

Modèles et modélisation dans l'enseignement des Sciences Physiques et Chimiques

Quelques enquêtes exploratoires...

Jacques VINCE
Lycée Ampère, Lyon
INRP, UMR ICAR

En guise d'introduction

Le point de vue de l'institution sur l'enseignement des sciences au lycée

« *La logique pédagogique que sous-tendent ces nouvelles approches est que le développement des sciences se fait par un va-et-vient entre l'observation et l'expérience d'un côté, la conceptualisation et la modélisation de l'autre [...].*

L'exercice de modélisation du réel est sans doute la démarche la plus importante et aussi la plus difficile dans la démarche scientifique. Passer du concret à l'abstrait, de l'observation à sa traduction formalisée demande que l'on soit capable d'extraire du monde réel une représentation simplifiée, le degré de simplification dépendant du niveau où l'on se situe. [...] Le professeur doit s'efforcer sur des exemples simples de montrer comment se fait la modélisation, ceci dans toutes les sciences. »

(BOEN hors série n°2 du 30 août 2001, annexe sur l'enseignement des sciences au lycée)

La modélisation dans les programmes de physique-chimie

En 2nde

- "...insister sur le fait que la pratique expérimentale dans l'enseignement ne favorise la formation de l'esprit scientifique que si elle est accompagnée d'une **pratique du questionnement et de la modélisation.**"
- "Contrairement aux mathématiques, où les objets sur lesquels on raisonne sont toujours simples et facilement identifiables par les élèves -droites, cercles, sphères, cylindres, nombres, etc...- **cette activité de modélisation, difficile quel que soit le niveau considéré**, est au coeur des sciences expérimentales." Sa maîtrise est une "**difficulté** qu'il s'agit de traiter en tant que telle"
- Au sujet de la constitution de la matière, "L'enseignant sensibilise l'élève à la notion de modèle et à ses limites".
- Des exemples : pendule simple, modèle du gaz parfait, réaction comme modèle de la transformation chimique

Compétence mise en jeu en TP :

Déterminer le domaine de validité d'un modèle

La modélisation dans les programmes de physique-chimie

En 1S et TS

- "La *modélisation* du système étudié, par le choix des variables pertinentes, procède de cette reconstruction du réel par la pensée. Cette modélisation précède toujours une mise en équation éventuelle, et elle s'appuie sur une description de la situation physique à l'aide de la *langue naturelle*. (1S)
- Ainsi, au cours de leur dernière année de lycée, les élèves ont pour la première fois la possibilité de toucher du doigt le double mouvement de l'activité scientifique dans le domaine de la physique : confronter les prédictions d'un modèle théorique à des résultats expérimentaux, utiliser des résultats expérimentaux pour affiner un modèle théorique (TS)
- **Compétences expérimentales**
 - Analyser des résultats expérimentaux, les confronter à des résultats théoriques (ou aux prévisions d'un modèle en TS...)
 - Déterminer le domaine de validité d'un modèle (1S)
- **Compétences scientifiques**
 - Identifier les paramètres jouant un rôle dans un phénomène physique ou chimique
 - Associer un modèle à un phénomène
 - Analyser, en termes scientifiques, une situation, une expérience, un document
 - Construire une courbe à partir d'un ensemble de mesures et l'exploiter

Un observation à débattre...

La pratique effective en physique-chimie :

- fait appel au terme *modèle* le plus souvent dans des cas canoniques bien repérés dans le savoir de référence (modèle des gaz parfaits, modèle de Lewis, modèle de l'atome...)
- fait référence à la *modélisation* lorsqu'il s'agit de trouver ou d'utiliser un modèle *numérique* mais rend peu explicite l'activité de modélisation comme aide à l'apprentissage.
- n'évite pas la polysémie du terme (modèle moléculaire, modèle comme situation à recopier...)

Approche épistémologique

Quelques points de vue sur la notion de modèle

Activité de modélisation comme tâche centrale du physicien...

Suzanne Bachelard (1979) : « *Loin de fonctionner comme copie, le modèle fonctionne comme opérateur sélectif.* » ; [...] "**Il représente non pas l'ensemble des propriétés du réel, mais *seulement certaines des propriétés***[...] ; « *le modèle n'est jamais pris en soi. Il est toujours **relationnel*** »

Mario Bunge (1979, 1983) : *Activité de modélisation* comme « *recherche de mise en relation permanente* » entre données expérimentales et constructions théoriques.

