

# LES CONCEPTIONS DES ÉTUDIANTS EN PHYSIQUE : COMPARAISON ENTRE DEUX DOMAINES

Michel Bélanger

Université du Québec à Rimouski

Colloque de l'AQPC, 9 juin 2011

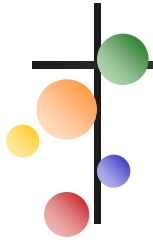
michel\_belanger@uqar.ca



# Plan de présentation

---

1. Les conceptions des élèves en science
2. Le cas de la physique du mouvement
3. Quelques modèles de changement conceptuel
4. Le cas de la physique quantique
5. Conclusion



## Introduction

# **Les conceptions des élèves**



## Les conceptions des élèves

---

On appelle « conceptions » les représentations que les élèves ont sur les différents phénomènes naturels.

Les élèves du primaire peuvent sortir de petits bijoux, par exemple :

- ♦ Les bateaux flottent parce qu'ils ont des moteurs.
- ♦ L'eau à la surface d'une table disparaît progressivement.
- ♦ Les feuilles tombent en automne parce qu'elles sont malades (qu'elles pourrissent).
- ♦ Les roches rondes dans les rivières sont des oeufs de roche.

---

Confrey, J. (1990). A review of the research on student conceptions in mathematics, science, and programming. *Review of Research in Education*, 16, 3-53.

Wandersee, J. H., Mintzes, J. J., & Novak, J. D. (1994). Research on alternative conceptions in science. In D. Gabel (Ed.), *Handbook of research on science teaching and learning* (pp. 177-210). New York: Maxwell Macmillan International.



## Les conceptions des élèves

---

Les didacticiens se sont rendu compte que les conceptions ont les caractéristiques suivantes :

- ♦ Souvent, **ce ne sont pas des idées explicites** chez les élèves; elles sont alors formulées sur place;
- ♦ Certaines sont très **répandues**;
- ♦ Certaines sont très **résistantes** à l'enseignement;
- ♦ Certaines sont fausses mais tout de même **utiles** (valides).



## Les conceptions des élèves

---

Il existe trois types de recherche à l'endroit des conceptions :

- ♦ Les **recherches descriptives**, qui visent à identifier et décrire les conceptions initiales des élèves.
- ♦ Les **recherches explicatives**, qui visent à expliquer la stabilité des conceptions et leur changement.
- ♦ Les **recherches prescriptives**, testant des stratégies d'enseignement visant à favoriser le changement des conceptions.

Qu'en est-il de la physique au collégial?

- ♦ Forces et mouvements
- ♦ Physique quantique



# **Les conceptions sur les forces et mouvements**

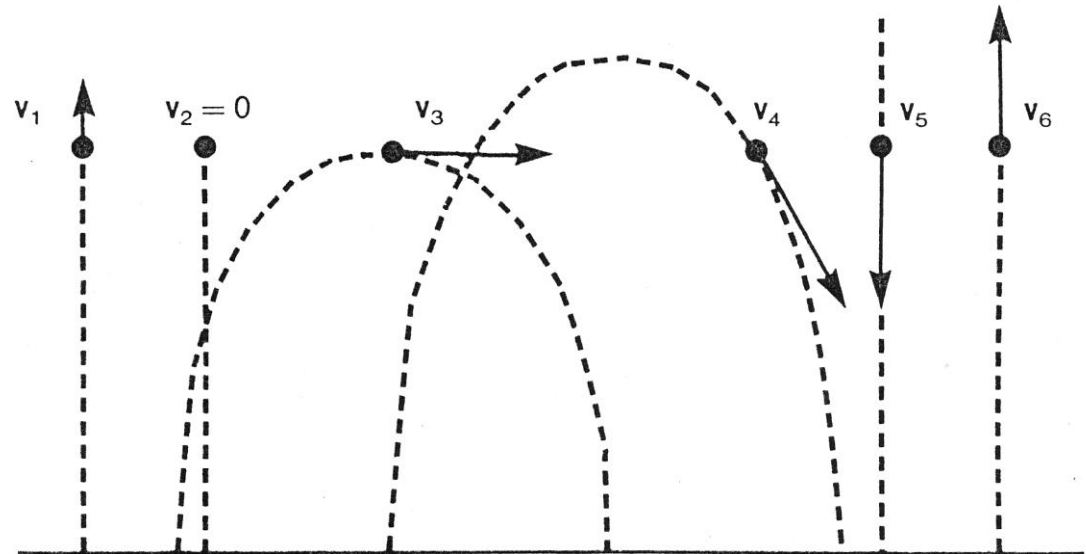
# Les conceptions en dynamique

## Quelles conceptions les étudiants ont-ils en dynamique?

La question des forces :

« Dessinez la ou les forces exercées sur la balle. »

