



La modélisation

Une démarche essentielle pour
l'apprentissage de la physique-chimie

Jacques Vince

Lycée Ampère

Enseignant associé à l'IFÉ

jvince@ac-lyon.fr

 [@ProfesseurVince](https://twitter.com/ProfesseurVince)

www.prof-vince.fr

<http://pegase.ens-lyon.fr> 



ENS DE LYON



Deux objectifs

Caractériser la
modélisation
en
physique-chimie

Illustrer l'apport
pour :
- l'apprentissage
- notre pratique

édUSCOL

// Ressources d'accompagnement

Ressources transversales

• [La modélisation, une activité essentielle pour travailler les compétences de la démarche scientifique](#)



1. Une première approche de la modélisation
2. Pourquoi est-ce si important pour l'apprentissage ?
3. Caractérisation de la démarche de modélisation
4. Un outil pour concevoir son enseignement et pour aider les élèves ; les types d'activités
5. Modélisation et incertitudes

1. Une première approche de la modélisation
2. Pourquoi est-ce si important pour l'apprentissage ?
3. Caractérisation de la démarche de modélisation
4. Un outil pour concevoir son enseignement et pour aider les élèves ; types d'activités
5. Modélisation et incertitudes

Une première approche de la modélisation

Avant-propos

Théorie et expérience sont d'égale importance pour la modélisation et compréhension d'un phénomène physique ; pourtant ces deux aspects sont souvent traités séparément dans les manuels d'enseignement. En rédigeant ce recueil de physique expérimentale, nous avons voulu refléter leur dialogue dans un exposé didactique.



Préambule

Objectifs de formation

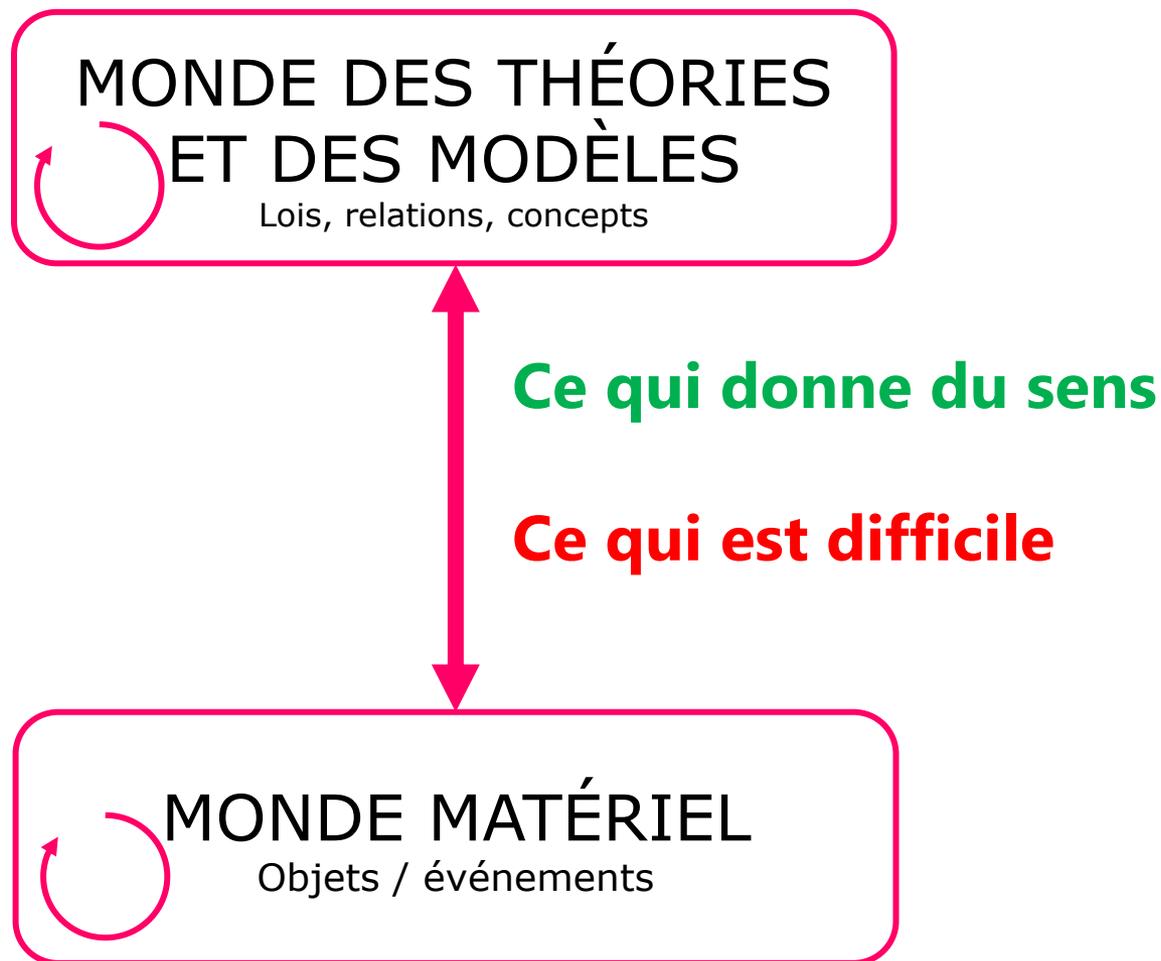
Dans la continuité du collège, le programme de physique-chimie de la classe de seconde vise à faire pratiquer les méthodes et démarches de ces deux sciences en mettant particulièrement en avant la **pratique expérimentale** et l'activité de **modélisation**. L'objectif est de donner aux élèves une vision intéressante et authentique de la physique-chimie.

Le programme accorde une place importante aux **concepts** et en propose une approche concrète et **contextualisée**. Il porte l'ambition de permettre aux élèves d'accéder à une bonne compréhension des phénomènes étudiés et de leur faire percevoir la portée unificatrice et universelle des lois et concepts de la physique-chimie. La démarche de **modélisation** occupe une place centrale dans l'activité des physiciens et des chimistes pour établir un lien entre le « monde » des objets, des expériences, des faits et le « monde » des modèles et des théories.

Programme de physique-chimie de la voie MPSI

La **démarche de modélisation** occupe également une place centrale dans le programme pour former les étudiants à établir, de manière autonome, **un lien fait d'allers-retours entre le « monde » des objets, des expériences, des faits, et celui des modèles et des théories**. L'enseignant doit rechercher un point d'équilibre entre des approches complémentaires : **conceptuelle et expérimentale, abstraite et concrète, théorique et appliquée, inductive et déductive, qualitative et quantitative**. La construction d'un modèle passe aussi par l'utilisation maîtrisée des mathématiques dont un des fondateurs de la physique expérimentale, Galilée, énonçait déjà qu'elles sont le langage dans lequel est écrit le monde.

Une démarche qui est intimement liée à la **pratique expérimentale**



Le réel pour construire des savoirs théoriques...

Lois, relations

Loi d'Ohm
Lois de Snell-Descartes
Relation de conjugaison

MONDE DES THÉORIES ET DES MODÈLES

Lois, relations, concepts...

Abstraction
Induction

Construire des phénoménologies

Lien(s) mouvement / actions
Lien hauteur / fréquence
Liens état / température

Descriptions

/ représentations conceptuelles

Équation de réaction
Modèle du rayon lumineux
Modèle de l'œil
Modèle de l'atome
Modèle du pendule simple
Modèle du système Terre-atmosphère
Force
Onde
...

MONDE MATÉRIEL

Objets / événements

Une *modélisation*... de l'activité scientifique

MONDE DES THÉORIES
ET DES MODÈLES

Lois, relations, concepts

Construire des
éléments théoriques,
leur donner du sens...
à partir du **monde
matériel ?**

Exploiter des éléments
théoriques,
pour traiter
du **monde matériel**
(description, interprétation,
prévision...)

MONDE MATÉRIEL

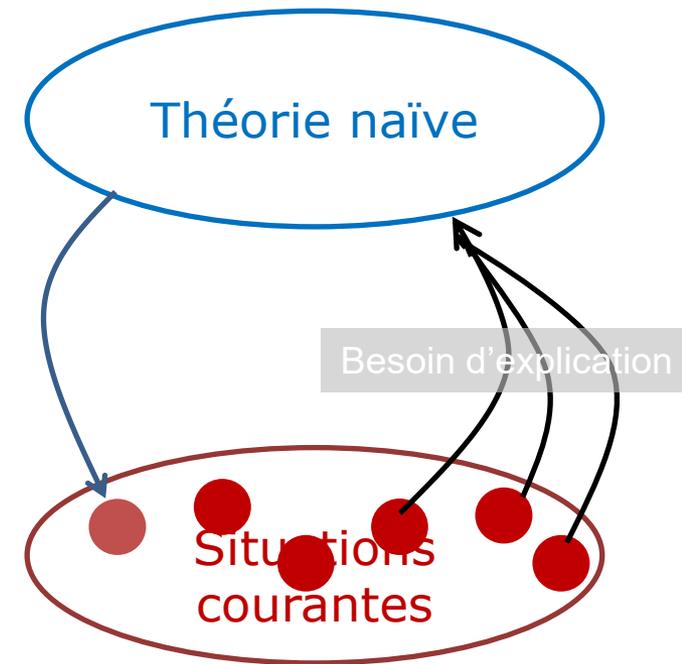
Objets / événements

À la recherche de régularités

Chercher des explications valides
sur une large variété de situations

=

une activité de **modélisation**



Exprimer une idée initiale, c'est utiliser une théorie
en référence à une situation observable

À la recherche de régularités

Chercher des explications valides
sur une large variété de situations

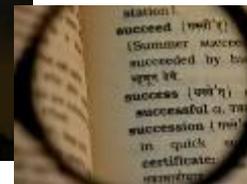
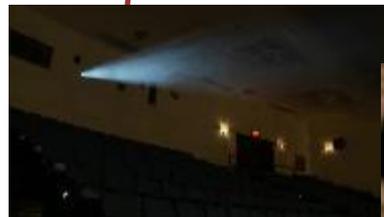
=

une activité de **modélisation**

Image
voyageuse

Besoin d'explication

Image = photo
Exemples d'images
renversées



Exprimer une idée initiale, c'est utiliser une théorie
en référence à une situation observable

Ce qu'on peut retenir...

- ✓ Faire de la physique et de la chimie, c'est modéliser
- ✓ Les élèves ne nous ont pas attendus pour modéliser
- ✓ Expliciter l'activité de modélisation, c'est porter un discours sur la nature de notre discipline

Faire modéliser...

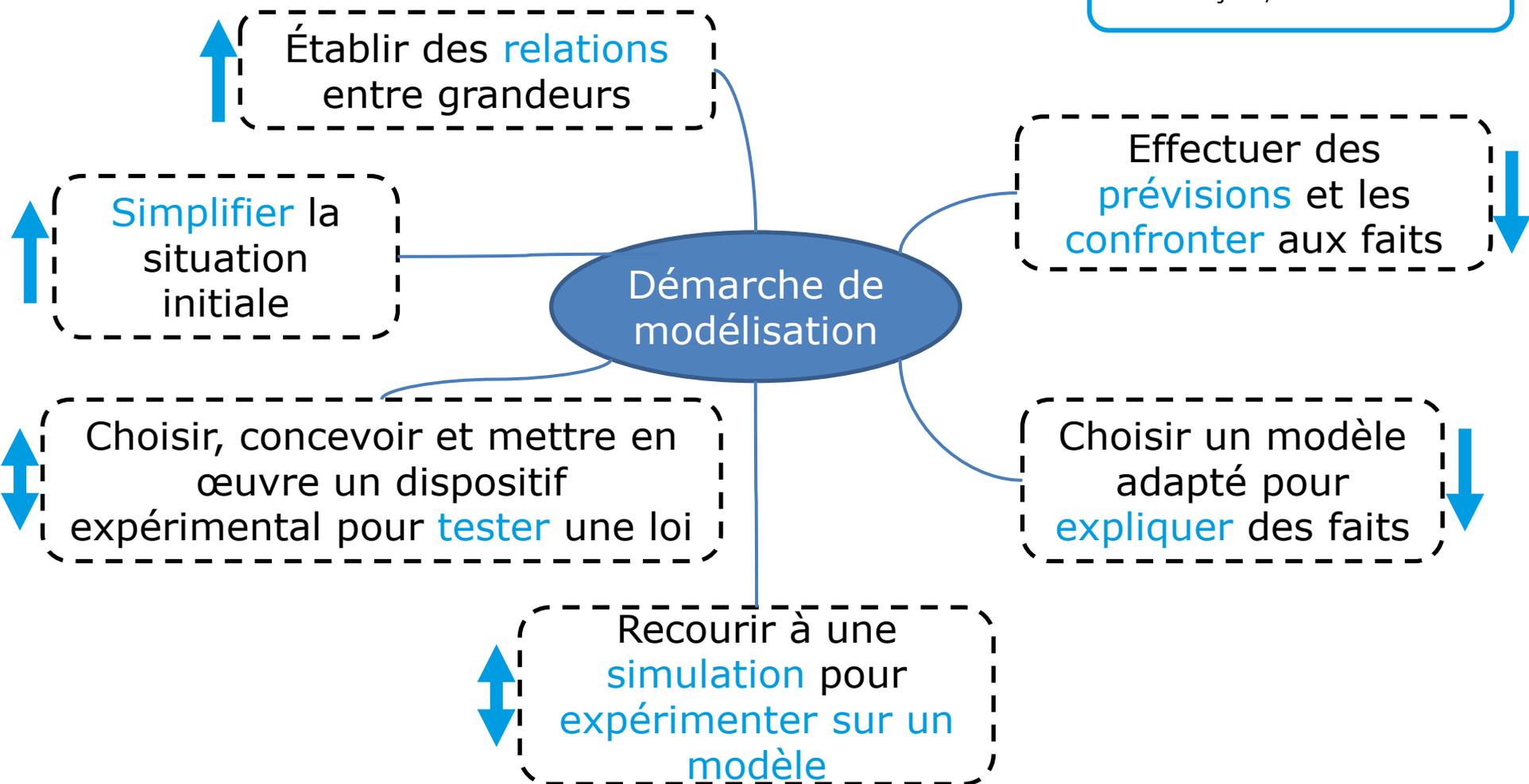
et pas seulement enseigner des modèles...

1. Une première approche de la modélisation
2. Pourquoi est-ce si important pour l'apprentissage ?
3. Caractérisation de la démarche de modélisation
4. Un outil pour concevoir son enseignement et pour aider les élèves ; types d'activités
5. Modélisation et incertitudes

Pourquoi est-ce si important pour l'apprentissage ?

Une démarche qui se décline en une variété d'actions

Extraits du préambule du programme de seconde



Mais pourquoi expliciter aux élèves toutes ces actions ?

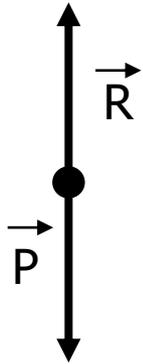
- ✓ Seulement pour porter un discours sur la nature de la discipline ?
- ✓ ~~Pour faire un cours d'épistémologie ?~~
- ✓ ~~Pour alourdir leur charge cognitive alors qu'ils n'arrivent déjà pas à utiliser un modèle simple ?~~

Une hypothèse :

pour améliorer la qualité des apprentissages et aider les élèves

Un exemple classique...

