de previsión de la realidad que a priori, por un cierto carácter, privado de arbitrario o de hipótesis.

“y construir las imágenes destinadas a la representación de una serie de hechos de tal manera que permitan predecir el desarrollo de otros fenómenos parecidos, es ante todo el primer objetivo de toda ciencia exacta (...). Las imágenes podrán ser modificadas y completadas de tal manera que sean suficientes a la descripción de viejos y nuevos fenómenos. (...) Para terminar, no dudaría en sostener, con ciertas reservas sin embargo, que este es de la naturaleza representativa, igual de la imagen, de contener ciertos elementos arbitrarios y que en rigor inevitable de sobrepasar los hechos observados desde que uno se apresta a concluir sobre un solo hecho suplementario.” (Boltzman, citado por Bensaude – Vincent & Kounelis, 1991).

Las secuencias de enseñanza que se presentarán seguidamente, tiene el propósito de poner en juego los caracteres específicos de los modelos atomistas:

- Su carácter en principio más racional que empírico, de instrumento de pensamiento más que de realidad observable;
- Su carácter mecánico, haciendo fácil su “concretización”.

La perspectiva es la de un desarrollo de modelos como instrumentos de unificación y de previsión de fenómenos físicos, los modelos deben precisarse progresivamente, en relación con las interrogantes. Esta aproximación toma en cuenta el carácter conjetural, a priori, y no empírico de la inmutabilidad de la materia; ella difiere de los procesos en los cuales es esperado que los alumnos se apoyen en la observación de fenómenos para concluir acerca de la naturaleza particular de la materia (Nussbaum & Novick; Johnston, 1990).

Un modelo unificador en el dominio de las transformaciones físicas.

Caracterización del modelo

Campo de referencia y funciones del modelo

En una primera secuencia, las actividades propuestas a los alumnos consisten en interpretar transformaciones físicas de la materia (compresión de un gas, mezcla de gas por difusión, cambio de estado⁹ en términos de cambios de repartición de partículas inmutables, de forma y dimensiones invariables. Los modelos así elaborados son aún muy rudimentarios; permiten una interpretación unificada de la conservación de la materia entre los estados inicial y final de las transformaciones estudiadas. Son así puesta en práctica la disociación entre espacio y materia, la existencia del vacío y la inmutabilidad de las partículas. Esperábamos igualmente que los alumnos consideren un movimiento permanente y pluridireccional de partículas para explicar la mezcla por difusión de dos gases.

“concretización” del modelo

Los alumnos son guiados en esta actividad de interpretación por tareas de producción y de discusión de representaciones icónicas (pequeños diseños): Este modo de representación posee límites, por el hecho de su carácter estático; Deja, por el contrario, al alumno una gran libertad en el cambio de los significantes. Este hecho hace aparecer la diversidad de representaciones posibles y permite hacer surgir las variables del modelo pertinentes para la interpretación del fenómeno, por una discusión del carácter significativo o no de los diferentes aspectos de las representaciones producidas por los alumnos. Encontraremos en anexo algunos ejemplos de trabajos propuestos a los alumnos.

Conducción de la experiencia didáctica

Se ha experimentado esta secuencia durante dos años sucesivos, con alrededor de 300 alumnos (11 clases) de tercer año de la enseñanza secundaria francesa (clase de cuarto 13 – 14 años). Esta experimentación (6 sesiones de una hora y media) fue desarrollada en el horario “normal” de enseñanza de la física y en las clases efectivas “normales”. Las reuniones frecuentes con los colegas docentes participantes en la experimentación permitieron poner en punto con ellos, un protocolo preciso teniendo en cuenta las posibilidades de los alumnos y de las condiciones de funcionamiento de la institución escolar.

Los escritos o producciones de los alumnos fueron recolectados en todas las clases. En tres clases, las intervenciones del docente y las discusiones de varios grupos de alumnos fueron grabadas en audio. Después de la secuencia, evaluamos, a través de cuestionarios escritos, diferentes aspectos de la apropiación y de la utilización del modelo.

Algunos resultados

La invarianza de las partículas

Se decidió imponer esta invarianza de una manera forzada guiando la elaboración del modelo. Esta coacción es generalmente bien aceptada por los alumnos que reaccionan muy bien cuando es violentada.