Étudiants universitaires



40 à 55 % d'erreurs

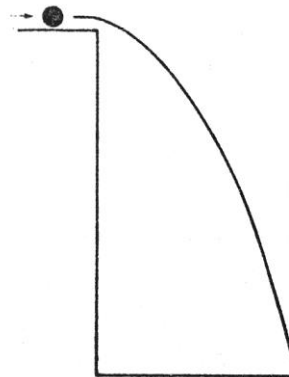
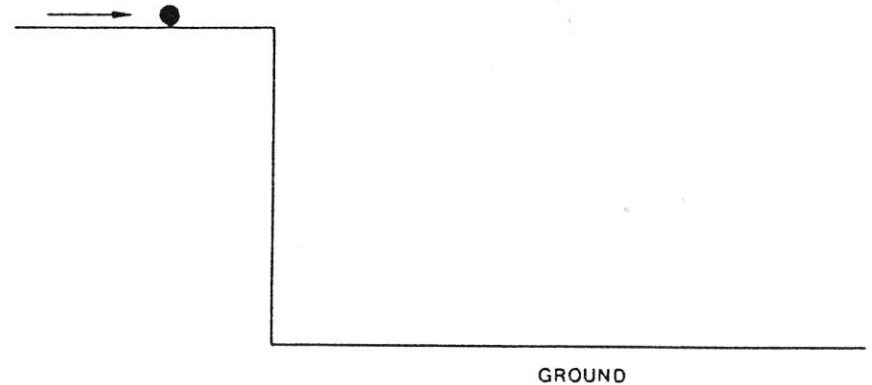


# Les conceptions en dynamique

Le problème de la falaise :

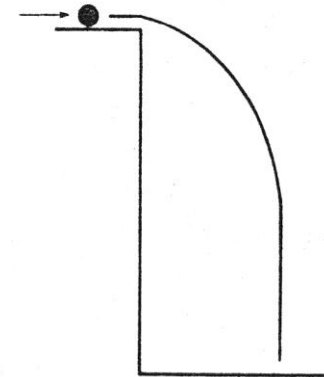
« Quelle sera la trajectoire de la balle? »

Étudiants  
universitaires en  
psychologie



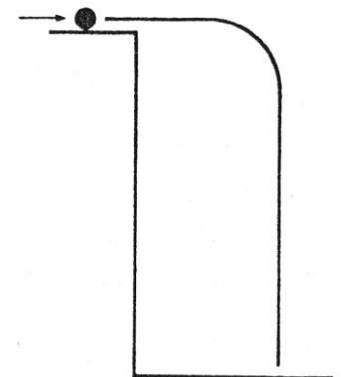
A

74 %



B

22 %








C

# Les conceptions en dynamique

## Le problème de la poussée :

« Une balle en mouvement subit une poussée ponctuelle vers le bas. Quelle sera sa trajectoire? »

- 1) (CORRECT) 
- 2) (PARTIALLY CORRECT) 
- 3) (RETURNS TO HORIZONTAL) 
- 4) (RETURNS PARTIALLY TO HORIZONTAL) 
- 5) (OTHER) 

n = 150 ENTERING FRESHMAN ENGINEERS		n = 43 AFTER MECHANICS COURSE	
14	9%	8	19%
40	27%	16	37%
62	41%	9	21%
8	5%	2	5%
26	17%	8	19%

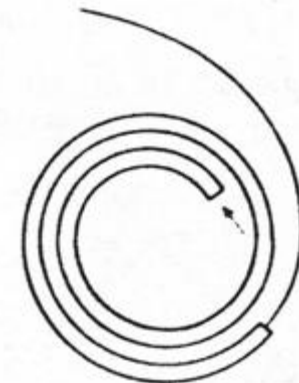
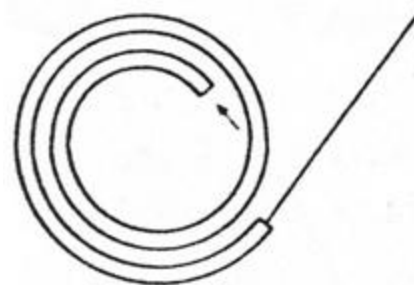
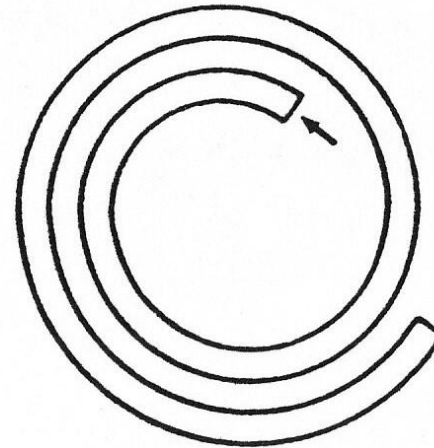
A bracket groups the 'RETURNS TO HORIZONTAL' (41%) and 'RETURNS PARTIALLY TO HORIZONTAL' (5%) categories for the entering freshmen, totaling 46%.  
 A bracket groups the 'RETURNS TO HORIZONTAL' (21%) and 'RETURNS PARTIALLY TO HORIZONTAL' (5%) categories for the students after the course, totaling 26%.

# Les conceptions en dynamique

## Le problème du tube :

« Une balle est insérée à grande vitesse dans un tube en spirale. Quelle sera sa trajectoire à la sortie du tube? »

Étudiants  
universitaires divers



51 %



# **Quelques modèles de changement conceptuel**



## Les conceptions en dynamique

---

Pour vulgariser, on peut distinguer trois types de modèles de changement conceptuel :

- ♦ 1) Les modèles des « théories intuitives »
- ♦ 2) Les modèles des « éléments d'intuition »
- ♦ 3) Les modèles de « coexistence »



# Les conceptions en dynamique

---

## 1) Les modèles des théories intuitives :

- ◆ Les étudiants ont une représentation spontanée structurée du monde :
- ◆ « Théorie intuitive » en dynamique :
  - L'état de repos est alors considéré comme naturel. Il ne subit pas alors de forces.
  - Une force est nécessaire pour qu'un objet soit en mouvement.
    - Pour un objet subissant une poussée :  $F \propto v$
    - Pour un objet en mouvement : il « possède » une « force » interne (« impétus »), qui s'épuise progressivement.
- ◆ Cette « théorie » possède des affinités avec les théories pré-newtoniennes du mouvement.