Pourquoi ce livre est-il
immobile?

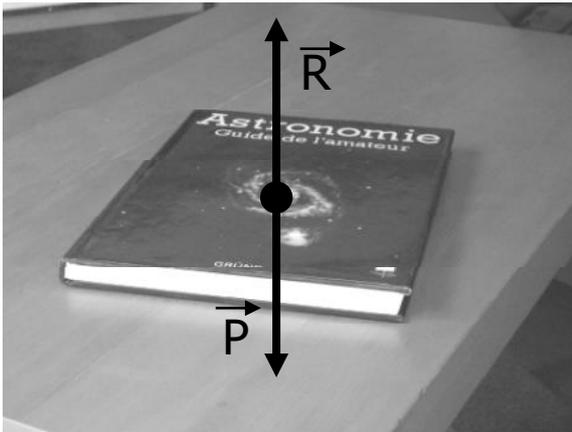


Explication courante

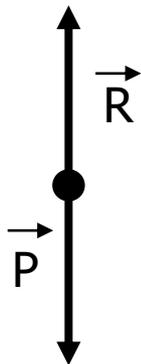
la table l'empêche de tomber ;
la table supporte le livre.
*pas d'interprétation en termes de
forces*

En physique

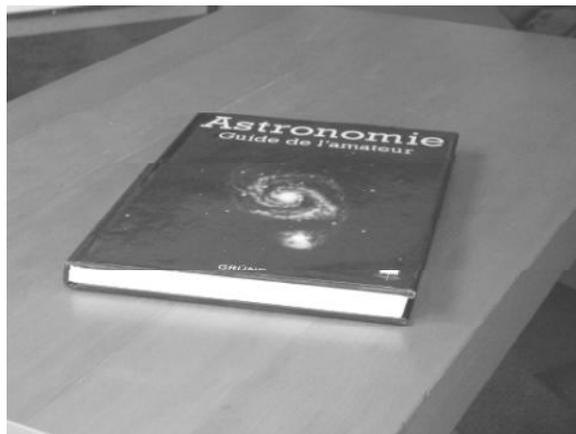
Le livre est soumis à deux
forces qui se compensent



Un exemple classique...

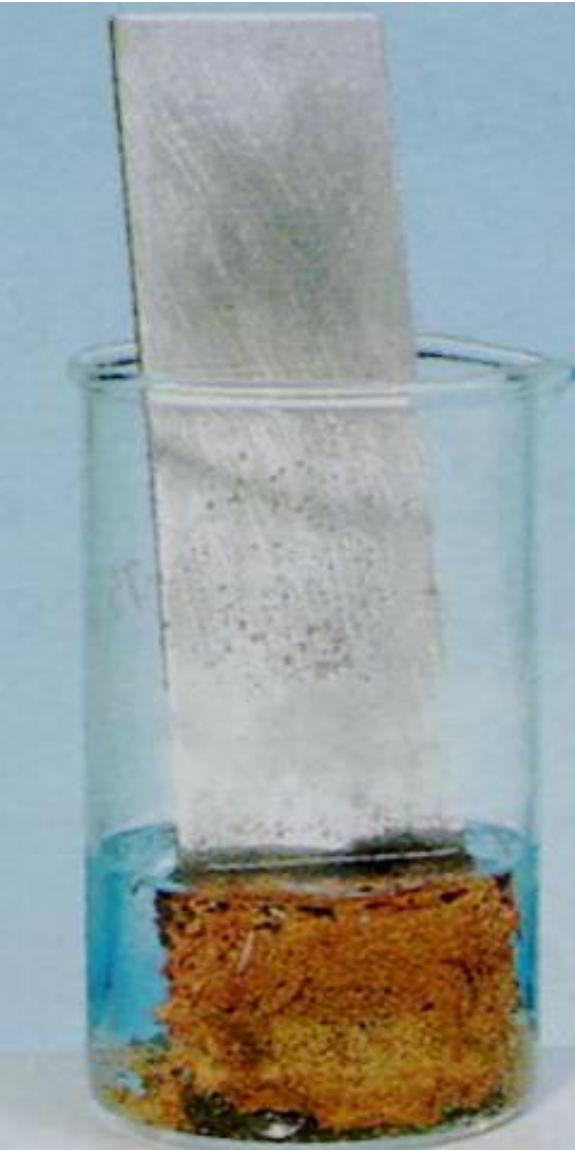


MONDE DES THÉORIES
ET DES MODÈLES

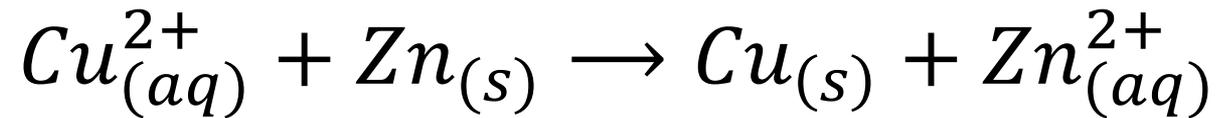


MONDE MATÉRIEL
Objets / événements

Un exemple classique...

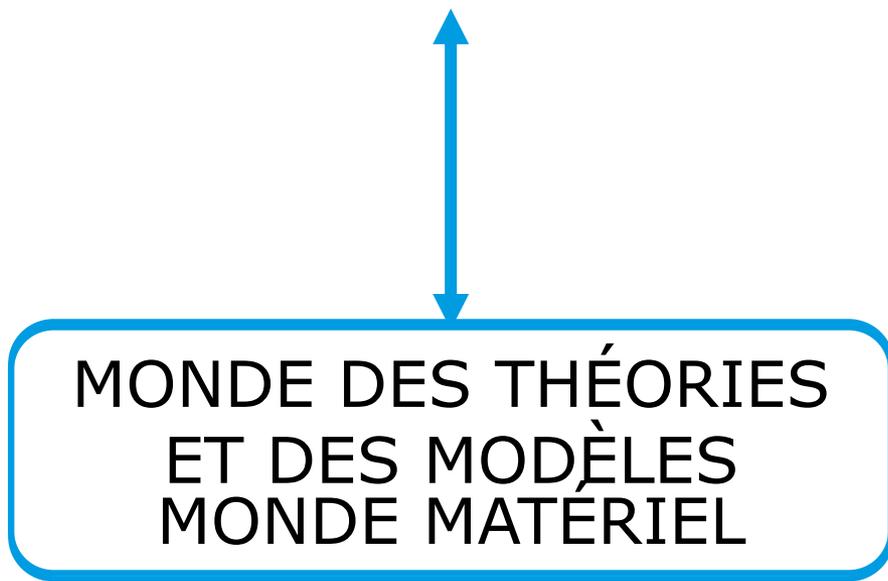
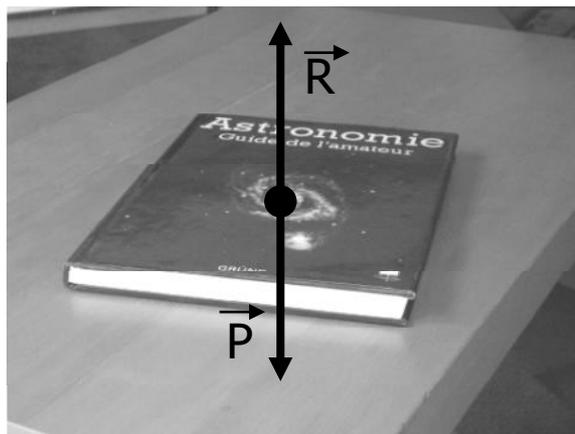
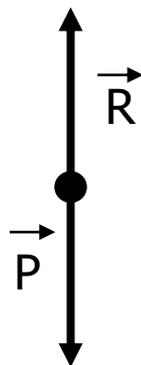


MONDE DES THÉORIES
ET DES MODÈLES



MONDE MATÉRIEL
Objets / événements

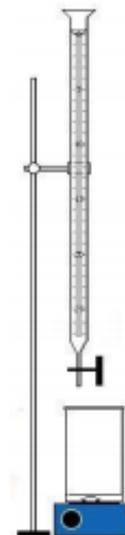
Le risque de la superposition des deux mondes...



Des confusions des deux mondes qui peuvent générer des « erreurs » ou des quiproquos...

Titrage

« L'équivalence est obtenue lorsqu'on a versé suffisamment de solution titrante pour faire réagir toute la solution titrée initiale »



Ou des ambiguïtés...

Optique

Justifier que l'image est à X cm de la lentille.

E1 : « parce que si je mets un écran à X cm de la lentille, je vois net »

E2 : « car d'après la relation de conjugaison, $\overline{OA'} = X \text{ cm.}$ »



Des confusions des deux mondes qui peuvent générer des expressions gênantes...

La température est de plus en plus chaude

La vitesse va moins vite, est uniforme, accélère...

Le sens fait demi-tour

L'énergie s'épuise

L'onde sonore se répand dans la pièce

Un acide est une solution qui peut céder un proton

Ce pH est acide

L'image est nette

Exemple de confusion des « deux mondes »

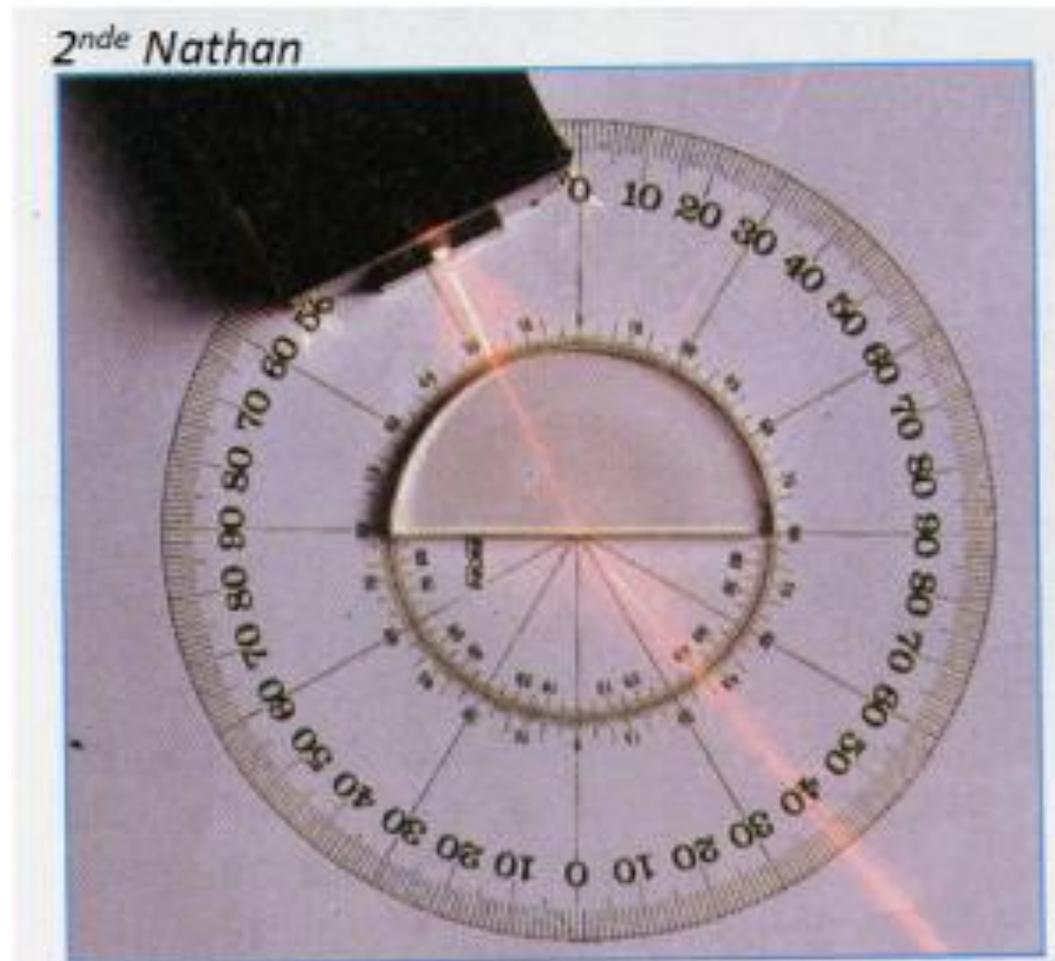
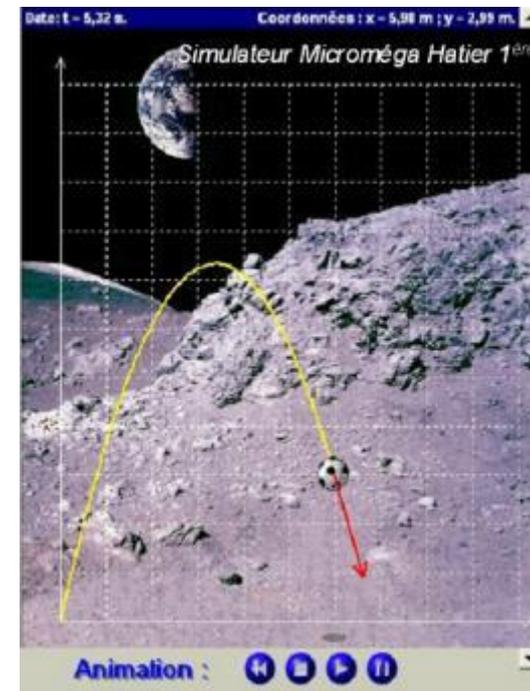
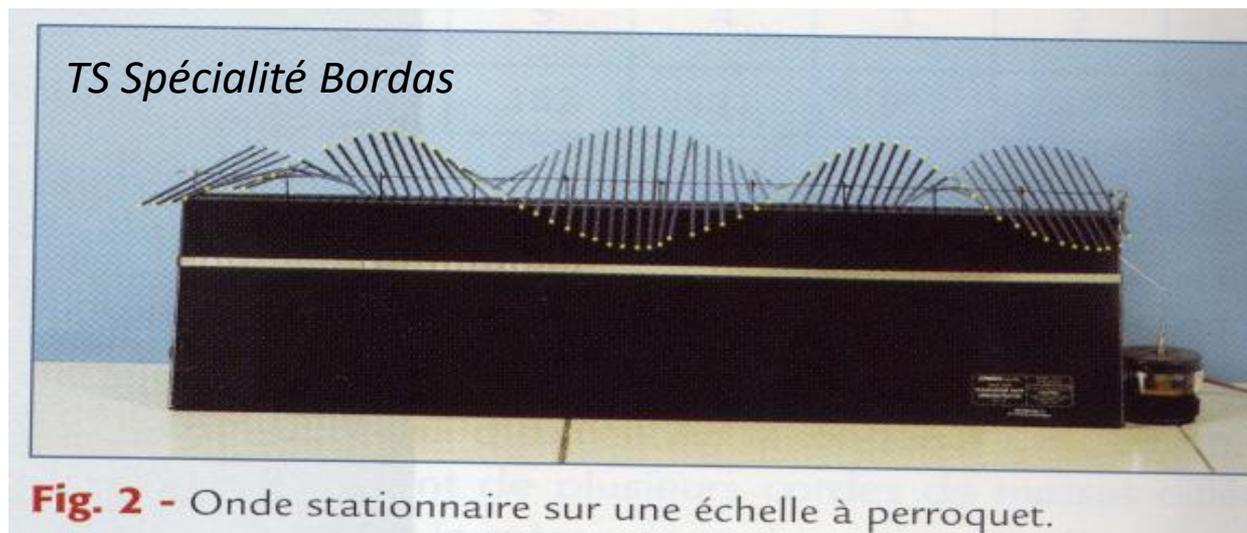
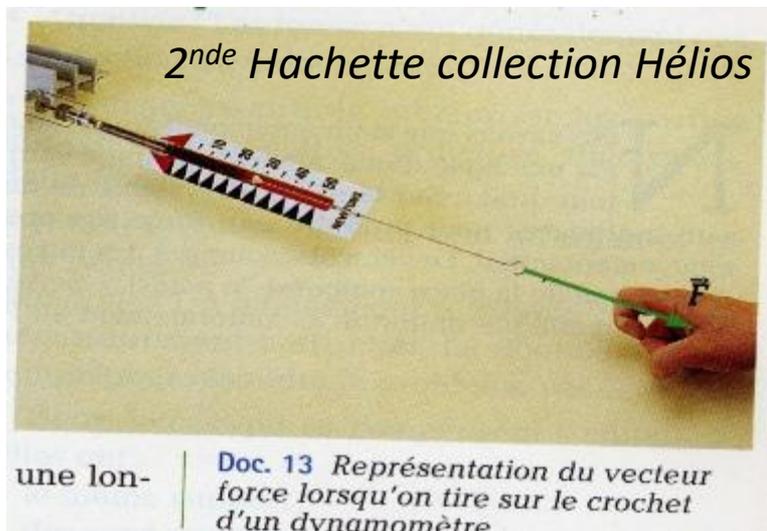