En el curso de la secuencia, los alumnos representaron sustancias diferentes por partículas de formas diferentes. Las respuestas a los cuestionarios finales muestran que esta significación es establecida por la mayoría de los alumnos (alrededor 80%). Muestran igualmente que, después de esta secuencia, una poca proporción de alumnos (alrededor 10%) continúan proponiendo el aumento del volumen por efecto de la dilatación (fenómeno no estudiado en el curso de la secuencia) por un inflamamiento de las partículas, más de la mitad (alrededor 60%) la interpretan bien, como un aumento de la distancia entre partículas.

Disociación espacio – materia

Esta disociación se traduce por la existencia del vacío y la variabilidad de las distancias interparticulares; ella permite separar las magnitudes masa y volumen. Esta conclusión aparece en un gran número de alumnos en el momento de la interpretación de la compresión de una muestra de gas. Esta distinción interviene seguidamente en la explicación de la más o menos compresibilidad de los gases, líquidos, sólidos, así como de la miscibilidad de los gases y de los líquidos.

Parece sin embargo que ciertos alumnos hayan tenido cierta reticencia de considerar una extensión sin materia. En efecto, para modelizar un gas, representan partículas unidas por los bordes, sin espacio intersticial (4%), o partículas superpuestas en un fondo continuo (7%). Un poco más tarde, para modelizar un sólido, se apoyan en las propiedades de la

imcomprensibilidad, de cohesión, de no miscibilidad de los sólidos para refutar la existenciade tales espacios vacíos (15%).

A fin de evaluar en qué medida la secuencia permitió una mejor disociación de las magnitudes masa y volumen, pudimos comparar las respuestas (ver figura 1), antes y después de la secuencia, a preguntas relativas a fenómenos de dilatación 8fenómeno no estudiado en el curso de la secuencia). Estas hacen aparecer una neta progresión en la disociación de las magnitudes masa y volumen; después de la secuencia, un tercio de los alumnos utilizan unicamente una argumentación particular para justificar la conservación de la masa a pesar del aumento del volumen.

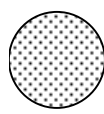
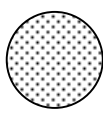
Se colocó agua en un recipiente de vidrio y se pesa; se obtiene 157 grs, cuando se calienta el recipiente con las manos, aumenta el nivel del agua. Se pesó el recipiente, ¿qué se obtuvo?

más de 157 grs plus de 157g
 menos de 157 grs moins de 157g
 157grs
 no se puede concluir

Antes 157g  Después? 

Se pesa una bola de cobre; se obtiene 342 grs. Luego se calienta y aparece más grande. Se pesó, ¿qué se obtuvo?

más de 342g
 menos de 342g
 342g
 No se puede concluir

Antes 342g  Después ? 

Explique su respuesta.....

Masa	Dilatación del agua		Dilatación del cobre	
	Antes (N=113)	Después (N=151)	Antes (N=113)	Después (N=164)
aumenta	19%	4%	28%	7%
disminuye	8%	1%	9%	1%
no varía	68%	93%	59%	91%
Sin respuesta	5%	2%	4%	1%

Figura 1: Un modelo unificado para las transformaciones físicas.

Conservación de la masa durante un proceso de dilatación; La evolución de las respuestas de los alumnos.

Agitación

Se esperaba que los alumnos consideraran un movimiento permanente y pluridireccional de las partículas para explicar la mezcla por fusión de dos gases. Sin embargo las respuestas han sido pocas (menos del 1%). Algunos (23%) evocaron una posibilidad de desplazamiento de partículas sin especificar las condiciones de realización de este movimiento.

Discusión

Los alumnos trabajaron en la modelización de transformaciones físicas en términos de partículas inmutables. Esta primera etapa de modelización explica solamente algunos aspectos de estas transformaciones. Sin embargo ella permitió a los alumnos de discutir los complementos necesarios a la conjetura inicial: existencia del vacío, variabilidad de las distancias, y de la repartición de partículas. Aparece claramente, a la vista de los datos recogidos (Chomat & al., 1988; Meheut & Chomat, 1990^a, 1990b) que los aspectos cinéticos, dinámicos y termodinámicos necesarios para modelizaciones más complejas deben ser objeto de aprendizajes más específicos.

Un modelo predictivo en el campo de las propiedades termoelásticas de los gases.

Caracterización del modelo

“concretización” del modelo

Con el objeto de utilizar el carácter de analogía mecánica de los modelos cinéticos, se utilizó un programa informático de simulación. Este programa genera imágenes de entidades desplazándose en un cuadro rectangular (ver figura 2).