---

McCloskey, M. (1983). Naïve theories of motion. In D. Gentner & A. L. Stevens (Eds.), *Mental models* (pp. 299-324). Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.

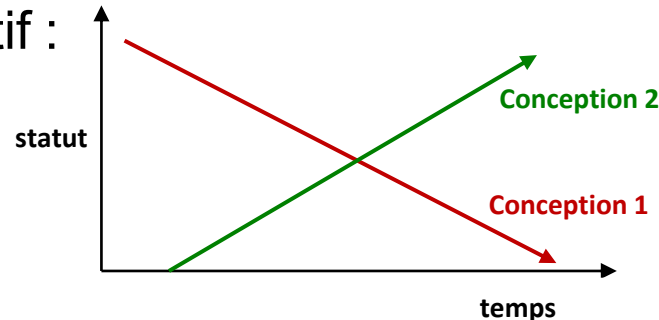
Vosniadou, S. (2002). On the nature of naïve physics. In M. Limón & L. Mason (Eds.), *Reconsidering conceptual change* (pp. 61-76). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

# Les conceptions en dynamique

## 1) Les modèles des théories intuitives (suite) :

- ♦ Modèle de Posner, Strike, Hewson & Gertzog (1982)
  - On postule l'apprentissage comme étant une activité rationnelle.
  - L'élève possède une théorie initiale dans son « écologie conceptuelle » qui assure sa stabilité.

• Objectif :



• Moyens :

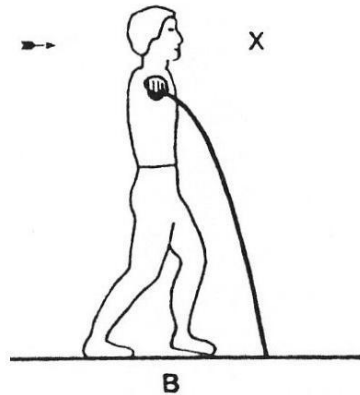
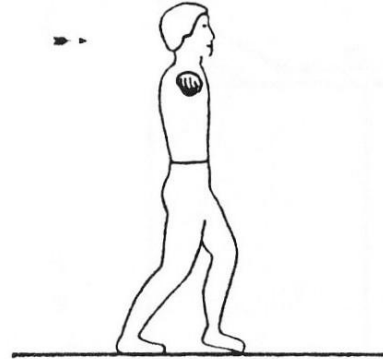
- Contre-exemples
- Analogies, exemples, expériences, etc.

# Les conceptions en dynamique

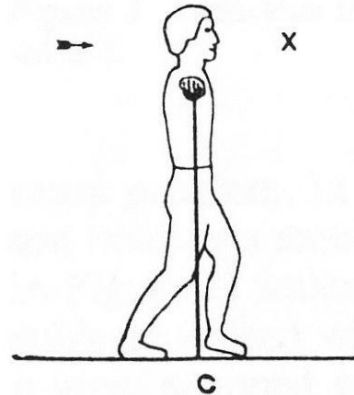
## Le problème de la chute :

« Où tombera la balle? »

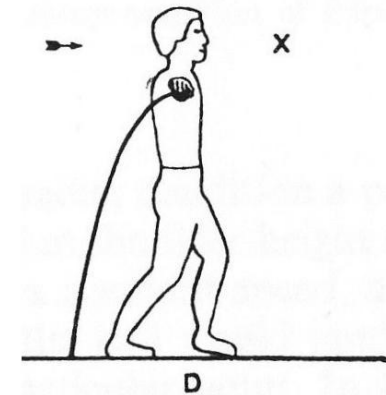
Étudiants universitaires  
sans/avec formation  
scientifique



45 %



62 % / 40 %





# Les conceptions en dynamique

## 1) Les modèles des théories intuitives (suite) :

- ♦ **Modèle de Vosniadou (1994) :**
  - Sur la base de présuppositions fondamentales et d'observations, l'élève se construit certaines croyances, qui s'incarnent dans un modèle mental lorsqu'il est sollicité.



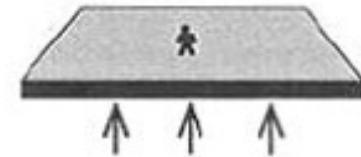
- Le modèle mental se change progressivement, à la suite de la modification progressive de ses déterminants.

## Les conceptions des élèves

Un exemple conception au primaire :

« La Terre est plate »

- ◆ Omniprésent chez les élèves du primaire



Terre plate rectangulaire

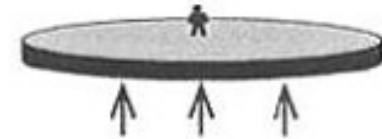
- ◆ Que faire pour atteindre l'explication scientifique?



Terre sphérique

# Les conceptions des élèves

Dire que la Terre est ronde?



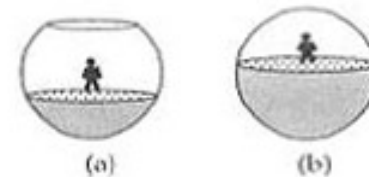
Terre plate sphérique

Dire que la Terre est sphérique?



Terre aplatie

Terre duale



Terre creuse

Présuppositions à l'œuvre :

- ♦ L'univers est organisé de bas en haut.
- ♦ Nous tombons vers le bas.
- ♦ La Terre a besoin d'être supportée.