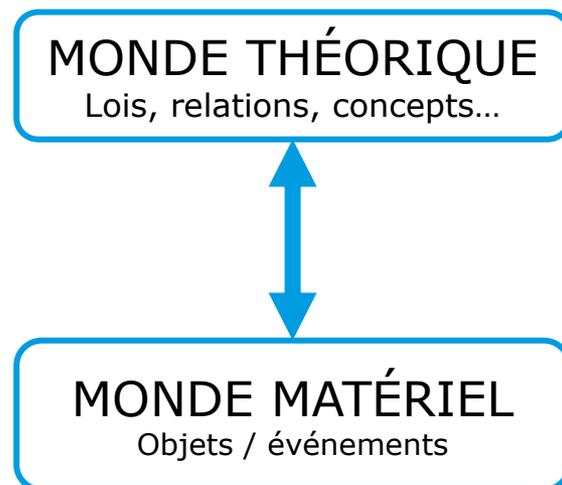
Fig. 6 Passage de la lumière du Plexiglas dans l'air ($i = 26^\circ$ et $r = 40^\circ$).

Exemple de confusion des « deux mondes »



Un enjeu d'apprentissage à expliciter

- Inhérent à la démarche scientifique
- Exigeant pour l'élève
- Totalement intégré pour l'expert

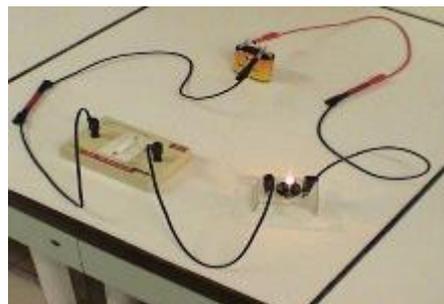
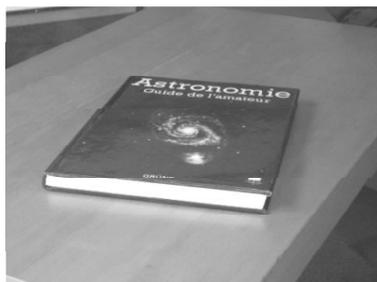


« Les **concepts** apparaissant dans notre pensée et dans nos expressions de langage sont – d'un point de vue logique – **pures créations de l'esprit et ne peuvent pas provenir inductivement des expériences sensibles**. Ceci n'est pas si simple à admettre parce que nous unissons concepts et liaisons conceptuelles aux expériences sensibles si profondément habituelles que **nous perdons conscience de l'abîme** logiquement insurmontable entre le monde du sensible et celui du conceptuel et de l'hypothétique. »

A. Einstein,
Remarques sur la théorie de la connaissance de Bertrand Russel

Cette activité de modélisation nécessite d'étudier des situations "simples" ou très épurées...

- pour lesquelles l'explication ou l'interprétation en physique-chimie n'a pas *a priori* un intérêt immédiat
- éloignées des situations que les élèves pourraient avoir envie de comprendre...



... et qu'il faudra tenter de lier à des situations courantes éventuellement plus complexes

Cette activité de modélisation nécessite d'étudier des situations "simples" ou très épurées...

C'est parfois assumé

DNB Amérique du Nord 2022

Exploration de la planète Mars

La sonde spatiale Mars 2020, développée par la NASA, a été lancée le 30 juillet 2020. Après un long voyage, elle est arrivée dans l'atmosphère de Mars le 18 février 2021 à 21 h 38. Cette sonde a permis de déposer sur le sol martien un petit véhicule tout terrain, appelé rover Perseverance.

L'entrée de la sonde dans l'atmosphère de Mars, jusqu'à l'atterrissage du rover, comporte plusieurs phases décrites par le dessin suivant. Les vitesses indiquées sont celles de la sonde.

Après l'atterrissage, le rover reste immobile pendant plusieurs jours, le temps de vérifier le bon fonctionnement des instruments scientifiques embarqués.

Question 5 (2 points) : en négligeant l'action de l'atmosphère martienne, identifier les actions mécaniques qui s'exercent sur le rover immobile.

Question 6 (4 points) : schématiser le rover par un rectangle et représenter, au choix, la force modélisant l'une des actions mécaniques par un segment fléché à l'échelle 1 cm pour 1000 N. Justifier la longueur du segment fléché.

Que faire pour expliciter ?

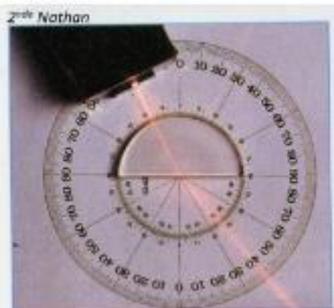


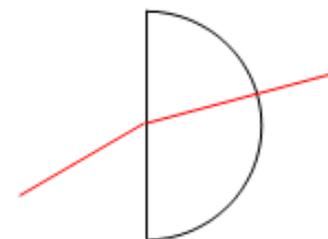
Fig. 6 Passage de la lumière dans l'air ($i = 26^\circ$ et $r = 19^\circ$)

B- Choix d'un modèle parmi les deux restants, à partir de mesures

Pour essayer de trouver le modèle le plus adapté, on fait des mesures d'angles : pour différents angles d'incidence on mesurera l'angle de réfraction. On dispose pour ceci d'un laser, d'une feuille servant de rapporteur (360°), d'un demi-cylindre constitué d'un matériau transparent.

Préparation et compréhension du dispositif

- 1) Expliquer pourquoi si la lumière entre par la face plane au niveau du point O, elle n'est pas déviée lorsqu'elle sort par la face arrondie (schéma ci-contre).
- 2) En déduire comment on a intérêt à positionner le demi-cylindre sur le rapporteur, lorsqu'on veut mesurer facilement les angles d'incidence et de réfraction. Représenter le demi-cylindre sur le rapporteur ci-contre. **Appeler le professeur lorsque vous avez fait une mesure d'un angle d'incidence et d'un angle de réfraction.**



Mesures

Les mesures des angles sont regroupées dans le tableau ci-dessous. Vérifier rapidement que vous trouvez les mêmes valeurs et compléter les deux colonnes incomplètes.

Que faire pour expliciter ?



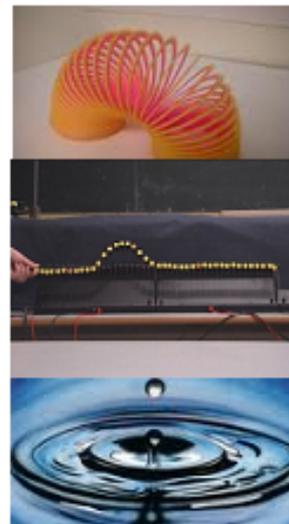
- *Permettre la mise en lien par l'élève*
- *Donner un statut effectif aux concepts*

Chapitre 1 - Ondes progressives

Activité 1 (expérimentale) Un même modèle pour différentes situations.

En physique, on décrit grâce à un même modèle les cinq situations disponibles dans la classe :

- Situation 1 :** Une corde est disposée horizontalement sur le sol. On soulève puis repose brièvement son extrémité libre.
- Situation 2 :** On agite l'extrémité d'une drôle de machine, appelée « échelle de perroquet » ou « ondoscope ».
- Situation 3 :** Un long ressort est tendu par terre. On comprime brièvement une de ses extrémités.
- Situation 4 :** De l'eau stagne dans un récipient. Un objet pointu est brièvement enfoncé dans l'eau.
- Situation 5 :** Un haut-parleur est alimenté par un GBF pour émettre un son.



Indiquer par écrit deux propriétés qui vous semblent communes à ces différentes situations.

Après mise en commun et discussion par groupe de 4, proposer sur une feuille A3 une définition d'une onde mécanique



Vous disposez des § A et B du modèle

Un exemple de conséquence

➔ Ne pas dérouter l'élève : *Présenter la façon dont la physique et la chimie fonctionnent*

Assumer que modéliser ce n'est pas copier la réalité mais implique de perdre des informations

Activité 1. Représentation d'un objet par un point.

Quelles informations perd-on sur le mouvement si on représente chacun des objets suivants par un point particulier ?

Objet	Point représentant l'objet	Informations perdues (aucune ou préciser lesquelles)	Informations conservées (aucune ou préciser lesquelles)
balle de tennis	le centre de la balle		
roue de vélo	le centre de la roue		
un parachutiste qui tombe verticalement, son parachute étant ouvert	le point d'attache du parachute		

Notions et contenus	Capacités exigibles <i>Activités expérimentales support de la formation</i>
1. Décrire un mouvement	
Système. Échelles caractéristiques d'un système. Référentiel et relativité du mouvement. Description du mouvement d'un système par celui d'un point. Position. Trajectoire d'un point.	Identifier les échelles temporelles et spatiales pertinentes de description d'un mouvement. Choisir un référentiel pour décrire le mouvement d'un système. Expliquer, dans le cas de la translation, l'influence du choix du référentiel sur la description du mouvement d'un système. Décrire le mouvement d'un système par celui d'un point et caractériser cette modélisation en termes de perte d'informations.

Conséquences (en classe)

Assumer/expliciter les choix de modélisation

4. Pour modéliser l'atterrissage dans les quatre dernières secondes, on choisit de considérer que l'action de l'air est négligeable (la vitesse étant alors suffisamment faible) et que la masse du propulseur est constante (masse à l'atterrissage notée M). On note \vec{F} la force dite *de poussée* exercée sur le propulseur grâce à un unique moteur *Merlin* en marche.

Sujet zéro Spécialité - 2020

Penser à des « petits pas » de modélisation
(ce qui questionne les situations très ouvertes...)

Distinguer *physiquement* les éléments du modèle du reste des documents fournis

Une feuille à part

Éventuellement de couleur

Conséquences (en classe)

Penser les consignes

Justifier, expliquer, commenter, caractériser, tester...

À quel niveau se situe la réponse attendue ?

Ressources d'accompagnement

Ressources transversales

* [Verbes d'action figurant dans les capacités exigibles des programmes de physique-chimie](#)

édUSCOL



Ce qu'on peut retenir...

- ✓ Modéliser est une activité intellectuelle qui, si elle est masquée, peut être source d'arbitraire ou de difficulté
- ✓ L'assumer et l'explicitier permet
 - de justifier les situations d'étude
 - de donner une image plus authentique de la discipline
 - d'anticiper et de comprendre les difficultés
 - de préciser les consignes

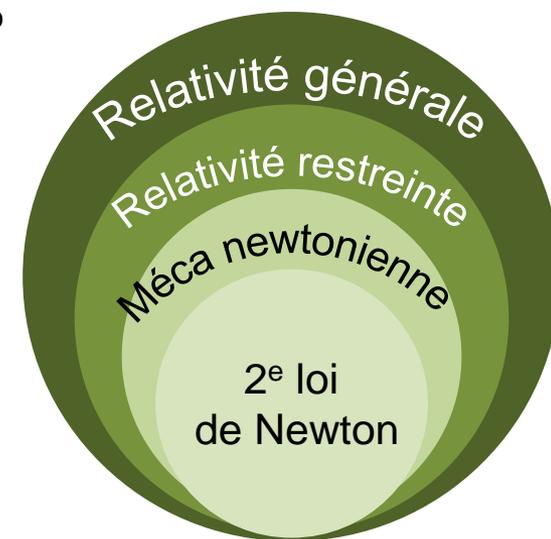
1. Une première approche de la modélisation
2. Pourquoi est-ce si important pour l'apprentissage ?
3. Caractérisation de la démarche de modélisation
4. Un outil pour concevoir son enseignement et pour aider les élèves ; types d'activités
5. Modélisation et incertitudes

Caractérisation de la démarche de modélisation

Théories et modèles

(point de vue épistémologique)