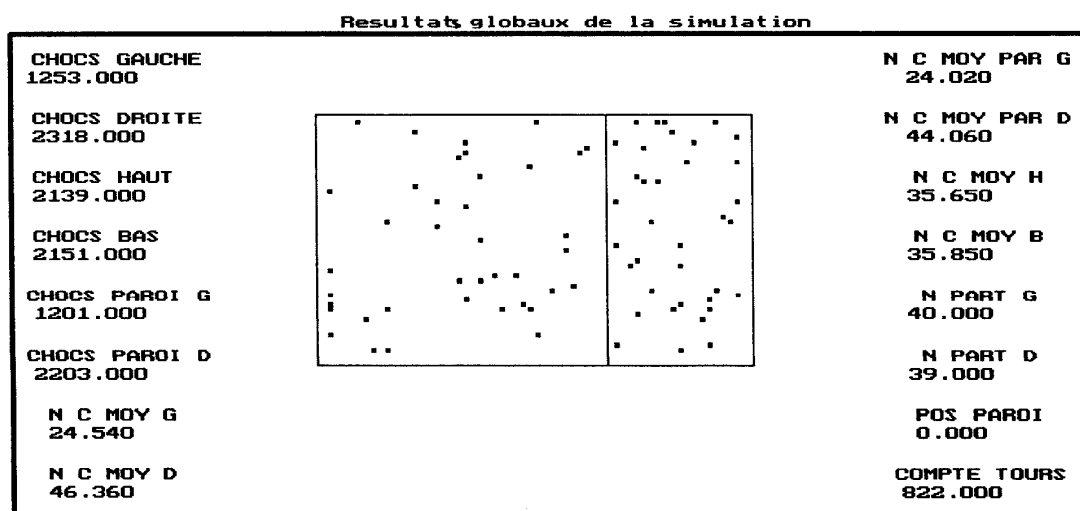


Figura 2 : un modelo predictivo para las propiedades termoelásticas de los gases.
"Concretización" del modelo, una copia de la pantalla.

Las reglas de desplazamiento de las entidades derivan de la teoría cinética de los gases, mediante el procedimiento de discretización de las variables (en particular posición y rapidez) (Chomat & al., 1990). El usuario puede seleccionar las dimensiones del cuadro; puede también dividirlo en dos partes por una línea y así poder escoger la posición. Si se desea, esta línea puede desplazarse en relación con los choques de las partículas. El usuario puede solicitar que se muestren los valores de los parámetros de la simulación en curso y los valores de diferentes variables:

Números de choques contra una pared (o por unidad de longitud de la pared), para una duración de simulación dada;

Cuando la pared es móvil, posición de la pared en un instante dado, posición media de la pared para una duración de simulación dada.

Campo de referencia y función del modelo

Los razonamientos esperados suponen el establecimiento de relaciones de covariación entre número de partículas, espacio ocupado, rapidez, frecuencia y “fuerza” de choques contra una pared. Los modelos elaborados de esta manera permiten interpretar y prever fenómenos considerando las propiedades termoelásticas de los gases e interpretar las relaciones de covarianza entre volumen, temperatura y presión de un gas.

La selección de los fenómenos para modelizar y las preguntas consideradas para poner al alumno en situación de tomar en consideración progresivamente las diferentes variables del modelo. Se tiene en cuenta en particular resultados de investigación relativos a la enseñanza de la noción de presión en el colegio (Séré, 1985) y las formas específicas del razonamiento lineal causal en termodinámica elemental (rozier & Viennot, 1990; ver igualmente el capítulo XXX de esta obra). Hemos deseado que, en el curso de esta secuencia, los modelos particulares adquieran un carácter predictivo. Es por esto que se ha investigado fenómenos donde la previsión le presenta problemas a los alumnos o a través de los cuales efectúan previsiones falsas. Esto condujo a hacer trabajar a los alumnos en una primera parte en la interpretación de fenómenos donde no interviene la temperatura (ni diferencias, ni variaciones de temperatura). Las características del modelo considerado son las dimensiones del cuadro, el número de entidades y la frecuencia de los choques de estas entidades contra una pared. Los fenómenos interpretados en una segunda parte hacen intervenir las diferencias de temperatura, rapidez de las entidades y “fuerza” de los choques deben ser tomados en consideración.

Se utilizó un dispositivo experimental simple (ver figura 3) para facilitar la puesta en correspondencia entre los elementos de este dispositivo y los elementos de la imagen animada (cuadro, línea de separación, entidades móviles). Este dispositivo comprende dos jeringas (llenas de aire) unidas por un tubo flexible en el cual se puede desplazar una gota de agua coloreada. Una pinza permite “cerrar” este tubo; los pistones de las jeringas pueden ser bloqueados. Las manipulaciones consisten en establecer una diferencia de presión entre los dos sistemas gaseosos (estando la pinza cerrada) y dejar evolucionar el sistema después de haber quitado la pinza. La diferencia de presión es establecida, por desplazamiento de uno de los pistones (situación de compresión), o por calentamiento del aire contenido en una de las jeringas (situación de calentamiento).