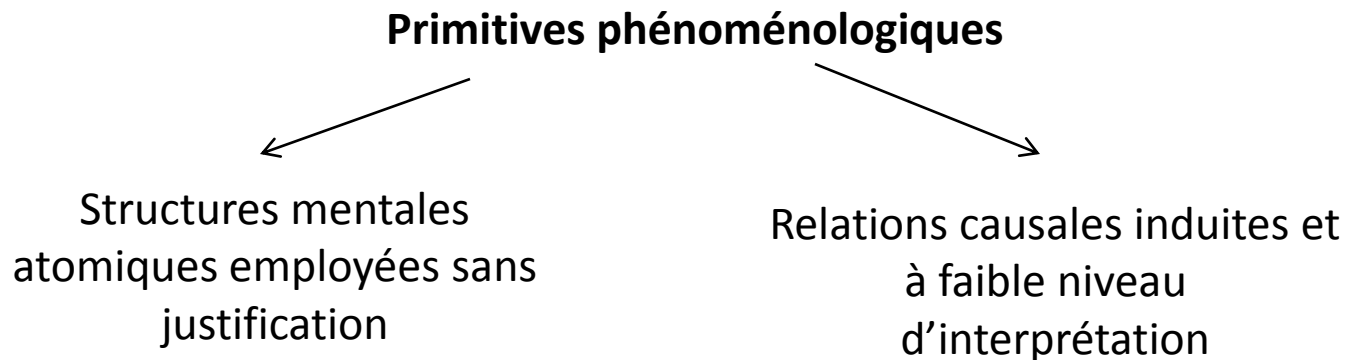


## Les conceptions en dynamique

---

### 2) Les modèles des intuitions désorganisées :

- ♦ Modèle de diSessa (1993)
  - Les élèves possèdent une multitude de petites « intuitions » désorganisées, activées et efficaces dans des contextes très précis : « p-prims »



## Les conceptions en dynamique

### 2) Les modèles des intuitions désorganisées (suite) :

- ◆ Exemples :
  - « *Force as a mover* »
    - Une force ponctuelle entraîne un déplacement dans la même direction qu'elle.
  - « *Ohm's P-prim* »
    - Une force produit toujours un mouvement contre une friction.
    - Version générale : Un AGENT produit un RÉSULTAT face à une RÉSISTANCE
  - « *Dying away* »
    - Tous les mouvements s'estompent.





## Les conceptions en dynamique

---

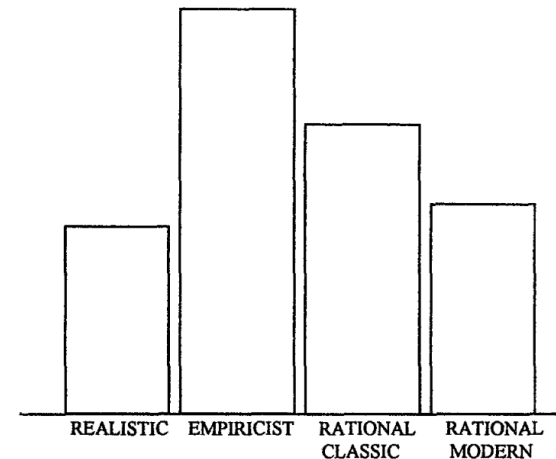
### 2) Les modèles des intuitions désorganisées (suite) :

- ◆ L'apprentissage conceptuel passe par :
  - Une activation des bonnes intuitions dans les contextes pertinents.
    - Mettre sa main entre un livre et la table.
  - Une inhibition des mauvaises intuitions.
  - Une réassignation des p-primis aux bons objets et aux bonnes propriétés
    - $F = bv$  devient  $F = ma$
  - Une coordination des p-primis pour couvrir tous les aspects du phénomène.
- ◆ Il s'agit de domestiquer les intuitions pour constituer un nouveau « sens du mécanisme ».

## Les conceptions en dynamique

### 3) Les modèles de coexistence des conceptions intuitives et scientifiques :

- ♦ La conception intuitive demeure, et l'explication scientifique s'ajoute à elle.
- ♦ L'étudiant se développe un « profil conceptuel », un répertoire de possibilités conceptuelles dans lequel il pige selon les situations.



Solomon, J. (1983). Learning about energy: how pupils think in two domains. *European Journal of Science Education*, 5(1), 49-59.

Larochelle, M., & Désautels, J. (1992). *Autour de l'idée de science*. Québec: Presses de l'Université Laval.

Mortimer, E. F. (1995). Conceptual change or conceptual profile change? *Science & Education*, 3, 267-285.

Fugelsang, J. A., & Dunbar, K. N. (2005). Brain-based mechanisms underlying complex causal thinking. *Neuropsychologia*, 43(3), 1204-1213.

Bélanger, M. (2008). *Du changement conceptuel à la complexification conceptuelle dans l'apprentissage des sciences*. Université de Montréal, Montréal.



## Les conceptions en dynamique

---

### 3) Les modèles de coexistence (suite) :

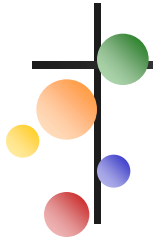
- ◆ L'apprentissage consiste à acquérir la conception scientifique, à reconnaître les situations où celle-ci doit être employée et à inhiber la conception initiale dans certains contextes.
- ◆ Conditions :
  - Apprendre la conception scientifique;
  - Développer une sophistication épistémologique;
  - Pratiquer l'activation à l'aide d'exemples, et l'inhibition à l'aide de contre-exemples.