...mais que nous perdons de vue et qui est difficile

Einstein : « *les concepts qui apparaissent dans notre pensée et notre discours sont tous – du point de vue logique – de libres créations de la pensée qu'on ne peut tirer inductivement des expériences sensorielles.*

Si cela ne se remarque pas facilement, c'est seulement parce que nous avons l'habitude d'associer si étroitement certains concepts ou chaînes de concepts (énoncés) à certaines expériences des sens que nous ne sommes plus conscients de l'abîme – logiquement infranchissable – qui sépare le monde des expériences sensorielles du monde des concepts et des énoncés. »

Le point de vue des élèves sur le fonctionnement des sciences

Repères bibliographiques

Points de vues d'élèves sur les sciences :

Les élèves pré-universitaires adoptent un certain réalisme naïf (la science décrit exactement la réalité) au sujet de la nature et du fonctionnement de la science (*Larochelle et Desautels, 1989 ; C. Carey et al., 1989 ; Aikenhead et Ryan, 1992*)

Points de vues d'élèves sur les modèles :

Deux niveaux de compréhension sur les modèles

1^{er} niv. : les modèles sont des objets matériels construits pour copier la réalité

2^{ème} niv. : idem mais les fonctions et objectifs des modèles sont identifiées + réf au domaine de validité

Pas de référence au rôle du scientifique dans le choix sélectif des données prises en compte.

*Grosslight, Unger, Jay et Smith (1991)
Vasquez et Manassero (1999)*

Propositions de chercheurs en didactiques

La mise en œuvre d'une démarche de modélisation est possible mais demande de la part des enseignants et des concepteurs de séquences

- une analyse approfondie du savoir enseigné
- des démarches d'apprentissage des élèves.

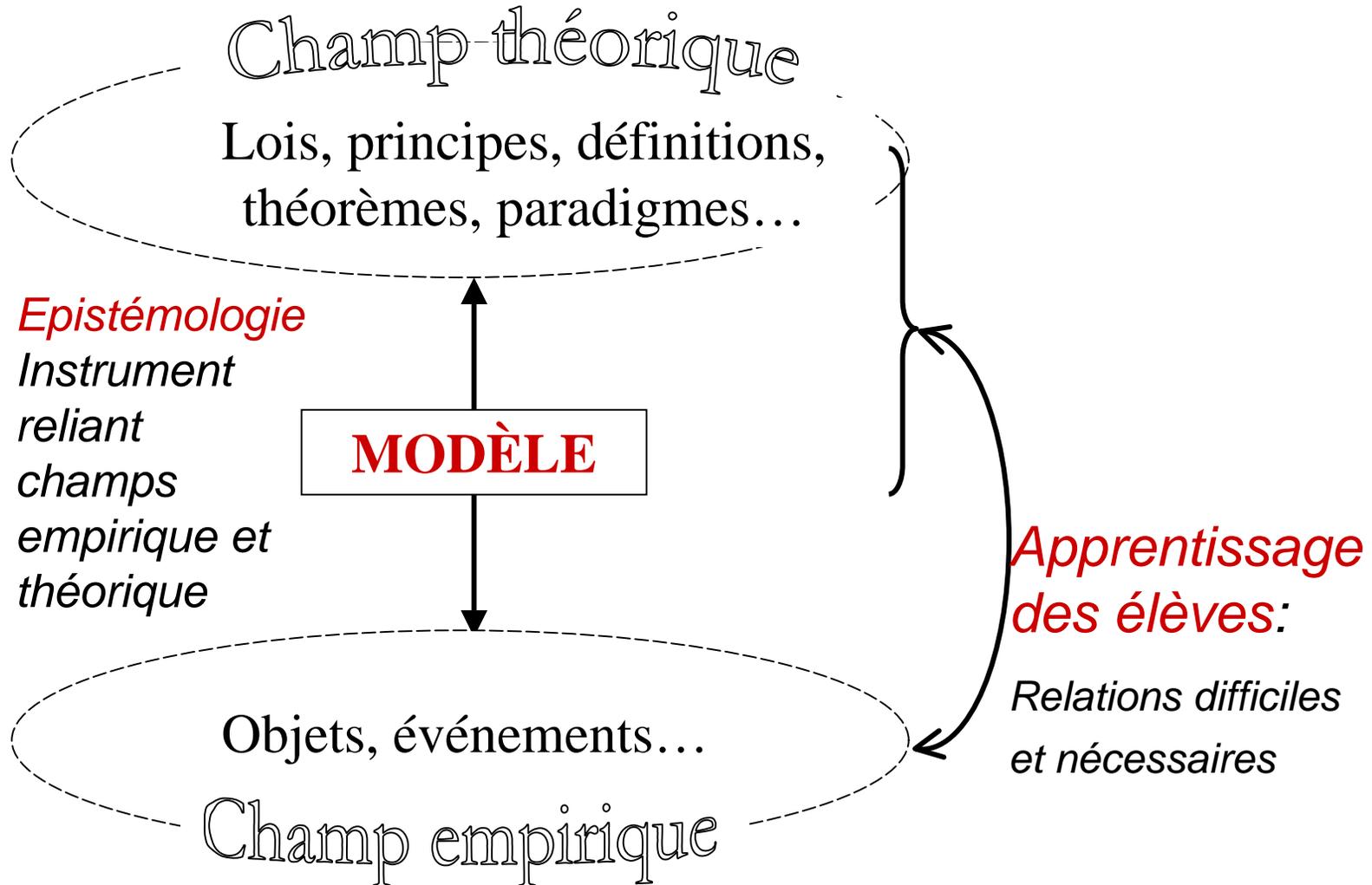
Martinand et al. (1992)