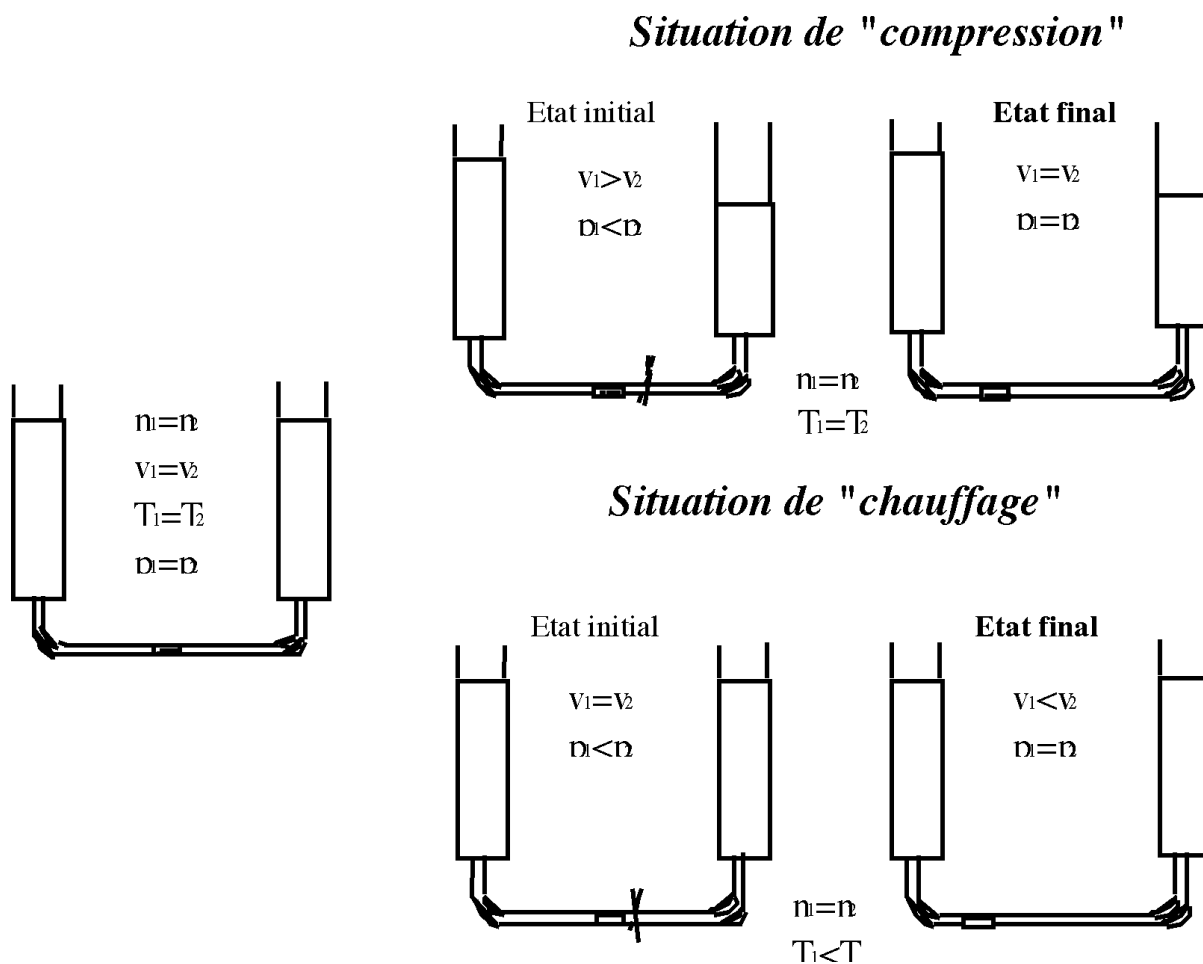


Figura 3: Dispositivos y situaciones experimentales

Para cada situación, el cuestionamiento contiene una primera fase de previsión, después una de observación y de explicación de los fenómenos, sin referencia al modelo, las preguntas referentes al desplazamiento, y la inmovilización de la pared:

1. ¿Qué sucederá si se quita la pinza?
2. ¿Se podrá desplazar la gota?
3. ¿Porqué se movió la gota?
4. ¿cómo explicar que ella se detiene? (¿donde se detiene? ¿bajo qué condiciones?)