# Les conceptions en dynamique

	<b>Remplacement</b>	<b>Coordination</b>	<b>Coexistence</b>
Type de modèle de changement conceptuel	Les « théories intuitives » à remplacer	Les « éléments intuitifs » à coordonner	La physique intuitive à inhiber en faveur de la physique scientifique
Implications pédagogiques	<ul style="list-style-type: none"><li>• Faire ressortir explicitement les théories intuitives</li><li>• Travailler à remplacer leurs déterminants</li><li>• Confronter à l'aide de contre-exemples</li><li>• Montrer l'efficacité de l'explication scientifique</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Identifier les éléments intuitifs clefs qui sont partiellement valides</li><li>• Associer à ces éléments intuitifs les bons objets et bonnes propriétés</li><li>• Coordonner les intuitions entre elles et aux contextes</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Reconnaître que l'on peut avoir plusieurs ressources conceptuelles pour comprendre une situation</li><li>• Exposer des erreurs pour pratiquer et faire pratiquer l'inhibition</li></ul>



# Les conceptions en physique quantique

Tout comme la physique newtonienne s'impose à une physique intuitive chez l'élève, la physique quantique s'impose à la physique classique.

- ♦ Quels sont les ratés conceptuels de cette surimposition?



# Les conceptions en physique quantique

---

Quelques difficultés reliées aux préalables :

- ♦ Mauvaise compréhension des ondes;
- ♦ Mauvaise compréhension de la notion de probabilité;
- ♦ Mauvaise compréhension épistémologique : les contenus scientifiques appris auparavant sont « corrects » et « valides ».

---

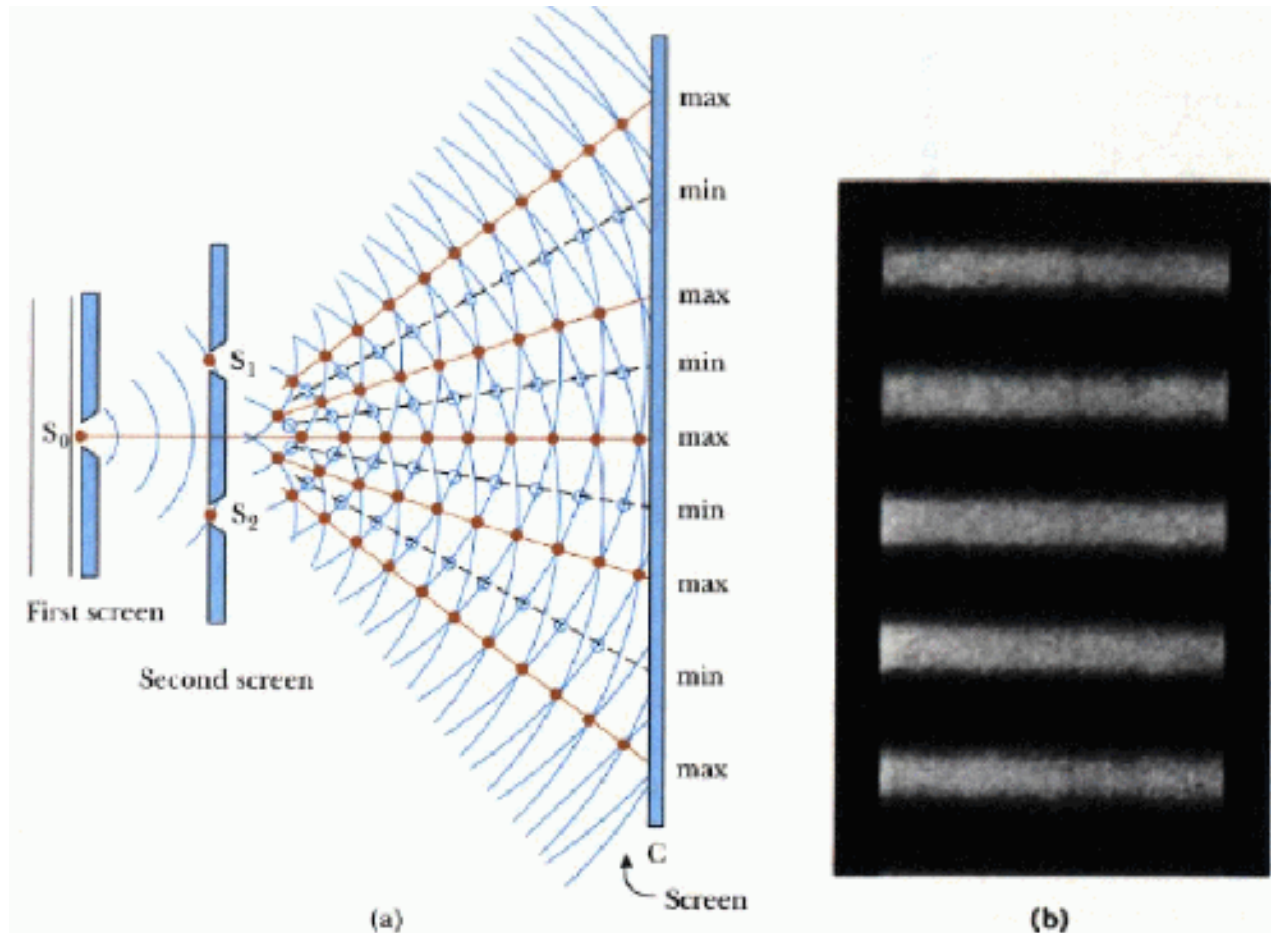
Ambrose, B. S., Shaffer, P. S., Steinberg, R. N., & McDermott, L. C. (1999). An investigation of student understanding of single-slit diffraction and double-slit interference. *American Journal of Physics*, 67(2), 146-155.