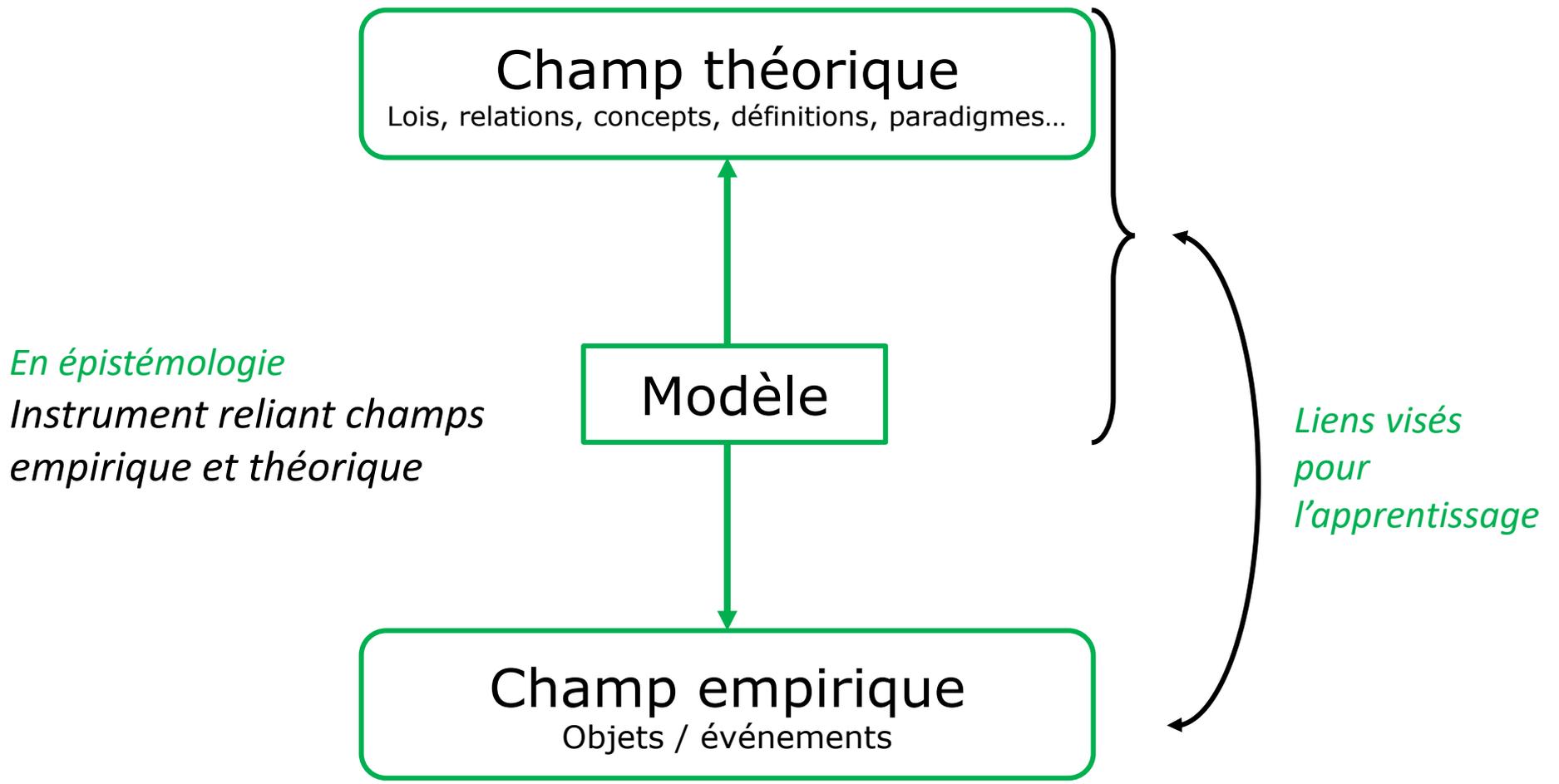
Des champs expérimentaux « couverts » de plus en plus vastes
Des théories « emboîtées » ou concurrentes



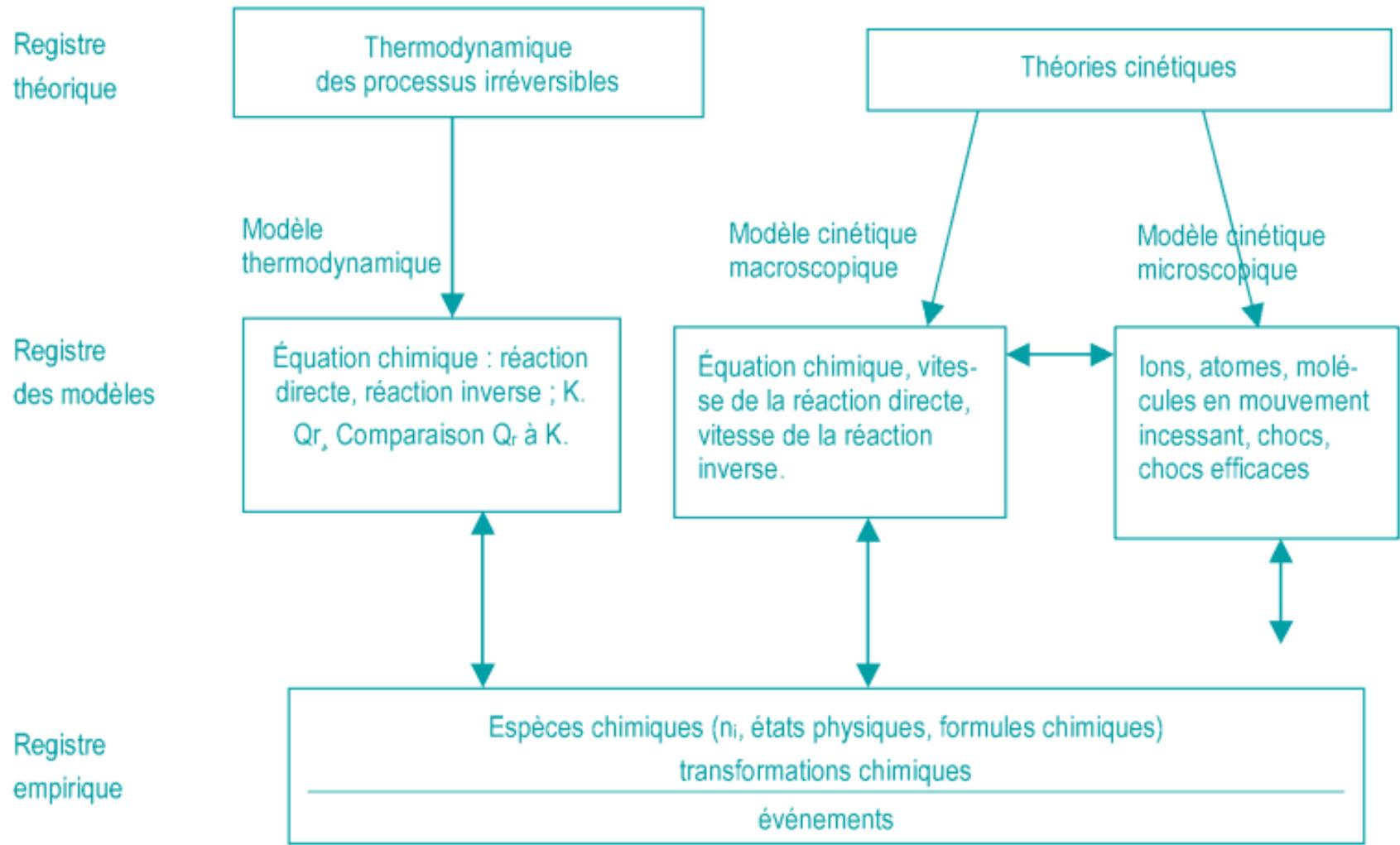
Dans l'enseignement secondaire, les grandes théories sont réduites à certains modèles théoriques, liés aux situations : *modèle de la chute libre, du pendule simple, du gaz parfait...*

Le « modèle théorique » a une valeur **explicative** et **prédictive**

Une simplification



D'autres exemples



Différents modèles pour la transformation chimique (Extrait de Kermen & Méheut (2008))

Lorsqu'on peut distinguer théorie et modèles

Théorie de l'optique géométrique

- Source ponctuelle monochromatique
- Notion de rayon lumineux
- Indice optique n
- Lois de Descartes (réflexion et réfraction)
- Modèle de la lentille mince, centre et foyers
- Relations de conjugaison, grandissement
- ...

monde de la théorie

ces observations permettent de construire

modèle de la situation étudiée (hypothèses simplificatrices, ...)

cette théorie permet de comprendre

monde réel, des phénomènes, des observations, des expériences

- Formation des images par des lentilles, dioptrés, miroirs.
- Propagation et déviation de la lumière
- Dispersion de la lumière (par un prisme, arc en ciel, ...)
- ...

cette théorie ne permet pas de comprendre

- Diffraction de la lumière
- Phénomènes d'interférences
- Phénomènes avec polarisation
- Phénomènes avec aspect corpusculaire

Théorie de l'optique ondulatoire

- Source ponctuelle monochromatique
- Notion d'onde lumineuse
- Surface d'onde
- Indice optique n
- Chemin optique
- Théorème de Malus
- Modèle des trains d'onde, cohérence
- Additivité des vibrations $s(x,t)$, mais pas des intensités $\langle s^2(x,t) \rangle$
- ...

monde de la théorie

ces observations permettent de construire

modèle de la situation étudiée (hypothèses simplificatrices, ...)

cette théorie permet de comprendre

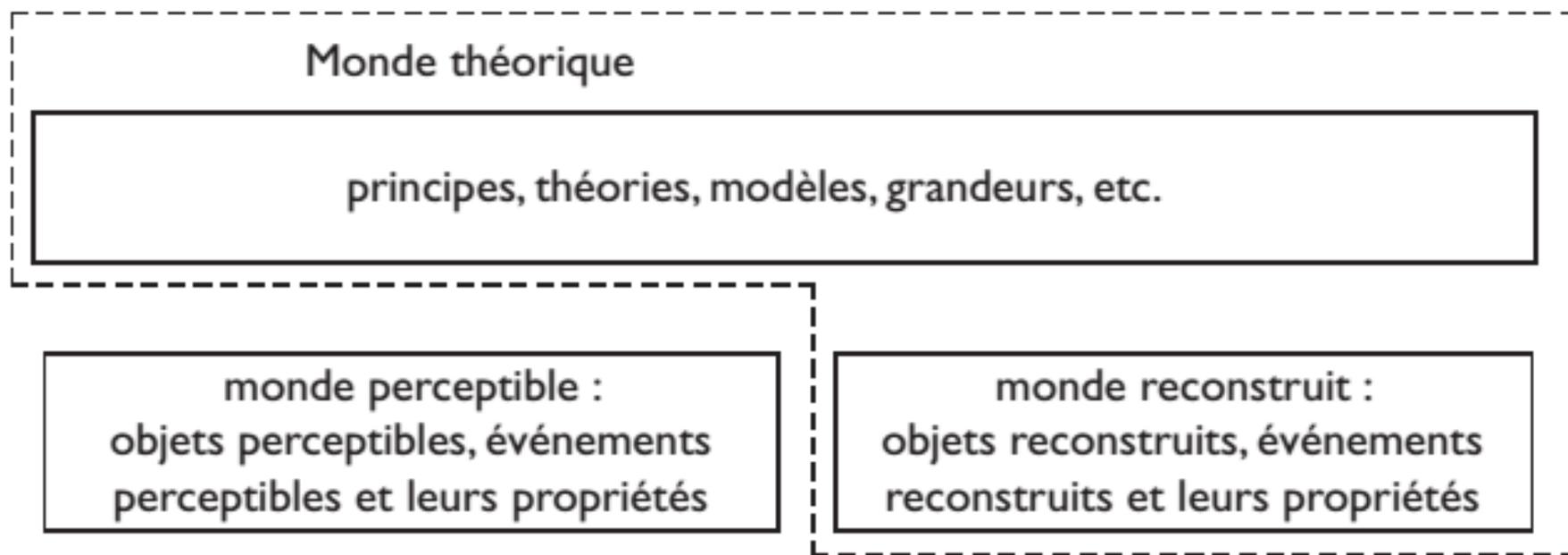
cette théorie ne permet pas de comprendre

- Idem optique géométrique
- Phénomènes de diffraction
- Phénomènes d'interférences (expériences du type trous d'Young, franges colorées sur les bulles de savon, ...)
- ...

- Phénomènes de polarisation (ou la nature vectorielle des champs est essentielle, cf électromagnétisme)
- Phénomènes où l'aspect corpusculaire est nécessaire (lumière = collection de photons) : effet photoélectrique, ...
- ...

La place des modèles

(point de vue épistémologique)

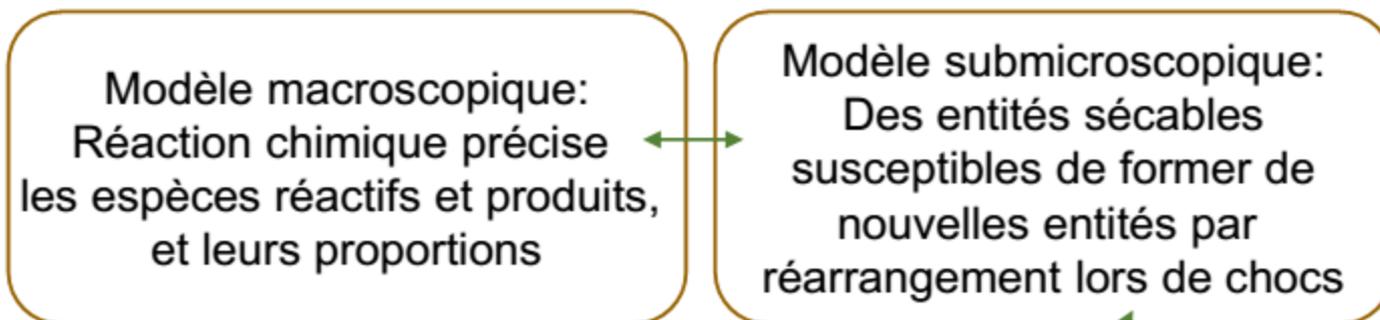


Le Maréchal & Bécu-Robinault (2006)

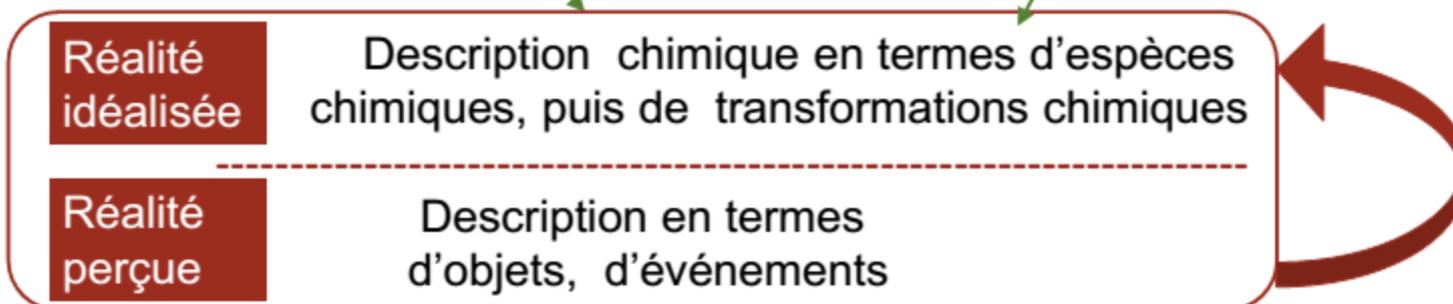
La place des modèles

(point de vue épistémologique)