- Seguidamente se le solicitó a los alumnos discutir la pertinencia de una simulación que le fue propuesta.

1.- La animación presentada es conveniente para representar la situación antes que se retire la pinza?

Sí No No sé

Si usted respondió sí, explique porqué esto es conveniente

Si respondió no, diga lo que sería necesario modificar, explicando porqué

sí no no sé

Si usted respondió sí, explique porqué esto es conveniente

Si respondió no, diga lo que será necesario modificar y explique porqué.

2. *¿La animación es conveniente para representar la situación justo después de detenerse la gota?*

Habiendo obtenido una simulación pertinente, se le solicita a los alumnos proponer, apoyándose en esta simulación, una explicación del desplazamiento, después de la detención de la pared.

1. *¿Después de la animación propuesta, porqué se va a mover la línea de separación (que representa la gota)?*
2. *Cómo explica que se detiene? O se detiene? Bajo qué condiciones?*

Las posibilidades de mostrar numerosos choques y simulaciones con la pared móvil puede ser utilizada seguidamente por los enseñantes para ayudar a los alumnos a desarrollar los razonamientos propuestos.

Conducción de la experimentación didáctica

La experimentación conduce a suministrar información sobre factibilidad y eficacia del proceso de aprendizaje propuesto. Constituye igualmente una prueba de las hipótesis subyacentes a la elaboración de esta secuencia (ver más abajo). Esta experimentación se llevó a cabo en varias etapas.

La primera etapa se desarrolló en cinco (5) entrevistas donde intervenían un investigador y dos alumnos. Estas entrevistas, efectuadas en dos sesiones de alrededor de tres cuartos de hora cada una, fueron grabadas en formato audio y luego transcritas.

La segunda etapa consistió en la aplicación de la secuencia a diez y seis (16) clases de quinto (segundo año de la enseñanza secundaria). Esta secuencia se llevó a cabo en seis sesiones de una hora y media cada una. Los datos fueron recogidos en forma escrita. Para cada alumno fueron dispuestos un juego de nueve hojas de trabajo correspondiente a diferentes momentos del cuestionamiento. Fueron analizadas las producciones de diez alumnos por clase, seleccionados al azar (total 160 alumnos)

En una tercera etapa, dos años después de la aplicación de esta secuencia, se recogió información complementaria en dos direcciones. Se trataba de confirmar y de precisar resultados que se habían obtenido en el desarrollo de la secuencia de enseñanza, por otra parte de evaluar el impacto a largo plazo de este proceso de aprendizaje.

Resultados y discusión

El análisis de los datos recogidos durante las entrevistas permitió seguir con la toma en consideración progresiva de las diferentes variables del modelo en relación con los fenómenos modelizados y las preguntas propuestas (Chomat & al., 1990; Méheut & al., 1994).

- a propósito de la *compresión*, los alumnos en principio se preocuparon en traducir los efectos (variación o diferencia) de la densidad del aire, citemos por ejemplo:

Jonathan y Stanislas

J: Me gustaría reducir la talla del rectángulo

S: y aproximadamente cortarlo en dos.

S: con las pequeñas partículas que sean más cerradas que otras

J: aquella de la derecha más estrecha que la de la izquierda y el mismo número de partículas en las dos partes.

Para explicar el desplazamiento del índice, algunos de ellos hacen intervenir los choques de las partículas sobre el borde del recipiente y explican el desplazamiento y la detención de la gota efectuando comparaciones de *frecuencias* de choques de una parte y otra de la gota.

Olivier y Pascal

- desplazamiento

P: y sobre la imagen, ¿como se traduce eso de que el aire empuja?

O: El aire, ese rebota un poco, los pequeños puntos rebotan de la pared, aquí más puesto que tienen menos espacio, entonces estos golpean más sobre los lugares, sobre los muros.....

P: Digamos, como estos tiene menos espacio, rebotan más sobre todas las paredes y como van a la misma rapidez, llegan mas a la pared.

- detente

O: ellos van a golpear de esa manera porque tendrán tanto espacio.

Desarrollar este tipo de razonamiento por todos los alumnos no es inmediato. Es necesario a veces repetir las preguntas de la entrevista y utilizar una simulación con pared móvil.