Bao, L., & Redish, E. (2002). Understanding probabilistic interpretations of physical systems: a prerequisite to learning quantum physics. *American Journal of Physics*, 70(3), 210-216.

Kalkanis, G., Hadzidaki, P., & Stavrou, D. (2003). An instructional model for a radical conceptual change towards quantum mechanics concepts. *Science Education*, 87(2), 257-280.

# Les conceptions en physique quantique

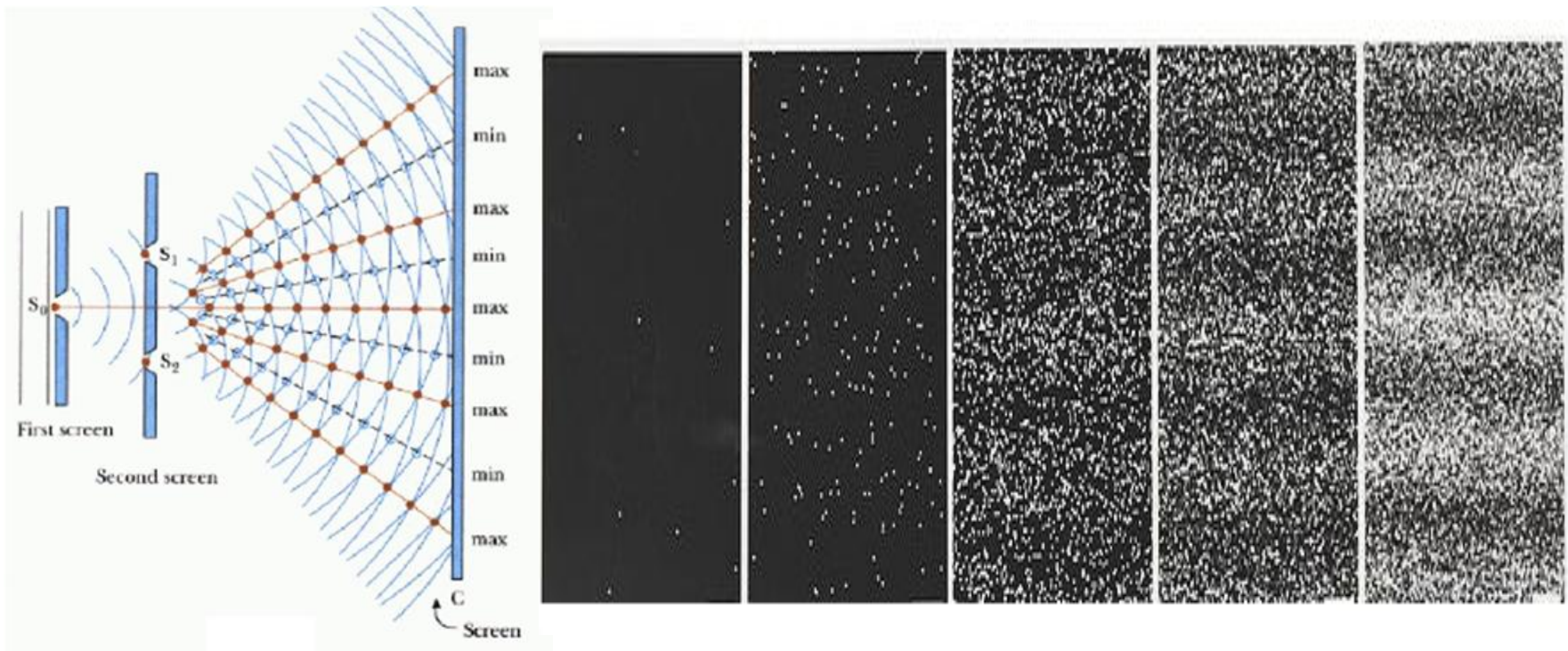
L'expérience des fentes de Young (1801) démontre le caractère ondulatoire de la lumière (photons).



# Les conceptions en physique quantique

L'expérience faite avec des électrons révèle un patron d'interférence semblable...

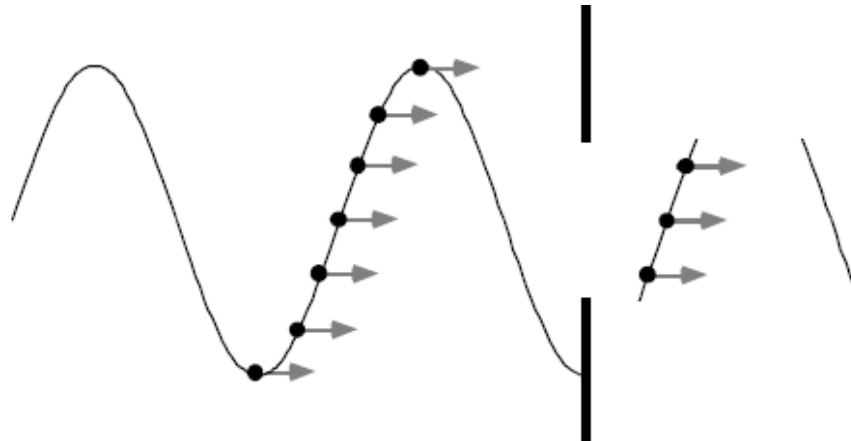
- ♦ L'électron possède également une nature ondulatoire.



# Les conceptions en physique quantique

Comment certains étudiants comprennent-ils la dualité onde-corpuscule des photons et des électrons?