Chomat, Méheut et Larcher (1988, 1992)

Lemeignan et Well-Barais (1992)

Tiberghien (1996), Bécu-Robinault (1997), Guillaud (1998), Vince (2000) et Buty (2000)

Vers une épistémologie "scolaire"...



Contexte des investigations menées

Travaux du groupe *SESAMES*

- *Expliciter* l'activité de modélisation pour enseigner la physique de façon moins déroutante
- distinguer les objets et événements des théories et modèles pour expliciter les liens à établir
- distinguer les connaissances de physique des connaissances quotidiennes pour expliciter les liens à établir
- porter une attention toute particulière au vocabulaire utilisé

(Gaidioz & Tiberghien, 2003 ; Gaidioz, Vince & Tiberghien, 2004)

Rôle central des modèles et démarches de modélisation, tendant à expliciter le fonctionnement de la physique et de la chimie

*Les élèves sont-ils prêts ?
Et les enseignants ?*

Quelques questions

Les élèves entrant au lycée ont-ils un point de vue identifiable et cohérent sur la nature et les propriétés des modèles en physique ? Si oui, quels en sont les traits caractéristiques ?

Quelles perspectives peut-on en dégager pour développer des éléments d'enseignement sur les modèles et la démarche de modélisation ?

Outils d'investigation

Exemples...

A- Un questionnaire papier-crayon (L. Toix)

Echantillon de l'expérimentation

- Un peu plus de 200 élèves
(7 classes de 2^{nde} générale dans 6 lycées différents)
- pas de sélection précise (groupe d'élèves homogène), une classe suit strictement la progression proposée par Sesames

Echantillon de l'expérimentation

- trente-quatre élèves d'une même 2^{nde}

S

Production des élèves

- réponse par écrit aux questions posées
- enregistrement vidéo de certains binômes
- pour les enseignants

.....

D- Une séquence d'enseignement testée depuis 2 ans

Quelques résultats et analyses

Résultats et analyses

Au sujet des modèles (travail de L. Toix)

Question C : les propriétés des modèles

N = 216

Affirmation A	%	%	%	%	Affirmation B		
Un scientifique doit veiller à ce que le modèle qu'il construit tienne compte de toutes les caractéristiques du phénomène qu'il étudie.	56	27	12	05	Pour construire un modèle, un scientifique choisit de ne prendre en considération que certaines caractéristiques du phénomène qu'il étudie.		
56%					27%	12%	5%

Affirmation A	%	%	%	%	Affirmation B	
Les modèles sont des concepts abstraits .	16	26	31	27	Les modèles sont des objets concrets .	
16%		26%		31%		27%

1.
*Lien
champ
emp. et th.*

2.
*Nature des
modèles*

Résultats et analyses

Au sujet des modèles (travail de L. Toix)

Question C : les propriétés des modèles

N = 216

Affirmation A	%	%	%	%	Affirmation B	
Un phénomène peut être décrit par plusieurs modèles.	41	31	22	6	Un phénomène ne peut-être décrit que par un unique modèle.	
41%		31%			22%	6%