Registre
des modèles

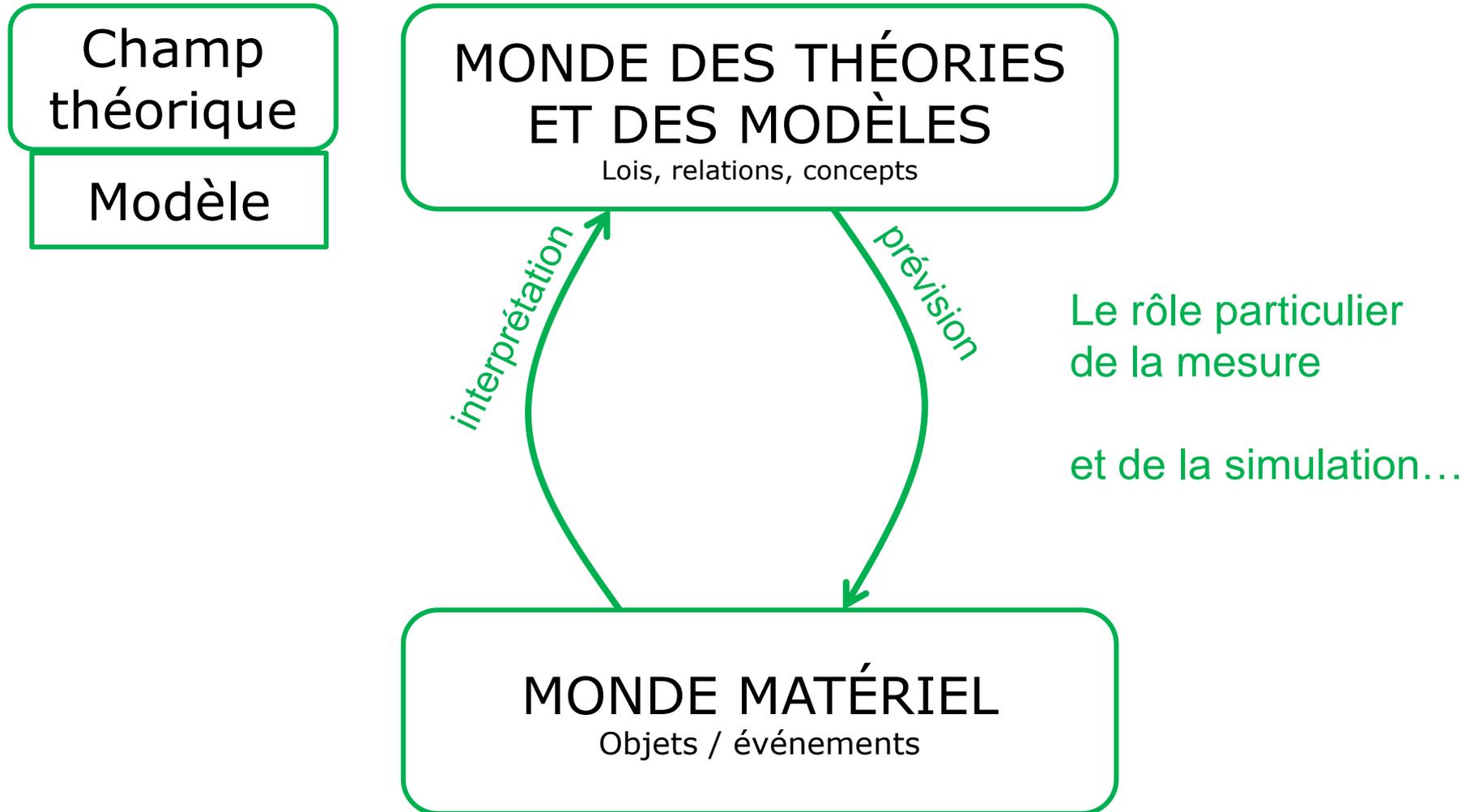


Registre
expérimental



I. Kermen

Une simplification



Les modèles descriptifs

→ Représentation d'une situation en sélectionnant certains aspects, certains paramètres :

« **Modèle d'objets ou d'événements** » / « **Réalité idéalisée** »

Halbwachs (1974) : « un modèle est une représentation d'une situation physique »

Réaction chimique

Onde progressive

Espèce chimique

Image optique

Point matériel

Source idéale de tension

Rayon lumineux

Ces modèles n'ont pas de valeur explicative en eux-mêmes

Des exemples de modèles descriptifs...

le modèle est ce qui *imite* la réalité, une réalité idéalisée...



Les modèles descriptifs

MONDE DES THÉORIES ET
DES MODÈLES

Modèle d'objets
Modèle descriptif

Chercher du commun,
faire des choix, épurer...

MONDE
MATÉRIEL
Objets / événements

Condensateur 



Des exemples de modèles descriptifs...

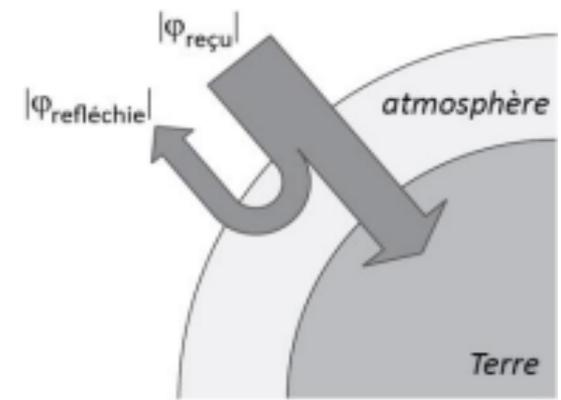
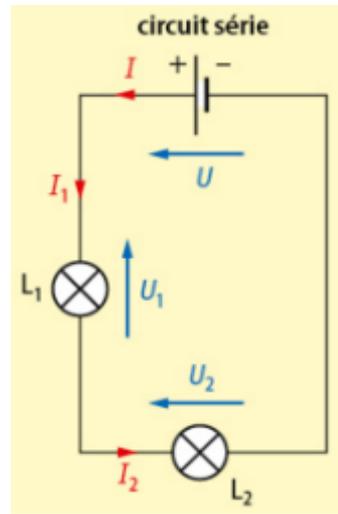
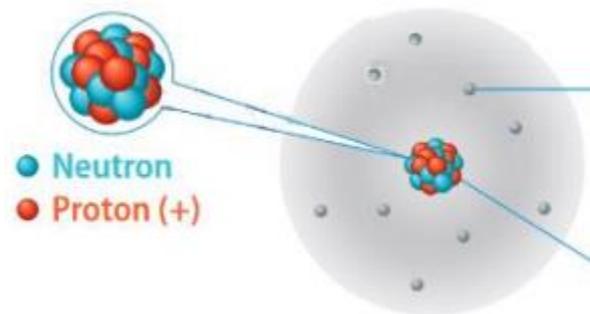
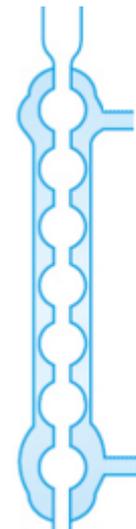
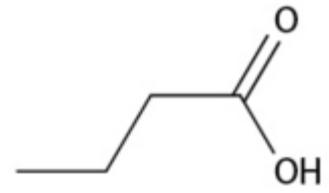
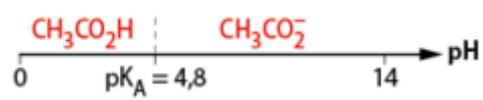
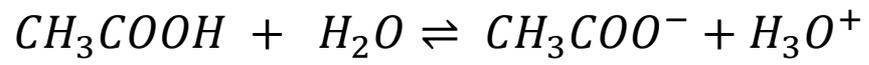
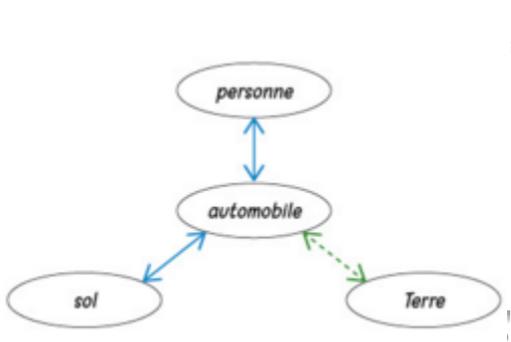


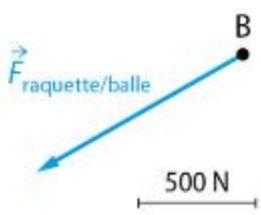
Figure 3 – Lunette astronomique



voire même :

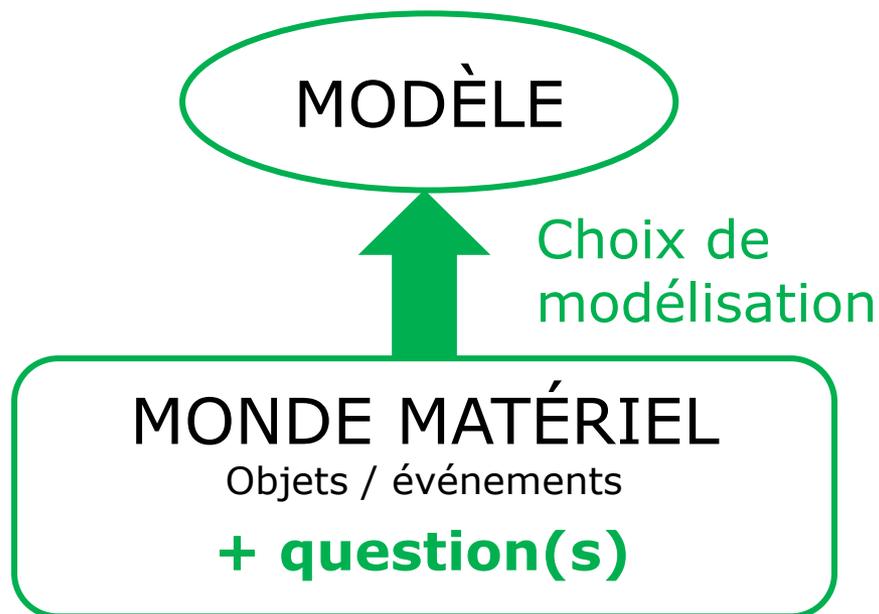


Modélisation de l'action de la raquette

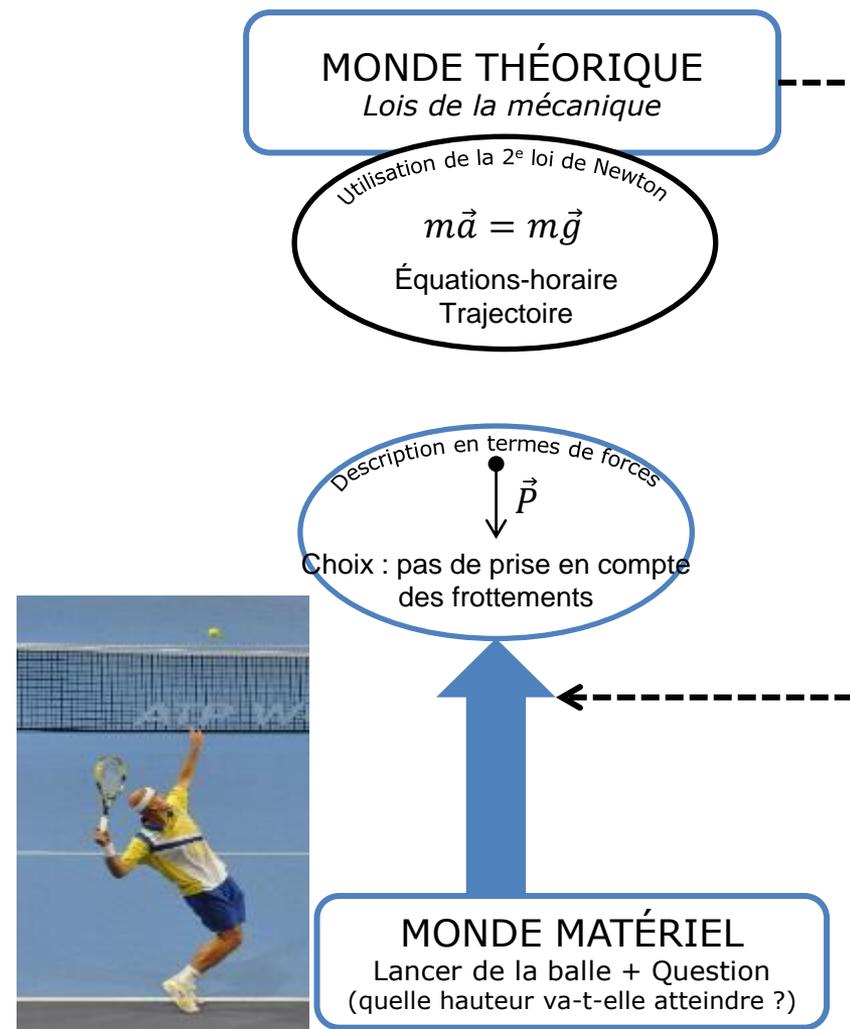
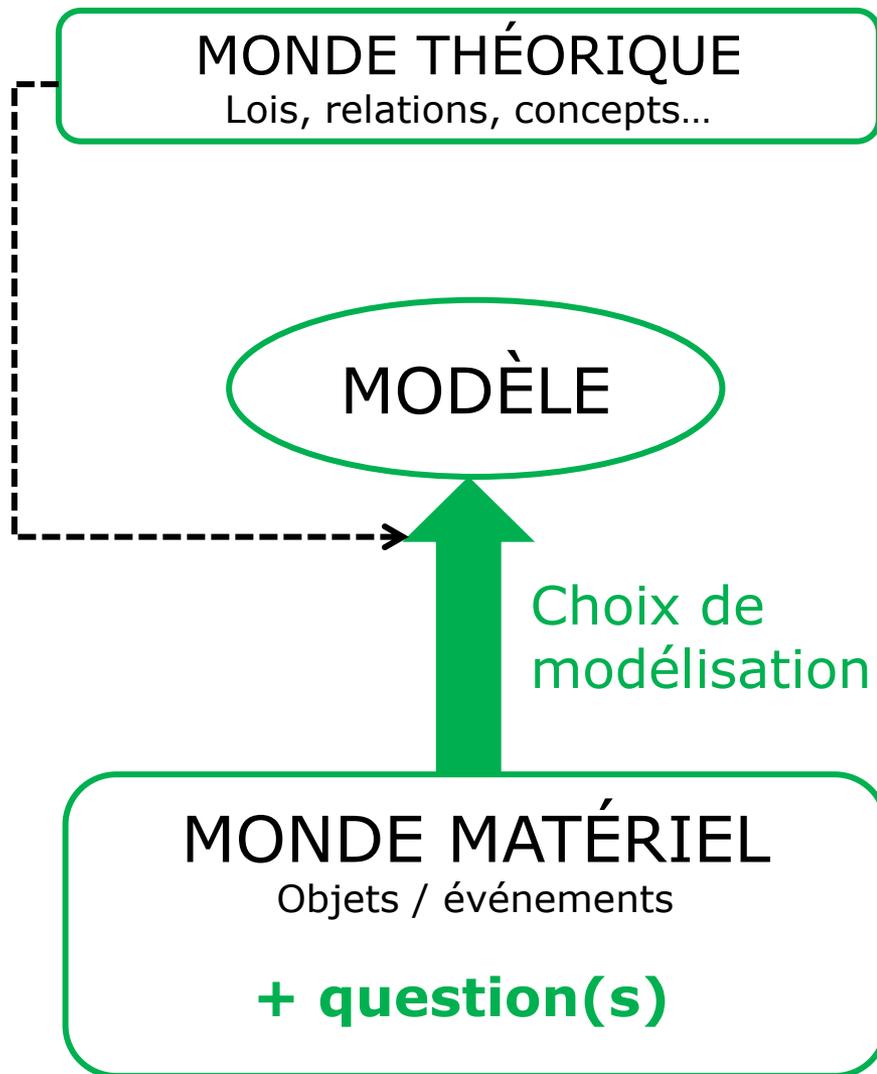


Le modèle comme « opérateur sélectif »

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**, il aide à **sélectionner** des données d'une expérience, il sépare le pertinent du non pertinent **par rapport à la problématique** considérée, le modèle est **un fictif réalisé** » ; « le modèle n'est jamais pris en soi. Il est toujours **relationnel** »



Le modèle comme « opérateur sélectif »



Les modèles explicatifs

Un modèle explicatif met en lien des phénomènes et/ou des concepts

→ Il établit des causalités

Lois, principes, théorèmes, relations...