- ♦ La longueur d'onde d'un électron est vue comme une de ses propriétés intrinsèques...  $\lambda = h/p = h/mv$
- ♦ L'onde est vue comme matérielle :

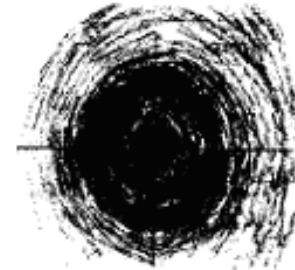
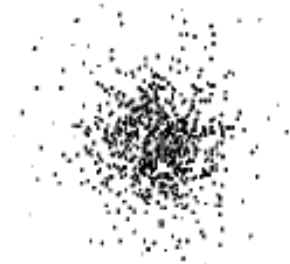
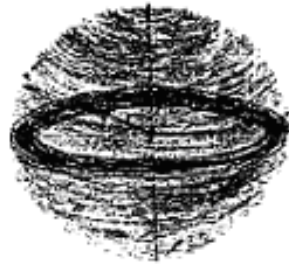
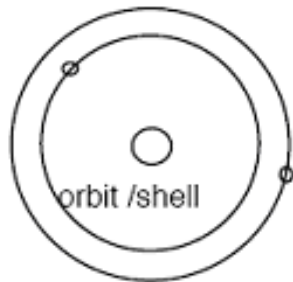


Vokos, S., Ambrose, B. S., Shaffer, P. S., & McDermott, L. C. (2000). Student understanding of the wave nature of matter: diffraction and interference of particles. *American Journal of Physics*, 68(S1), S42.

Steinberg, R. N., Wittmann, M. C., Bao, L., & Redish, E. F. (1999). *The influence of student understanding of classical physics when learning quantum mechanics. Paper presented at the 'NARST 99'.*

# Les conceptions en physique quantique

Les étudiants développent une gamme de modèles de l'atome, sans nécessairement comprendre l'indéterminisme



- Le modèle planétaire : modèle initial, bien ancré, provenant des cours antérieurs en physique et chimie;
- Le modèle de l'orbite probabiliste (*probability orbit model*) : le noyau est entouré d'un champ de possibilités,  $\psi$ , et le maximum de  $\psi^2$  définit l'orbite de l'électron;
- Le modèle « électron-d'état » (*state-electron model*): le noyau est entouré d'un champ de possibilités,  $\psi$ , qui n'est pas réel. À l'intérieur de ce champ se situe l'« électron-état »;
- Le modèle de l'électron-nuage (*electron cloud model*) : l'atome est constitué d'un noyau et d'un nuage-électron sphérique et chargé, dont la forme est donnée par  $\psi^2$ , et qui change d'état en état. L'électron n'est plus une particule et n'est plus en mouvement.



## Les conceptions en physique quantique

---

Chez les étudiants, il y a confusion conceptuelle et terminologique entre la physique classique et la physique quantique.

- ♦ « Students have incorporated the 'new' quantum phenomena into the 'older' mechanistic conceptions. [...] most students are not epistemologically aware that quantum physics constitutes a new 'paradigm'. » (Mashhadi, 1996, p. 262)





# Les conceptions en physique quantique

---

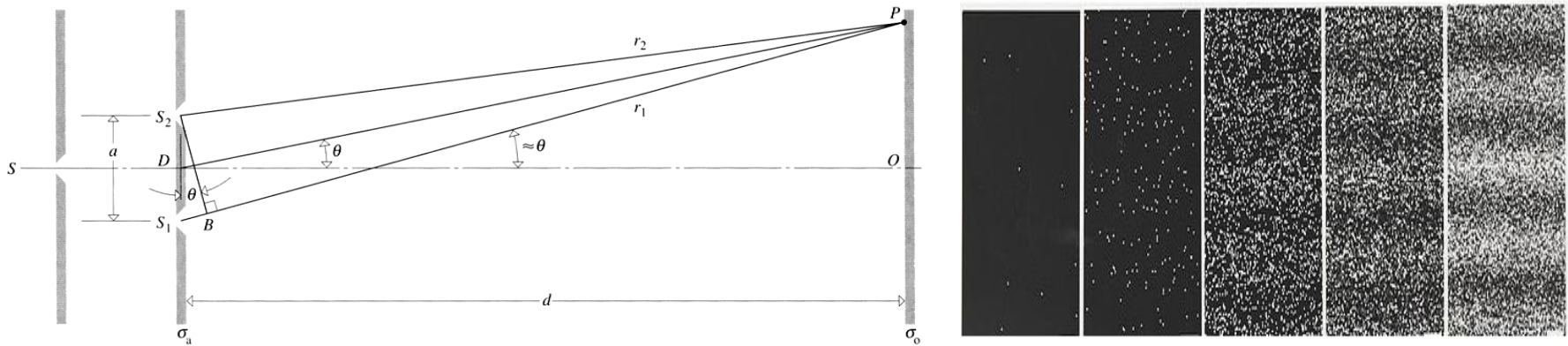
Question de recherche :

- ♦ Comment les étudiants conçoivent-ils alors la relation entre les deux physiques?

Méthode :

- ♦ Entrevues semi-dirigées avec :
  - 5 étudiants collégiaux terminant leur cours de physique moderne
  - 3 étudiants universitaires en physique complétant leur 2<sup>e</sup> cours de mécanique quantique
- ♦ Tâche : explication du phénomène des doubles fentes avec différentes particules.