Affirmation A	%	%	%	%	Affirmation B
Un modèle est figé, il ne peut pas évoluer dans le temps.	03	09	52	36	Un modèle peut être modifié, il est susceptible d'évoluer dans le temps.
9%	52%			36%	

3.
Diversité

4.
Evolution

Résultats et analyses

Au sujet des modèles (travail de L. Toix)

Question C : les propriétés des modèles

N = 216

Affirmation A	%	%	%	%	Affirmation B
Un modèle ne peut jamais être utilisé pour faire des prévisions sur un objet ou un événement.	05	23	53	19	Un modèle peut toujours être utilisé pour faire des prévisions sur un objet ou un événement.
	5%	23%	53%		19%

5.
Fonction prédictive

Affirmation A	%	%	%	%	Affirmation B
Il faut qu' un ensemble de scientifiques soient d'accord pour décider qu'un modèle est valable.	54	35	06	05	Un seul individu peut décider qu'un modèle est valable.
	54%		35%	6%	5%

6.
Accréditation

Bilan

Bilan

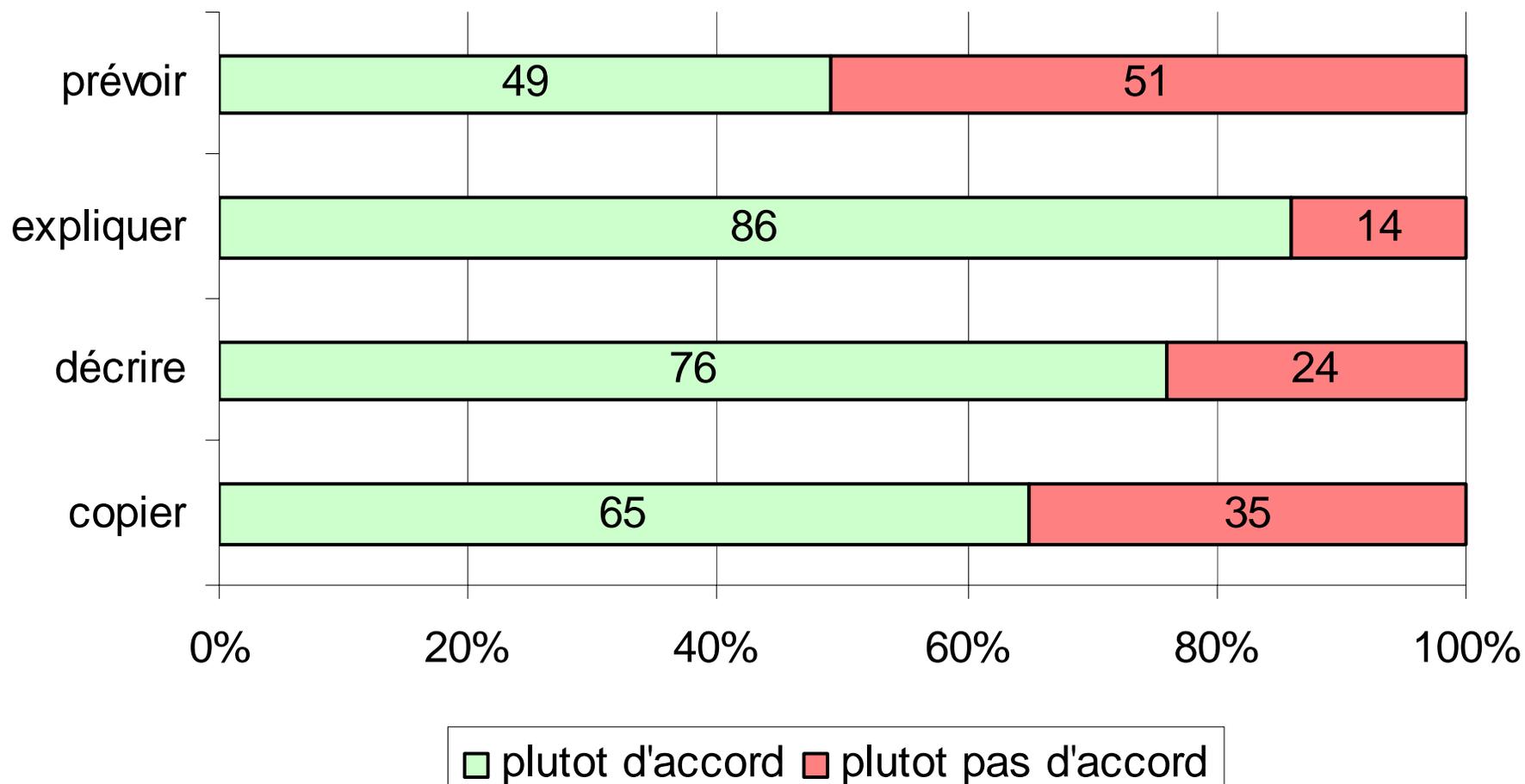
Un phénomène peut être décrit par plusieurs modèles.	✓
Un modèle peut être modifié, il est susceptible d'évoluer dans le temps.	✓
Il faut qu'un ensemble de scientifiques soient d'accord pour décider qu'un modèle est valable.	✓
Un modèle peut être utilisé pour faire des prédictions sur un objet ou un événement.	✓
Un modèle ne doit pas nécessairement prendre en compte toutes les caractéristiques du phénomène étudié.	✗
Les modèles sont des concepts abstraits.	✗