- a propósito del *calentamiento*, todos los alumnos llegan a una interpretación del aumento de la *temperatura* por efecto del incremento de la *rapidez*. Esta relación entre *temperatura* y *rapidez* fue propuesta por algunos alumnos mucho antes que el entrevistador le solicitara de trabajar en la simulación (ver por ejemplo *Olivier y Pascal*). Esta fue aceptada más difícilmente por los otros que, antes de formularla, o de retomarla cuando fue propuesta por sus compañeros, exploran otras posibilidades: partículas que engruesan, se multiplican, fuerzas de repulsión entre partículas (Méheut y al., 1994).

Olivier y Pascal

Parece en principio presentan algunas dificultades para prever lo que va a pasar.

Pascal se apoya seguidamente en la idea de dilatación y efectúa una previsión correcta.

P: El aire se va a dilatar y después cuando uno va a abrir, este va a empujar; va a empujar la gota que la.....

Después de haber observado el fenómeno, pasa de esta idea a la de una aceleración de las partículas.

P: el aire era más.... Las partículas estaban más separadas en un espacio muy restringido, ellas golpeaban mucho más rápido.

...P: qué, ellas golpean mucho más rápido. No es que ellas estén más espaciadas pero..... ellas entrechocan mucho más rápido, se mueven mucho más rápido.

...P: calentándolas, se acelera el movimiento de partículas.

Olivier hasta ese momento se había expresado poco. Comentando la representación icónica que realizó, desarrolla la idea de que las partículas se agrandaron.

O: hay igual cantidad de partículas en las dos jeringas y ellas golpean de igual manera, ellas golpean las dos por igual sobre la misma pared, sin embargo la pared permanece estable y segunda situación, las partículas agrandecen cuando golpean sobre la pared, eso hace un choque más grande que cuando las pequeñas partículas golpean en la pared.

Pascal interviene entonces para recordar la hipótesis de inmutabilidad de las partículas. Olivier se adhiere entonces a la opinión de pascal.

Sa cuestión de la traducción de un aumento de temperatura es propuesta de nuevo en el momento de utilizar el programa informático.

P: Es necesario intentar calentar, ok

P: es necesario intentar de crear de nuevo cuando caliente.

O: en el ordenador, ¿se podrá hacer esto cuando uno calienta.?

El entrevistador le hace de nuevo la pregunta.

E: ¿Cómo se podría hacer eso?

P: Si lo que yo digo es justo, es necesario acelerar el movimiento de las partículas en aquella...

Pascal solicita entonces utilizar una simulación con pared móvil para comprobar su hipótesis.

La explotación de esta relación temperatura – rapidez fue más o menos profundizada en los diferentes grupos de alumnos. Algunos establecieron una relación entre *rapidez* de las partículas y la *frecuencia* de los choques, pero no hicieron intervenir la fuerza de los choques, el equilibrio corresponde para ellos a la igualdad de las *frecuencias* de los choques de una parte y la otra de la pared. Otros llegaron a desarrollar razonamientos poniendo en juego *frecuencia* y *fuerza* de los choques.

Jean Michel et Florence

JM : ..Les chocs sont plus violents parce que les molécules vont plus vite...

I : Et alors, la paroi, à ton avis, devrait s'arrêter quand?

F : Quand les molécules bleues vont toucher le même nombre de fois la paroi.

JM : Par exemple, si un choc de molécule bleue vaut 10 et qu'il y a 10 chocs et que un choc de molécule noire vaut 5, il faudrait 20 chocs de molécules noires pour 10 chocs de molécules bleues ; et la paroi s'arrêtera.

Jean Michel y Florence

JM : ...Los choques son más violentos porque las moléculas van más rápido...

I: ¿y entonces, la pared, en tu opinión, cuando debería detenerse?

F: Cuando las moléculas azules toquen el mismo número de veces la pared

JM: Por ejemplo, si un choque de molécula azul vale 10 y hay 10 choques y si un choque de moléculas negras vale 5, será necesario 20 choques de moléculas negras para 10 choques de moléculas azules; y la pared se detendrá.

Jonathan y Stanislas

J: Como a la derecha va más rápido, la fuerza de choque, si se puede llamar así, como es más grande que la de la izquierda. Pero, como la de la izquierda golpea más veces la pared, los dos se compensan.

Los datos recogidos en el curso de la secuencia dan indicaciones de la efectividad a corto y a largo plazo de esta secuencia de enseñanza.