2^{de} loi de Newton

Loi de Beer-Lambert

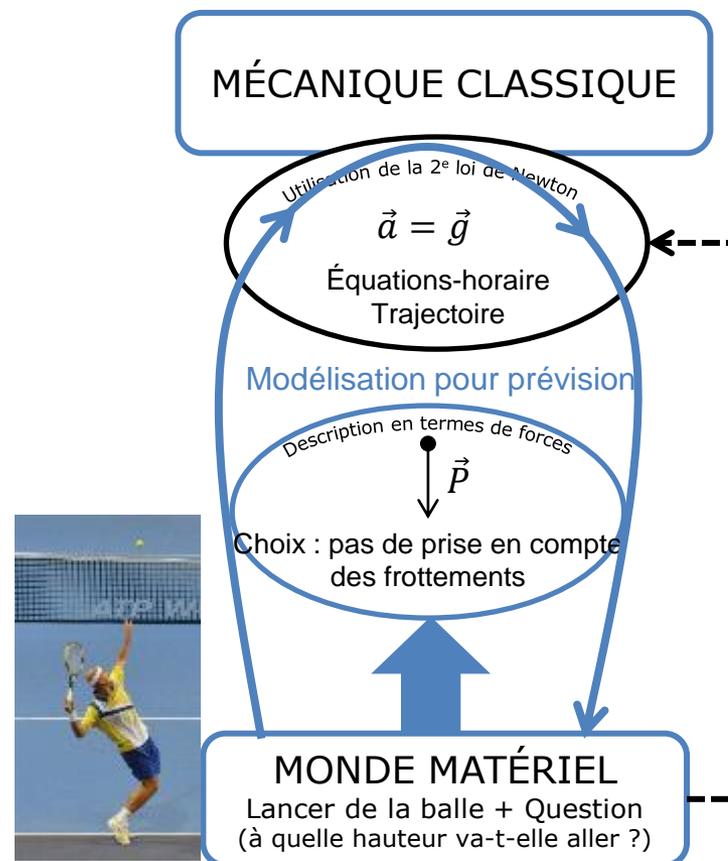
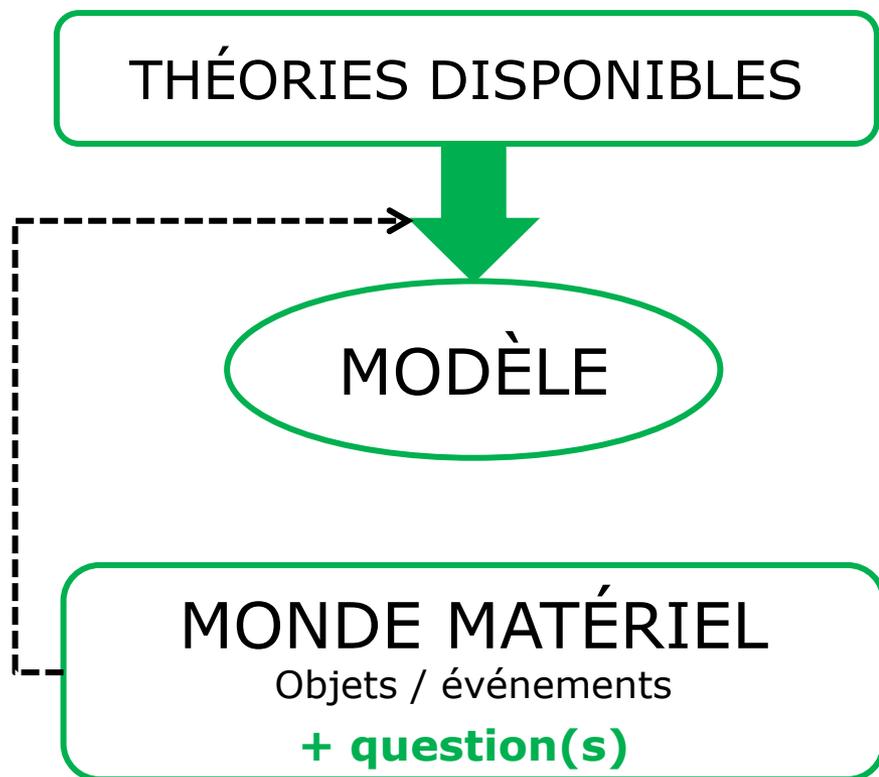
Relation de conjugaison

Conditions d'interférences constructives

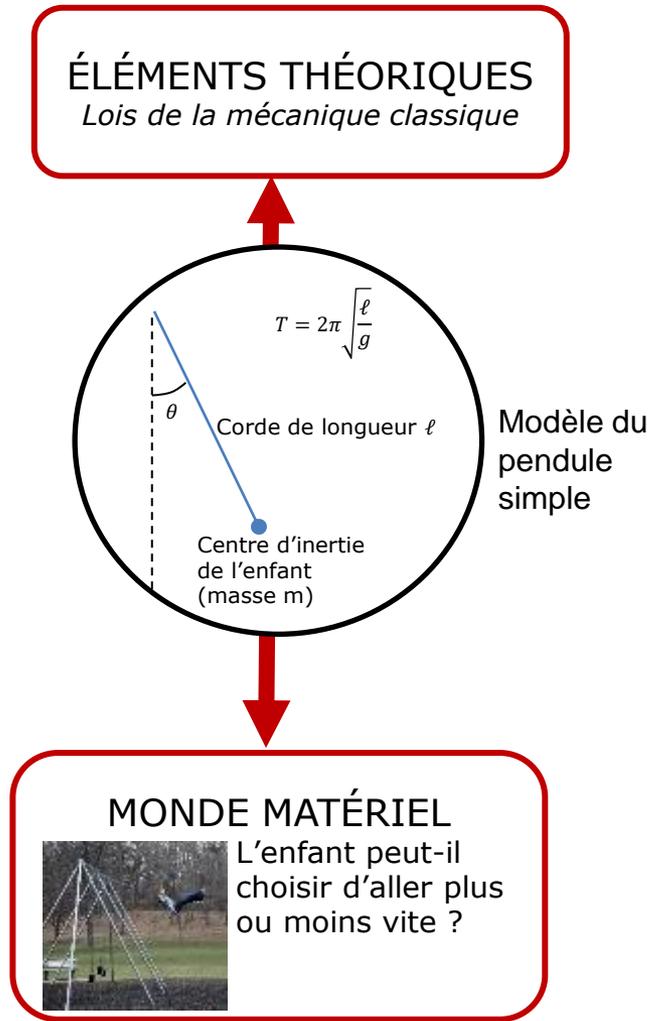
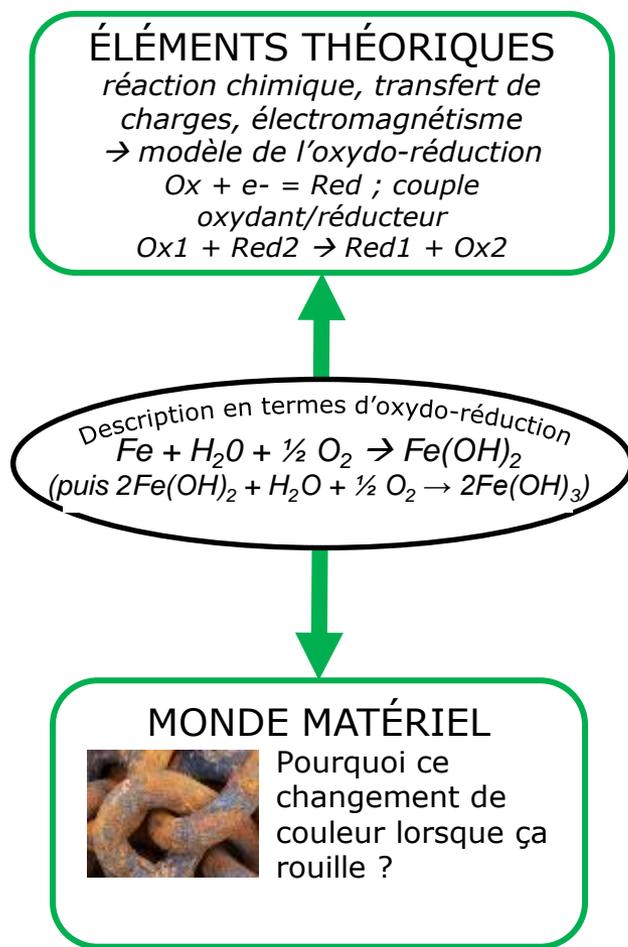
1^{er} principe de la thermo

→ *Le modèle explicatif a besoin de modèles descriptifs*

Le modèle issu de théories plus vastes



D'autres exemples



Lorsqu'on devient expert...

Les choix de modélisation peuvent être déjà effectués ou masqués :

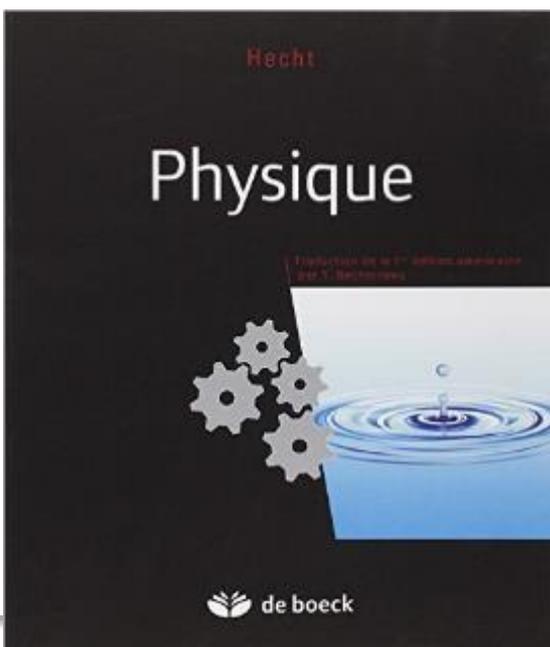
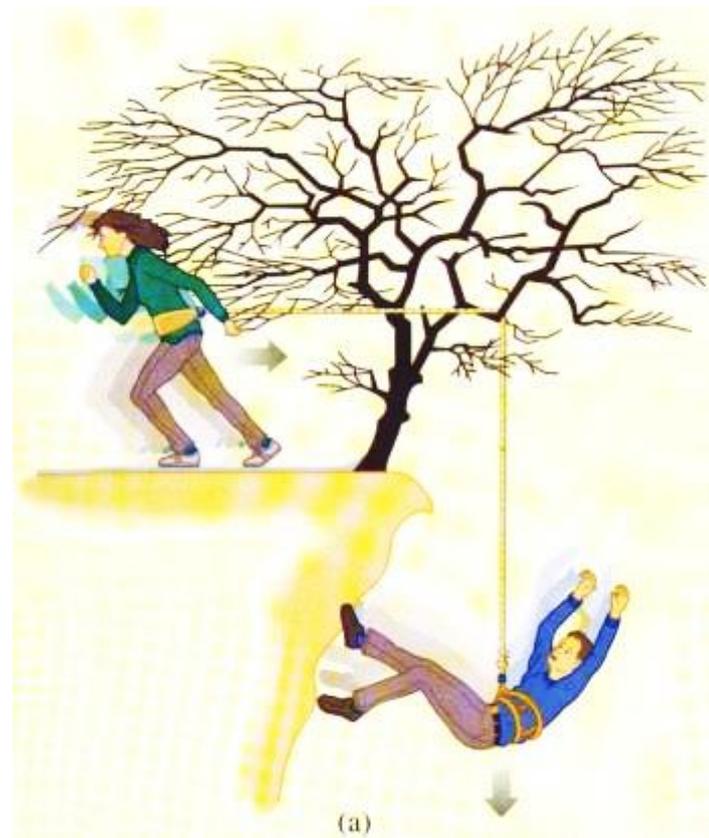
l'élève est immédiatement dans le modèle de la situation.

Conséquences *possibles* :

- il y a un risque de laisser croire qu'on n'étudie que des situations idéales
- le retour à la situation initiale après traitement des éléments théoriques peut poser problème

Pour le post-bac... Une modélisation par toujours assumée

Exemple 5.7 Florence ($m_F = 50$ kg) et son ami Grégoire ($m_G = 70$ kg) sont liés ensemble par une corde de masse négligeable. Elle est debout, sans frottement, sur une plaque horizontale de glace mouillée quand son ami tombe accidentellement d'une falaise (Fig. 5.17a). La corde passe sans frottement sur la branche d'un arbre. Nous supposons que la partie de la corde vers la fille est horizontale. Déterminer (a) la tension de la corde et (b) les accélérations des amoureux.



Partie II - Le manchot empereur

Le manchot empereur *Aptenodytes forsteri* est la plus grande espèce de manchots, avec en moyenne une taille de 1,2 m et une masse corporelle de 30 kg. Ce manchot est capable d'affronter sur de longues durées les conditions climatiques extrêmes de l'Antarctique, caractérisées par des températures moyennes de -40 °C lors des longues nuits polaires du mois de juin et des températures ressenties atteignant les -200 °C lorsque le blizzard souffle au plus fort. Le secret de cette exceptionnelle capacité d'isolation thermique réside dans toute une série d'adaptations, en particulier physiologiques et comportementales.

Du point de vue des échanges thermiques, on modélise un manchot par un cylindre d'axe (O, \vec{u}_z) , de rayon $R = 10\text{ cm}$, de longueur $\ell = 1,2\text{ m}$, recouvert successivement :

- d'une couche de graisse d'épaisseur $e_g = 2,0\text{ cm}$ et de conductivité thermique $\lambda_g = 0,20\text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$;

- d'une couche de filaments duveteux enfermant une épaisseur $e_a = 1,0\text{ cm}$ d'air de conductivité thermique $\lambda_a = 0,026\text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$;

- d'une couche très dense de plumes courtes et raides, disposées en diagonale et imbriquées les unes dans les autres pour former un véritable « coupe-vent » imperméable à l'eau, d'épaisseur $e_p = 2,0\text{ cm}$ et de conductivité thermique $\lambda_p = 0,035\text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Q20. Donner l'expression en la justifiant de la résistance thermique totale $R_{th,tot}$ du manchot en fonction de $R_{th,1}$ et $R_{th,2}$. En déduire la valeur de la puissance \mathcal{P}_m due au métabolisme nécessaire à un manchot pour maintenir une température interne $T_i = 37,7\text{ °C}$ dans un environnement à la température $T_e = -17\text{ °C}$ et en présence d'un vent de vitesse $V = 5,0\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Vérifier que la puissance \mathcal{P}_m est de l'ordre de 50 W.