Résultats et analyses

Au sujet des fonction des modèles (travail de L. Toix)

Question D : les fonctions des modèles

N = 216



Résultats et analyses

Quelques similitudes entre les points de vue des élèves et l'approche épistémologique d'experts

Propriété des modèles	Résultats du questionnaire (outil A) n=216	Éléments des réponses d'élèves aux activités de classe (outil B)
Il est possible d'étudier une situation donnée par le biais de plusieurs modèles	72%	<p><i>« Il est possible que des physiciens différents proposent des modèles différents pour répondre à une même question, ils peuvent voir les choses de façon différente »</i></p> <p><i>« Une même situation peut être vu avec des angles différentes et avec des modèles différentes »</i></p>
L'accréditation d'un modèle relève de la communauté scientifique et pas d'un individu isolé	89%	<p><i>« Il faut que plusieurs scientifiques soient d'accord pour dire qu'un modèle est vrai »</i></p> <p><i>« Un bon modèle est accepté quand il peut être utilisé par plusieurs physiciens »</i></p>

Résultats et analyses

Quelques similitudes entre les points de vue des élèves et l'approche épistémologique d'experts

Propriété des modèles		Résultats du questionnaire (outil A) N=216	Éléments des réponses d'élèves aux activités de classe (outil B)
Les modèles ont des fonctions diverses	décrire	76%	<i>« un modèle sert à avoir une représentation des choses »</i>
	expliquer	86%	<i>« un modèle c'est pour pouvoir mieux comprendre ce qui se passe, il permet d'expliquer »</i>
	prévoir	49%	<i>« un modèle est construit pour avoir plus de facilité, pour simplifier quelque chose »</i>

Résultats et analyses

Définitions d'un modèle

Indiquer les 3 définitions avec lesquelles vous êtes le plus d'accord

Elèves : N=314	% Rang 1	% Rang 2	% Rang 3	Effectif global (929)	%
Un élément d'une théorie utilisé en science	10,1	16,5	28,3	170	18,2
Une situation idéale de référence	12,1	10,0	15,6	117	12,5
Une façon de décrire quelque chose de réel à l'aide d'éléments théoriques	30,8	33,7	15,3	248	26,6
Une simplification du réel	14,3	12,9	17,9	140	15,0
Une représentation du réel à l'aide de schémas et de formules	32,4	26,6	22,8	254	27,3

Résultats et analyses

Définitions d'un modèle

Indiquer les 3 définitions avec lesquelles vous êtes le plus d'accord

Enseignants : N=157	% Rang 1	% Rang 2	% Rang 3	Effectif global (470)	%
Un élément d'une théorie utilisé en science	3,8	8,9	17,3	47	10,0
Une situation idéale de référence	9,5	15,2	17,9	67	14,2
Une façon de décrire quelque chose de réel à l'aide d'éléments théoriques	47,1	23,5	16,6	137	29,1
Une simplification du réel	17,8	24,2	26,9	108	22,9
Une représentation du réel à l'aide de schémas et de formules	1,6	28,0	21,1	111	23,6

Résultats et analyses

Distinction entre champs empirique et théorique : exemple de question posée

Dans le texte ci-dessous, chaque mot ou groupe de mots en gras devra être souligné :

en bleu, si ces mots ou groupe de mots font référence à des objets ou des événements de la situation.

en rouge, si ces mots ou groupe de mots font référence à des interprétations, faites à partir des modèles de la physique

Expérience n°1

Le savant Léonard souhaite étudier la chute des objets dans l'air.