Así por ejemplo, las preguntas propuestas al final de la secuencia permitieron probar en que medida los alumnos utilizan el modelo para prever los fenómenos vecinos de los simulados en el curso de la secuencia y el nivel de estructuración del modelo que ponen en práctica (variable utilizadas y relación entre ellas). Parece que más de la mitad de los alumnos utilizan un modelo particular para arumentar las previsiones solicitadas, alrededor de un tercio razonan usando la frecuencia de los choques, una menor proporción hacen intervenir fuerza y frecuencia de los choques. Las previsiones efectuadas por los alumnos son mayoritariamente correctas (más de 80%)

Las preguntas propuestas dos años después muestran que los alumnos que siguieron esta secuencia utilizan un modelo particular en una más larga proporción que los otros.

L'analyse des données recueillies au cours de la séquence nous a permis également de discuter les hypothèses sous jacentes aux choix de phénomènes et de questions structurant cette séquence.

En la selección de las preguntas, se hizo la hipótesis que los alumnos tomarían más fácilmente en consideración las acciones ejercidas por dos subsistemas para interpretar el establecimiento de un equilibrio mecánico que para interpretar un desplazamiento. Los datos recogidos en el curso de la secuencia corroboran esta primera hipótesis (tabla 1)

Situación	Explicación	compresión N= 145		calentamiento N= 160	
		Desplaz..	detener	Desplaz..	detener
Toma en consideración					
Una sola cantidad de gas		96 %	69 %	88 %	56 %
Las dos cantidades de gas		4 %	28 %	10 %	37 %
Sin respuesta		0 %	3 %	2 %	7 %

Table 1 : Prueba de la hipótesis H1

Dans le choix des phénomènes, nous avons fait l'hypothèse que les propriétés thermoélastiques des gaz, faisant intervenir des différences ou des variations de température, seraient plus problématiques pour les élèves que des propriétés élastiques ne faisant pas intervenir la température. Les résultats obtenus corroborent cette deuxième hypothèse (table 2).

En la selección de los fenómenos, hicimos la hipótesis que las propiedades termoelásticas de los gases, hacen intervenir diferencias o variaciones de temperatura, serían más problemáticos para los alumnos que las propiedades elásticas no haciendo intervenir la temperatura. Los resultados obtenidos corroboran esta segunda hipótesis (tabla 2)

Predicción	Situación	compresión N= 79	expansión N= 77	calentamiento N= 79	enfriamiento N= 77
Desplazamiento correcto	sentido	77%	53%	22%	21%
Sin desplazamiento		11%	12%	39%	40%
Desplazamiento incorrecto	sentido	11%	31%	22%	25%
Sin respuesta		0 %	4%	17%	14%

Table 2 : Test de l'hypothèse H₂

Cette hypothèse constituait un préliminaire pour une troisième hypothèse, à savoir que le modèle paraîtrait plus utile aux élèves pour des propriétés thermoélastiques, et donc qu'ils l'utiliseraient davantage que pour des propriétés élastiques. Les données recueillies au cours et après la séquence ne font pas apparaître un tel effet. Nous considérons donc que les choix de phénomènes et de questions structurant cette séquence devront être affinés si l'on veut qu'un modèle cinétique apparaisse à une grande majorité des élèves comme un outil cognitif plus efficace que d'autres et qu'ils l'utilisent préférentiellement à d'autres formes d'explication. Il nous semble utile, dans cette perspective, de garder présente à l'esprit l'importance, dans le long cheminement qui a conduit à l'acceptation des modèles atomistes par la communauté scientifique, de leur rôle unificateur de divers champs phénoménologiques. Faire jouer un tel type d'utilité et d'efficacité suppose une planification à plus long terme.

Esta hipótesis constituía una preliminar para una tercera hipótesis, que el modelo pareciera más útil a los alumnos para propiedades termoelásticas y lo utilizarían más que para las propiedades elásticas. Los datos recogidos durante y después de la secuencia no hacen aparecer un tal efecto. Consideramos que la selección de los fenómenos y de las preguntas que componen la secuencia deben ser afinadas si se quiere que un modelo cinético aparezca en una gran mayoría de alumnos como una herramienta cognitiva más eficaz que otros que utilizarían como otra forma de explicación. Pareciera útil, dentro de esta perspectiva, de guardar en el espíritu la importancia, en el largo camino que ha conducido a la aceptación de los modelos atomistas por la comunidad científica, de su rol unificador de diversos campos fenomenológicos. Hacer jugar un tal tipo de utilidad y eficacia supone una planificación a más largo término.