Q21. À la lumière des résultats de l'équipe de recherche de Caroline Gilbert, discuter la modélisation effectuée dans cette partie. Expliquer brièvement pourquoi les grands rassemblements de manchots réduisent la puissance due à leur métabolisme.

Ce qu'on peut retenir...

- ✓ Dans l'enseignement secondaire, modèle et théories peuvent être confondus
- ✓ Un modèle peut être descriptif mais aussi explicatif
- ✓ L'activité de modélisation revêt des facettes variées qui permettent de décrire les capacités visées pour les élèves

1. Une première approche de la modélisation
2. Pourquoi est-ce si important pour l'apprentissage ?
3. Caractérisation de la démarche de modélisation
4. Un outil pour concevoir son enseignement et pour aider les élèves ; types d'activités
5. Modélisation et incertitudes

Un outil pour concevoir son enseignement et pour aider les élèves

Apprendre en physique



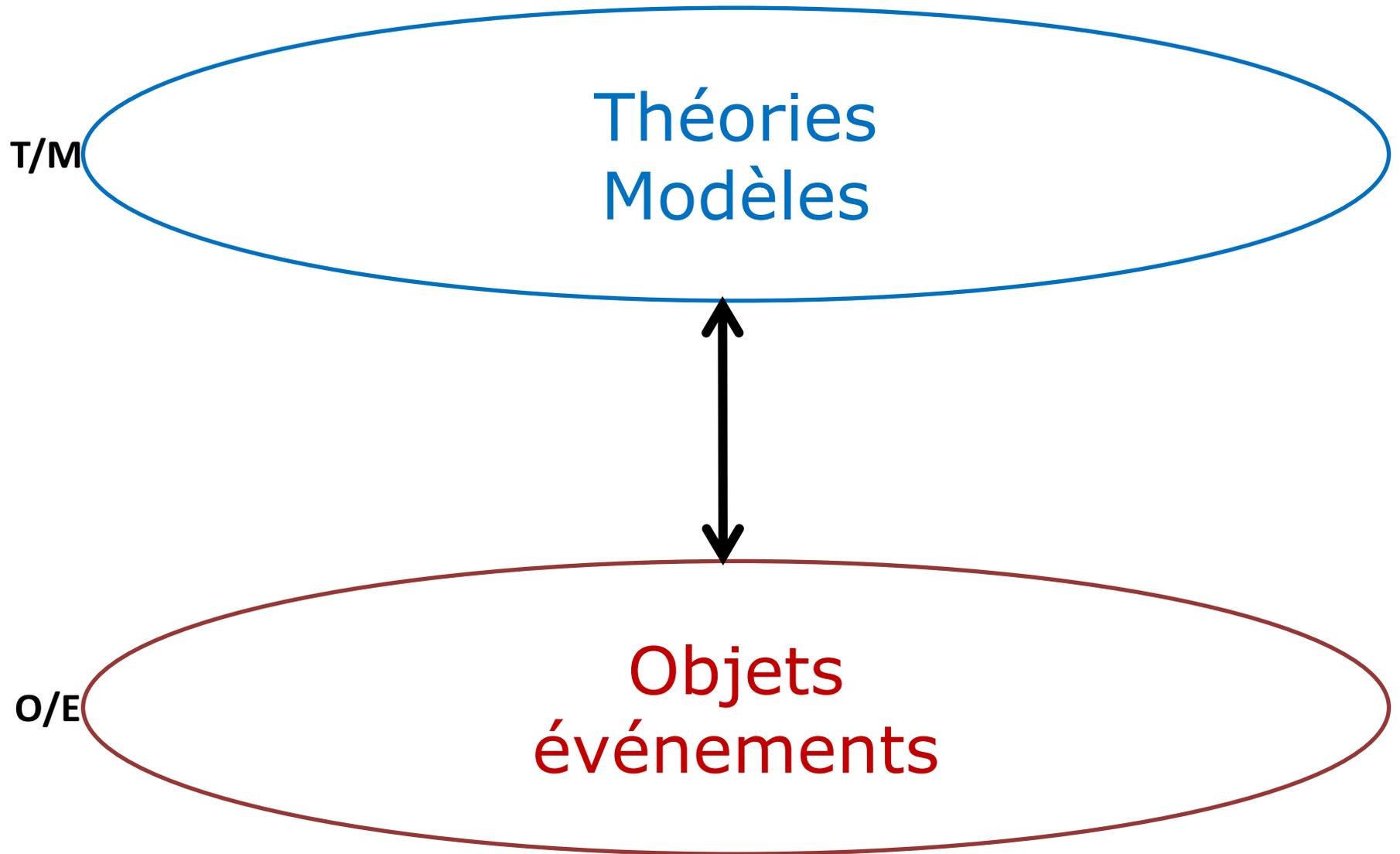
Extraits des préambules

Repères pour l'enseignement

Le professeur est invité à :

- privilégier la mise en activité des élèves en évitant tout dogmatisme ;
- permettre et encadrer l'expression des conceptions initiales ;
- valoriser l'**approche expérimentale** ;
- contextualiser les apprentissages pour leur donner du sens ;
- procéder régulièrement à des **synthèses** pour expliciter et structurer les savoirs et savoir-faire et les appliquer dans des contextes différents ;
- tisser des liens aussi bien entre les notions du programme qu'avec les autres enseignements notamment les mathématiques, les sciences de la vie et de la Terre et l'enseignement « Sciences numériques et technologie » ;
- favoriser l'acquisition d'automatismes et développer l'autonomie des élèves en proposant des temps de travail personnel ou en groupe, dans et hors la classe.

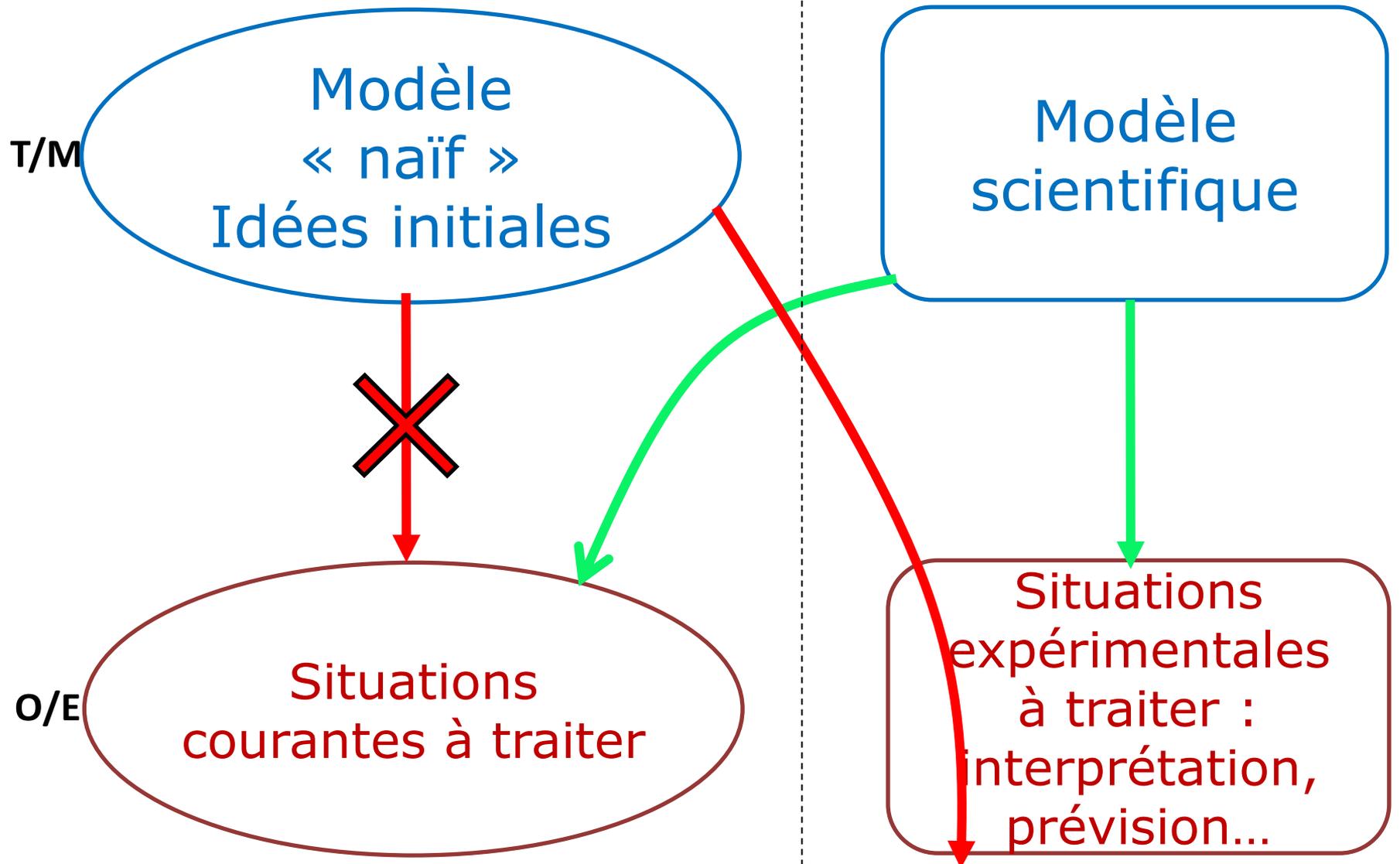
Apprendre en physique



Apprendre en physique

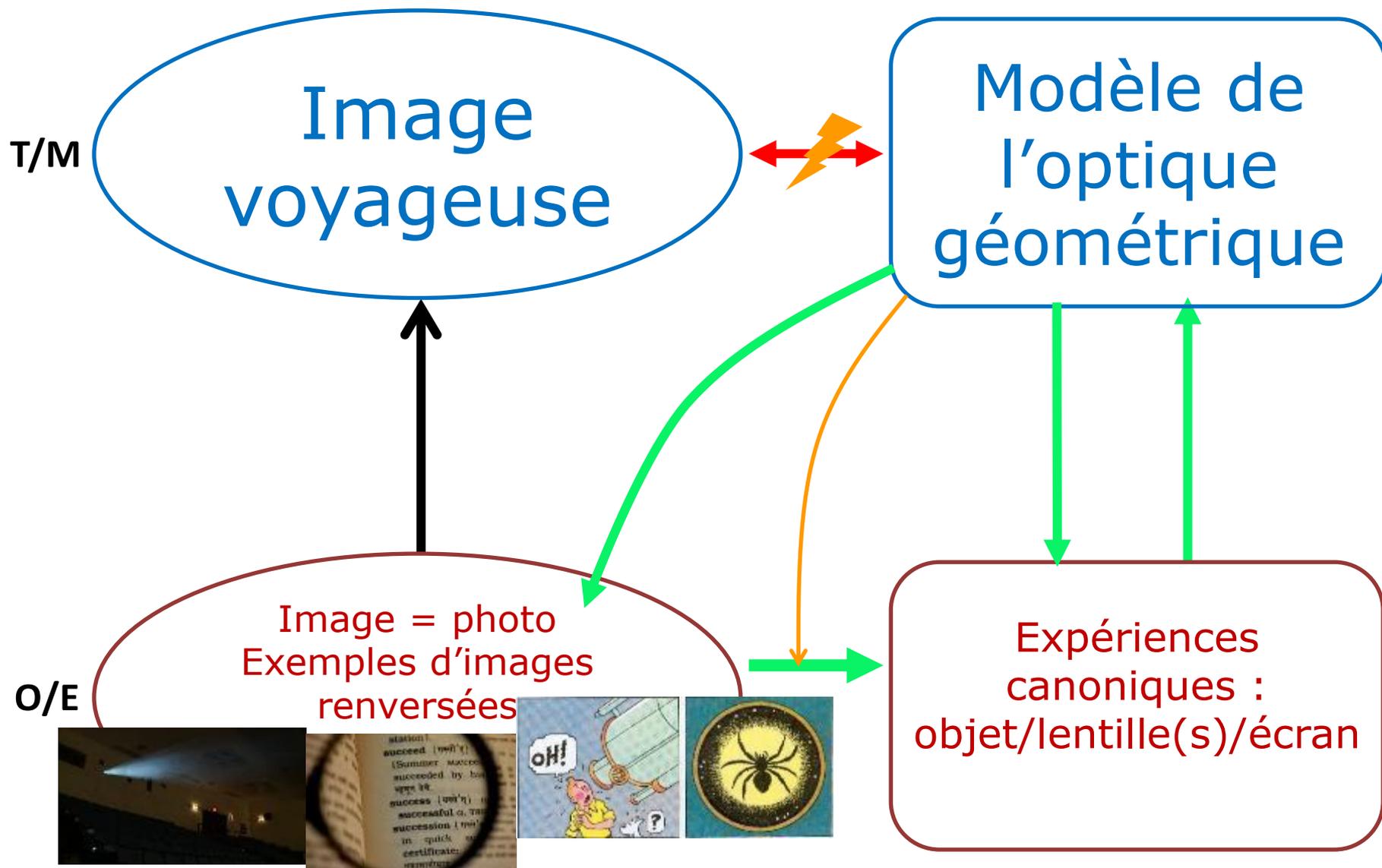
Vie quotidienne

Physique



Production erronée

De 2 à 4 mondes



Apprendre en physique

Vie quotidienne

Physique

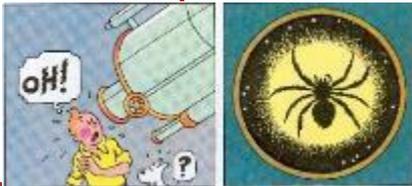
T/M

Image voyageuse



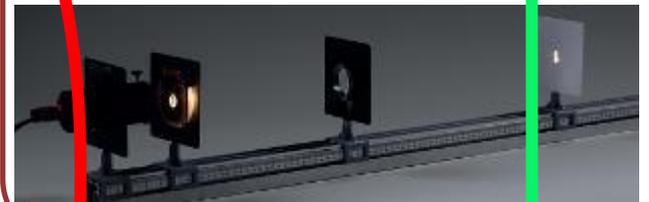
O/E

Araignée sur l'objectif : est-ce possible ?