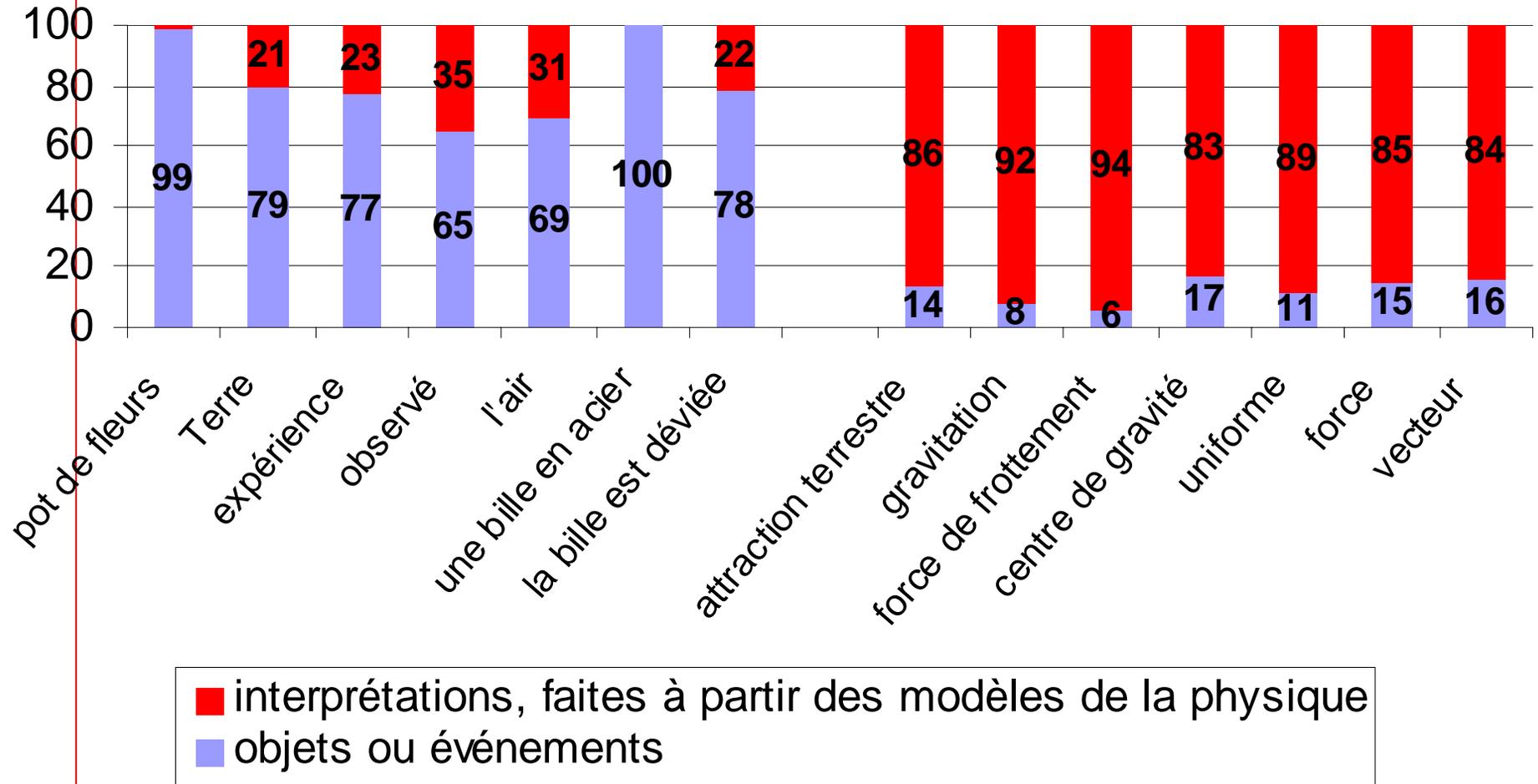
Il lâche donc un **pot de fleurs** depuis la fenêtre du premier étage. Le pot tombe rapidement suivant un **mouvement vertical**, dont la **vitesse** n'est pas constante. Il s'écrase sur la tête du disciple.