Conclusion

La conception de ces séquences tient compte des difficultés d'apprentissage repérées dans ce domaine et de caractères spécifiques des modèles atomistes. Pour chaque séquence, le choix des phénomènes, la formulation des questions, les contenus "théoriques" des modèles visés ont été fortement articulés. Les expérimentations réalisées ont permis de tester les hypothèses

sous-jacentes à l'élaboration de ces "structures didactiques" (Lijnse, 1994) . Elles donnent des indications précises sur l'efficacité des processus d'apprentissage visés et mettent en évidence les points faibles de ces structures par rapport à nos attentes, ouvrant ainsi des perspectives pour leur ajustement.

Conclusion

La conception de estas secuencias toma en cuenta las dificultades de aprendizaje señaladas en el dominio y de caracteres específicos de modelos atomistas. Para cada secuencia, la selección de los fenómenos, la formulación de las preguntas, los contenidos "teóricos" de los modelos propuestos fueron cuidadosamente articulados. Las experimentaciones realizadas permitieron probar las hipótesis subyacentes en la elaboración de estas "estructuras didácticas" (Lijnse, 1994). Ellas dan las indicaciones precisas acerca de la eficacia de los procesos de aprendizaje propuestos y poniendo en evidencia los puntos pobres de esas estructuras en relación a lo que se esperaba, actuando así para mejores perspectivas que logre su ajuste correcto.

Referencias

Bensaude - Vincent, B., & Kounelis, C. (1991). *Les atomes. Une anthologie historique*. Paris : Presses Pocket.

Brooks, A., Briggs, H., & Driver, R. (1984). *Aspects of secondary students' understanding of the particulate nature of matter*. The University of Leeds.

Chomat, A., Larcher, C., & Méheut, M. (1988). Modèle particulière et activités de modélisation en classe de quatrième. *Aster*,9, 143-184..

Chomat, A., Larcher, C., & Méheut, M. (1990). *Modèle particulière et démarches de modélisation*. Paris : LIREST.

Dow, W.M., Auld J. & Wilson, D.J. (1978). *Pupils' concepts of gases, liquids, solids*. Dundee : College of Education.

Johnston, K. (1990). Students' responses to an active learning approach to teaching the particulate theory of matter. In P.L.Lijnse et al. (Eds.), *Relating macroscopic phenomena to microscopic particles*. (pp. 247-265).Utrecht : CDB Press.

Kubbinga, H. (1983). *Le développement historique du concept de "molécule " dans les sciences de la nature jusqu'à la fin du 18ème siècle*. Thèse de troisième cycle. Paris : EHESS.

Lijnse, P.L. (1994). La recherche-développement : une voie vers une "structure didactique" de la physique empiriquement fondée. *Didaskalia*, 3, 93-108.

Méheut, M. (1982). *Combustions et réaction chimique dans un enseignement destiné à des élèves de sixième*. Thèse de troisième cycle. Université Paris 7.

Méheut, M., & Chomat, A. (1990a). The bounds of children atomism; an attempt to make children build up a particulate model of matter. In P.L.Lijnse et al. (Eds.), *Relating macroscopic phenomena to microscopic particles*. (pp. 266-282).Utrecht : CDB Press.

Méheut, M., & Chomat, A. (1990b). Les limites de l'atomisme enfantin ; expérimentation d'une démarche d'élaboration d'un modèle particulière par des élèves de collège. *European journal of psychology of education*, 5,4,417-437.

Méheut, M., Chomat, A., & Larcher, C. (1994). Construction d'un modèle cinétique de gaz par des élèves de collège : jeux de questionnement et de simulation. In M. Caillot (Ed.), *Actes du quatrième séminaire national de la recherche en didactique des sciences physiques*. (pp. 53-71). Amiens : IUFM de Picardie.

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

Nussbaum, J., & Novick, S. (1982). Alternative frameworks, conceptual conflict and accomodation: toward a principaled teaching strategy. *Instructional Science*, 11, 183-200.

Pfundt, H. (1981). The final link in the division process or the first building block? Pre-instructional conceptions about the structure of substances. *Chimica didactica*, 7, 75-94.

Pullman, B. (1995). *L'atome dans l'histoire de la pensée humaine*. Paris : Fayard.

Rozier, S., & Viennot, L. (1990). Students reasoning in thermodynamics. In P.L.Lijnse et al. (Eds), *Relating macroscopic phenomena to microscopic particles* (pp. 36-49). Utrecht : CDB Press.

Séré, M. G. (1985) *Analyse des conceptions de l'état gazeux qu'ont les enfants de 11 à 13 ans, en liaison avec la notion de pression, et propositions de stratégies pédagogiques pour en faciliter l'évolution*. Thèse d'état. Université Paris 6.