# Les conceptions en physique quantique



## Expérience des doubles fentes avec électrons

Le montage est schématiquement le même que pour les fentes de Young, avec des proportions différentes et une source d'électron (ponctuelle) plutôt que de lumière.

Masse d'un électron :  $9.1 \cdot 10^{-31}$  kg

Vitesse des électrons : 6000 km/s (soit environ 100 eV)

Distance entre les fentes :  $\sim 1 \cdot 10^{-10}$  m



# Les conceptions en physique quantique

## Protocole d'entrevue

### **1 – Description du processus :**

« Qu'est-ce qui se produit? »

« Qu'est-ce que cette expérience révèle? »

### **2 – Concernant les conditions d'existence de ce phénomène :**

« À quelle(s) condition(s) le phénomène ondulatoire disparaît-il? »

« Qu'arrive-t-il si on emploie des protons ou des neutrons comme projectile? »

« Des atomes, des molécules? »

« Une poussière ou un grain de sable? »

« Une balle de baseball? »

« Ces objets possèdent-ils eux aussi une dualité onde-corpuscule? »

« Pourquoi ne pas employer toujours la conception ondulatoire/quantique? »



# Les conceptions en physique quantique

---

## Résultats :

- ♦ 1) Seuls les étudiants universitaires réalisent pleinement que cette version de l'expérience démontre que l'électron interfère avec lui-même, donc qu'il est aussi une onde.
  - Par exemple, C5 semble perplexe sur ce point :
    - [I] Qu'est-ce qui arrive dans cette région-ci avec notre électron?
    - [C5] Il va prendre un des deux [trous]. Bien... [silence]. C'est sûr qu'il ne passera pas dans les deux trous en même temps.
    - [I] Pourquoi il ne passerait pas par les deux en même temps?
    - [C5] Parce que c'est un électron. Il ne peut pas passer à deux places en même temps [...].



# Les conceptions en physique quantique

---

## Résultats (suite) :

- ♦ 2) Les étudiants collégiaux comme universitaires utilisent par défaut un critère d'échelle pour séparer les domaines entre la physique classique et la physique quantique.

- Distinction entre *macroscopique* et *microscopique*.
- Mais les étudiants ont de la difficulté à définir ces termes.

[I] Mais est-ce que tu connais la frontière entre le monde classique et le monde quantique?

[C5] Je ne sais pas à partir d'où, mais il faut absolument que ça soit petit. [...] Je ne sais pas où est la frontière, mais je pense qu'un proton c'est trop gros pour qu'on puisse résoudre un problème quantique avec ça.

...

[U3] J'ai de la misère à dire. Moi j'ai juste un ordre de grandeur, en centimètres, un truc comme ça... ou en mètres.



# Les conceptions en physique quantique

---

## Résultats (suite) :

- ♦ 3) Lorsque poussés, les étudiants collégiaux utilisent un critère « ontologique » :

[C2] C'est sûr que plus on augmente, plus on se rapproche de la physique classique, Newton et toutes ces affaires-là. Mais protons et neutrons, ça reste quand même petit... Euf, j'aurais tendance à dire que ça va faire le même genre de chose. Ouais, ça va interférer.

[I] Ça va faire un patron d'interférence...

[C2] Ouais.

[I] Pour pousser un peu plus loin, qu'est-ce qui arriverait si on prenait un atome, comme un atome de carbone?

[C2] Ouais, mais là il y a plusieurs particules dans un atome : neutrons, protons, électrons.

[I] Si on prenait cet ensemble-là de particules...

[C2] Et on le lance... Hmm... Ah, là ça ne marche plus! [rires] Il y trop d'affaires. Hum, j'ai l'impression que tout va s'annuler. Puis là que tu as des électrons qui interfèrent avec des protons et des neutrons.



# Les conceptions en physique quantique

---

## Interprétation :

- ♦ Pour les étudiants collégiaux, la dualité onde-corpuscule est comprise superficiellement.
- ♦ Ils n'apprécient pas la « neutralité ontologique » des deux mécaniques :
  - La physique classique s'applique aux gros objets.
  - La physique quantique s'applique aux petits objets sans structure interne.



# Les conceptions en physique quantique

Face à la confusion chez les étudiants entre physique classique et physique quantique, que faire?

	<b>Remplacement ?</b>	<b>Coordination ?</b>	<b>Coexistence ?</b>
Stratégie pédagogique?	<ul style="list-style-type: none"><li>• Confronter la physique classique et montrer l'efficacité de la physique quantique</li><li>• On ne peut /veut remplacer la physique classique</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• On ne récupère pas d'éléments intuitifs, au contraire</li></ul> <p>(Bohr : « Anyone who is not shocked by quantum theory has not understood it. »)</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Reconnaître qu'il existe différentes théories incompatibles ayant chacune leur domaine d'application</li><li>• Comprendre les différences et similarités entre les deux théories</li><li>• Apprendre à activer la bonne théorie selon les contextes</li></ul>





## Conclusion

---

Les caractéristiques des conceptions des élèves peuvent varier selon plusieurs dimensions :

- ♦ Leur caractère inné / acquis
- ♦ La richesse de leur support expérientiel
- ♦ La profondeur des modifications à opérer + les difficultés intrinsèques des modèles scientifiques
- ♦ Etc.

La nature de l'apprentissage dépend des caractéristiques des conceptions.

- ♦ L'analyse doit se faire cas par cas.
- ♦ Il faut actuellement plusieurs modèles d'apprentissage pour couvrir les différents cas possibles.
- ♦ Il n'y a pas donc une recette efficace, simple et universelle pour traiter les conceptions des élèves.