Léonard déclare alors : « vois-tu disciple ? La **Terre** exerce une **action** sur le pot de fleurs, c'est pour cela qu'il tombe dès que je le lâche. C'est le phénomène d'**attraction terrestre**. Il est décrit par la **théorie de la gravitation**. »



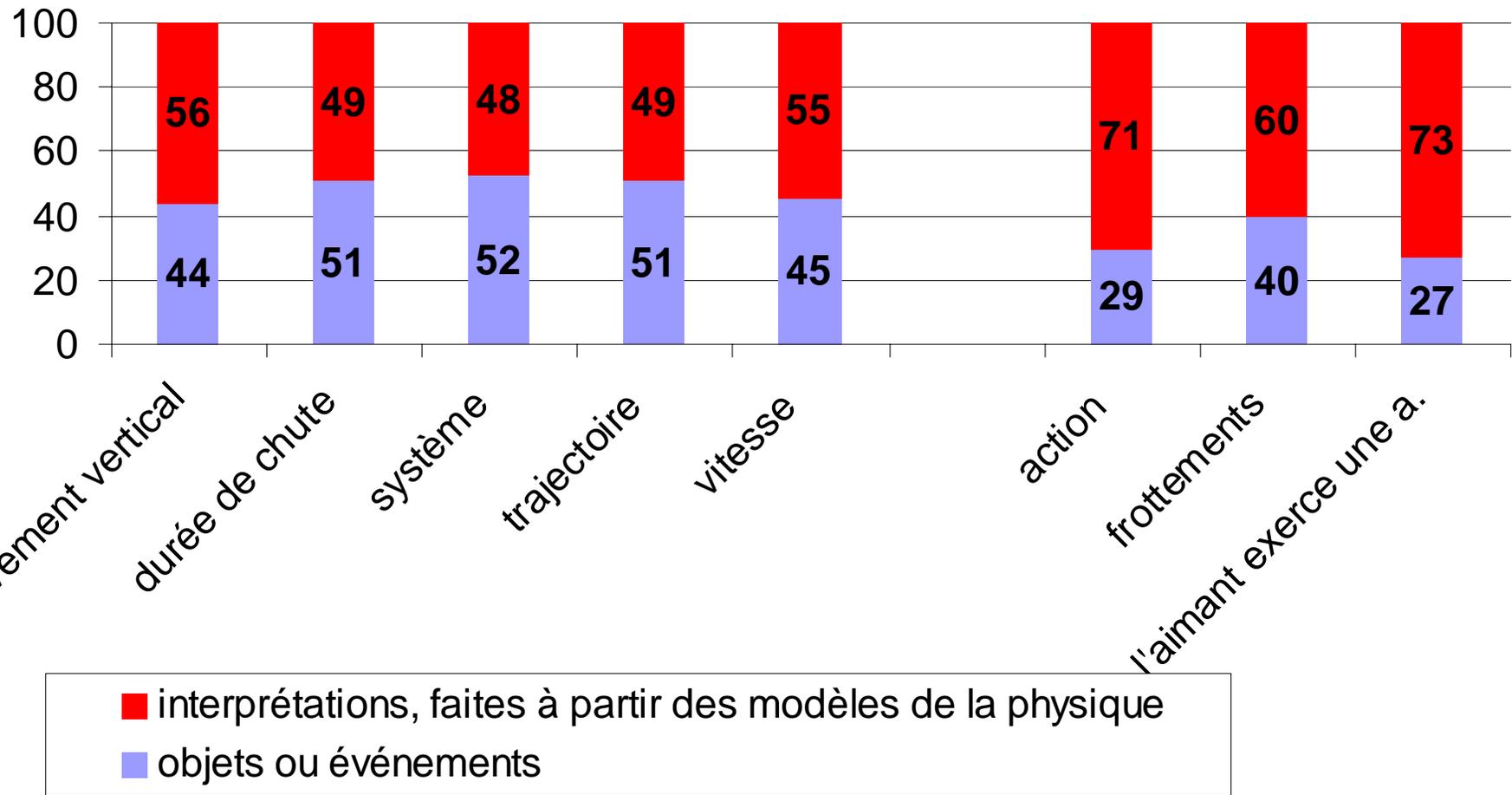
Résultats et analyses

Distinction entre champs empirique et théorique (L. Toix)



Résultats et analyses

Distinction entre champs empirique et théorique



Résultats et analyses

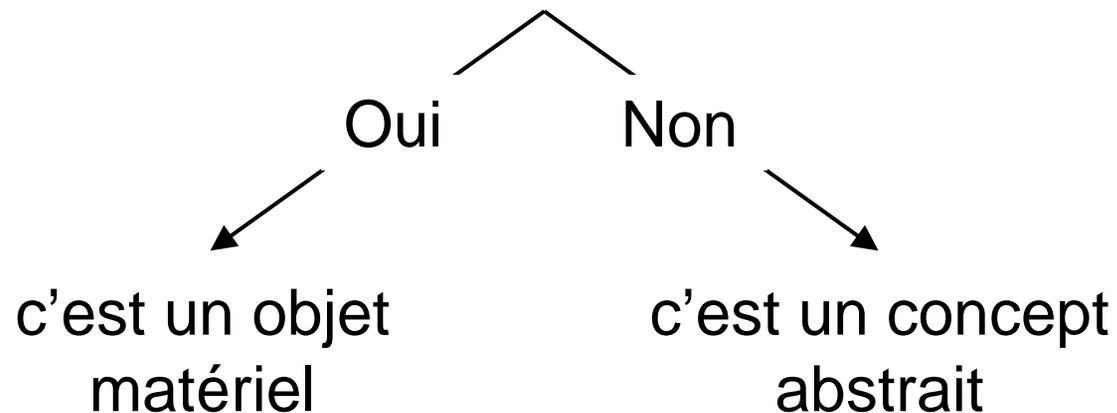
Distinction entre champs empirique et théorique

Critère de distinction

Nouvelles informations : *Expérimentation B*

Analyse des vidéos et des débats dans les binômes.

*L'élément étudié est-il perceptible ?
(on peut le voir, le toucher, ...)*



Ce critère permet d'interpréter les réponses des élèves et les limites de sa pertinence

Conclusion

Les élèves sont capable d'avoir des points de plus ou moins élaborés sur les modèles et la modélisation, souvent en accord avec le point de vue expert (diversité, évolution, accréditation...).

Un terrain favorable pour la construction d'un savoir épistémologique en physique-chimie ?

Des points de vue en décalage avec le point de vue expert (nécessité de choix pour modéliser, omniprésence des schémas et formules...)

Pose la question plus générale de l'image de la discipline.

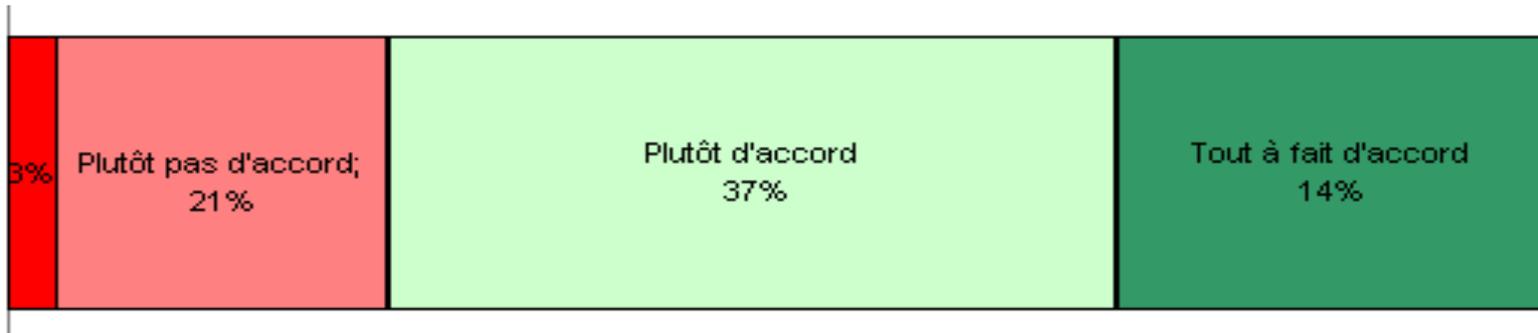
Une réelle capacité à distinguer "les deux mondes"

Un terrain favorable pour faire prendre conscience de l'activité de modélisation

Un enseignement *par* la modélisation et *au sujet* de la modélisation est possible.

Des incantations officielles au passage à l'acte ?

7. La physique est une science qui peut remettre en cause ses propres théories



Une idée qui reste à construire chez quelques élèves...

et plus du tout chez les enseignants



Fin de
2^{nde}
et
après
N=169