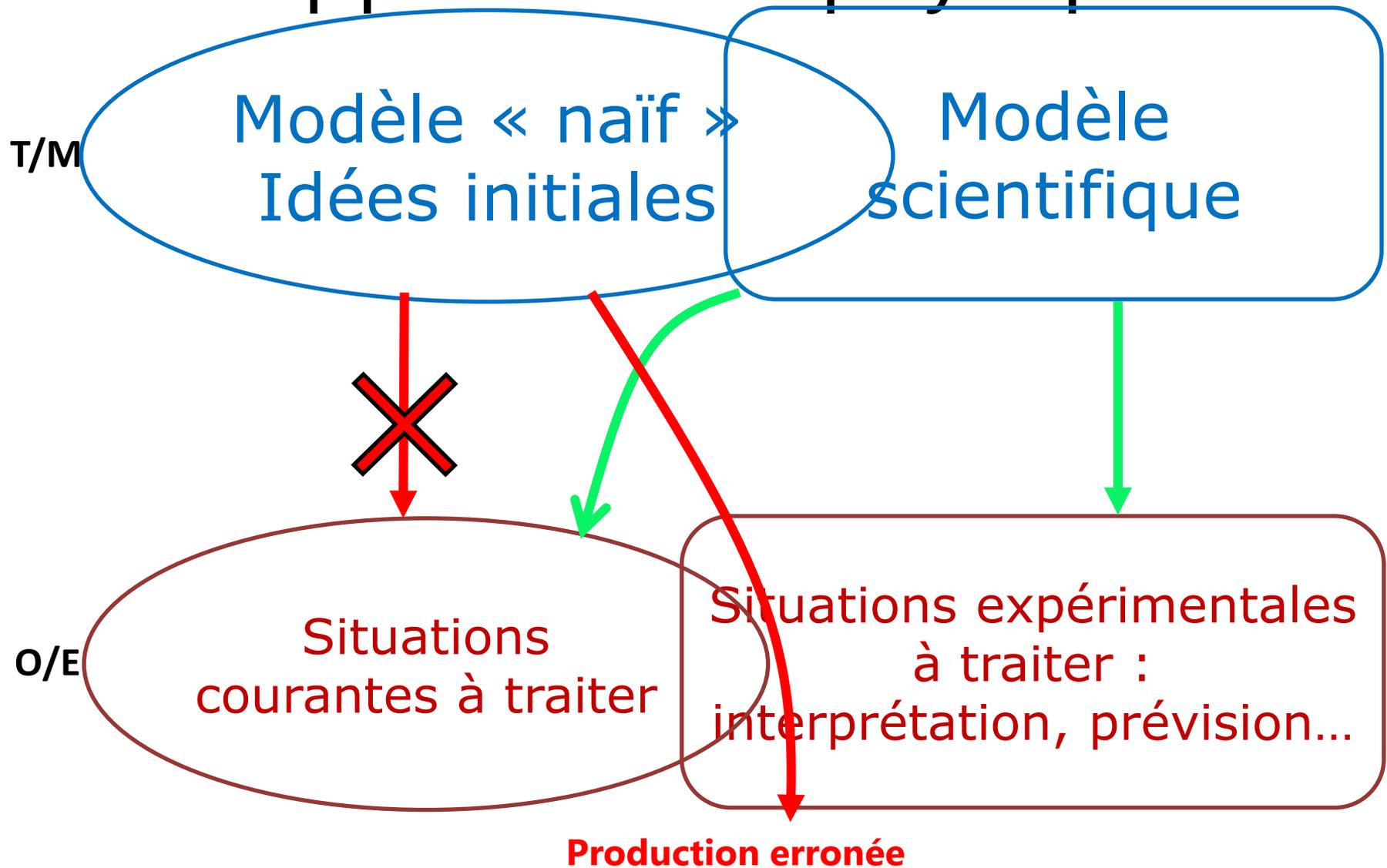
Modèle de l'optique géométrique

Que voit-on si on cache la moitié supérieure de la lentille ?



La moitié de l'image L'image moins lumineuse

Apprendre en physique

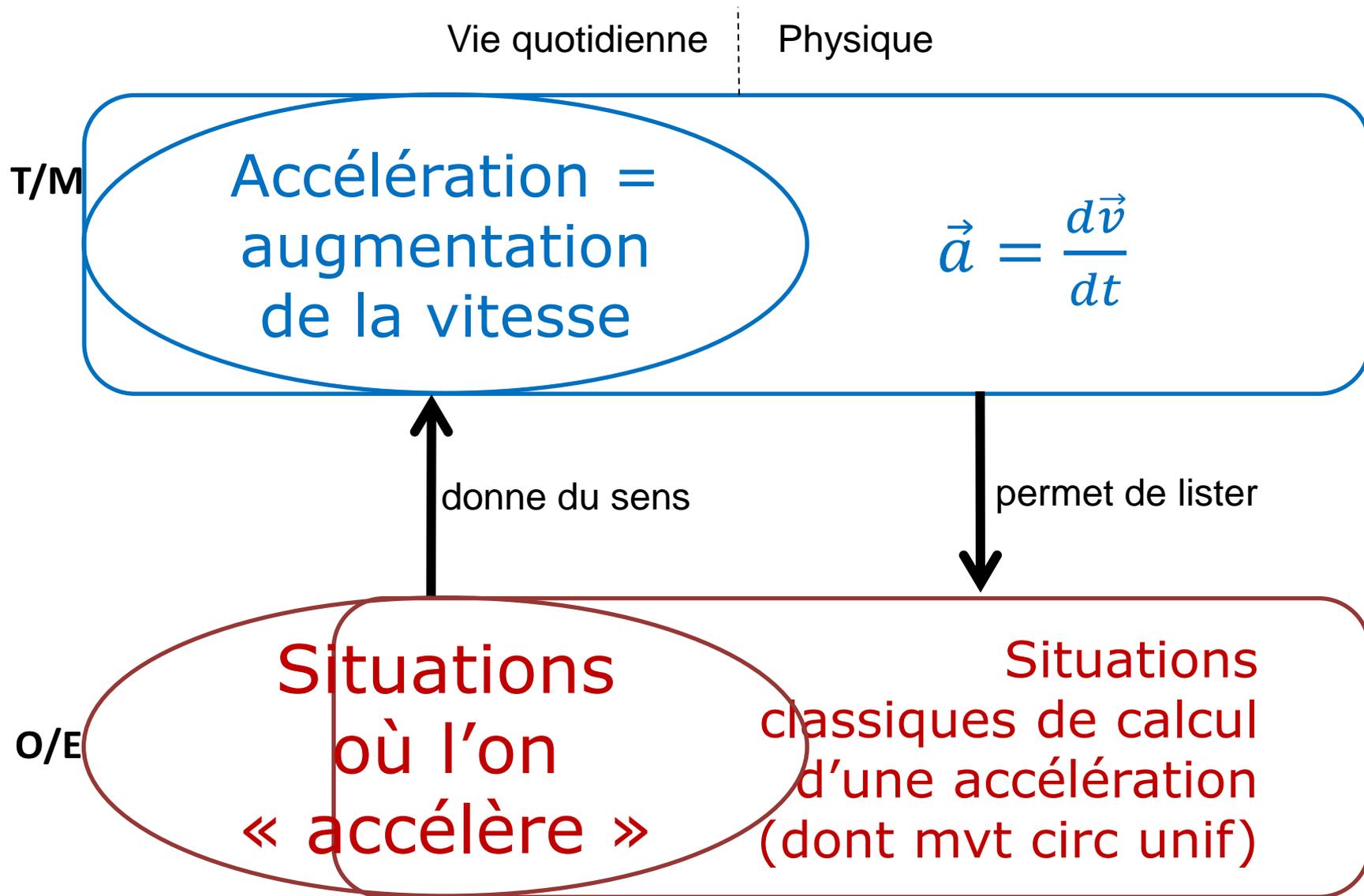


Production erronée

Gaidioz, P., Vince, J., Tiberghien, A. (2004). *BUP*, vol. 98, n° 866, 1029-1042.

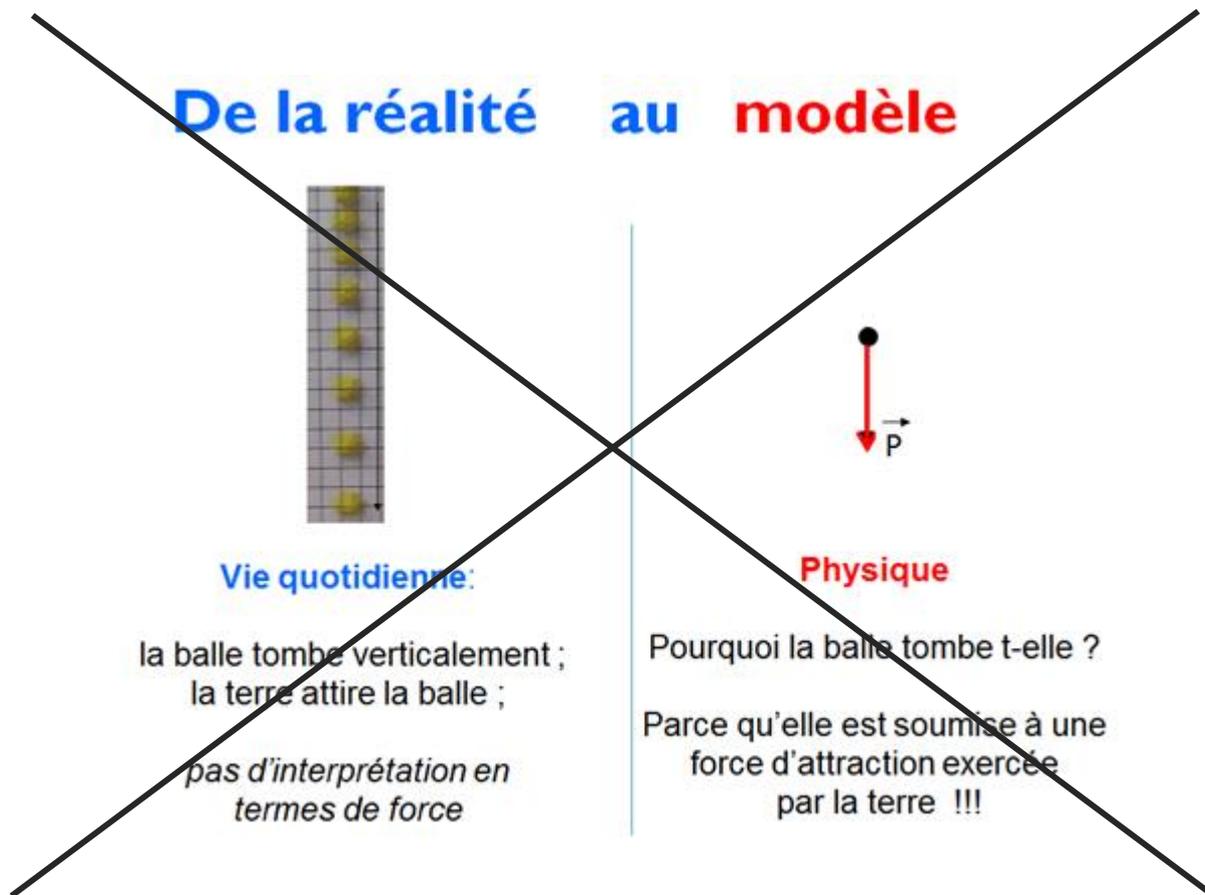
Tiberghien A., Vince J., & Gaidioz P. (2009). *International Journal of Science Education*, 31(17), 2275-2314.

Extension des idées...



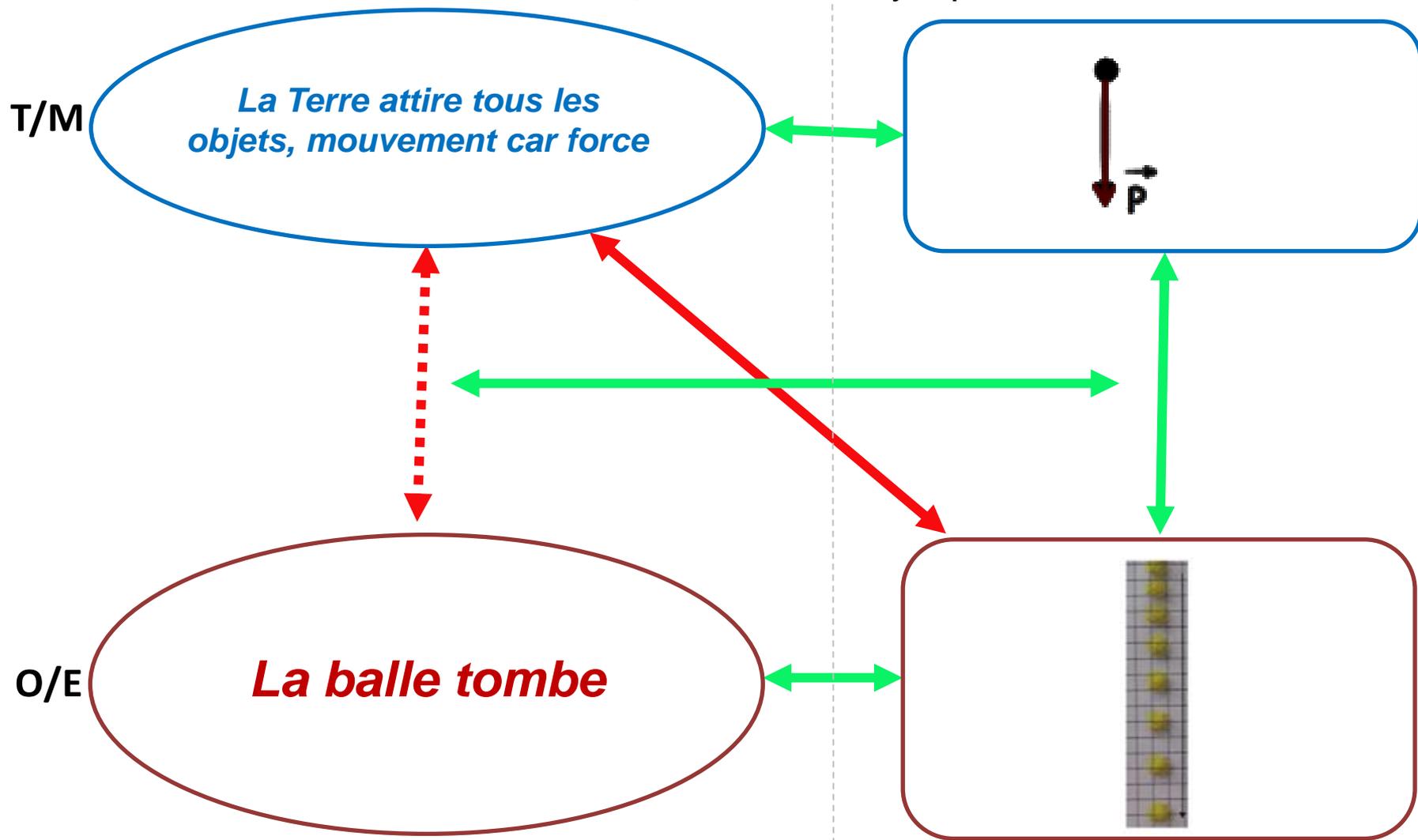
Vie quotidienne vs modèle ?

Une confusion classique...



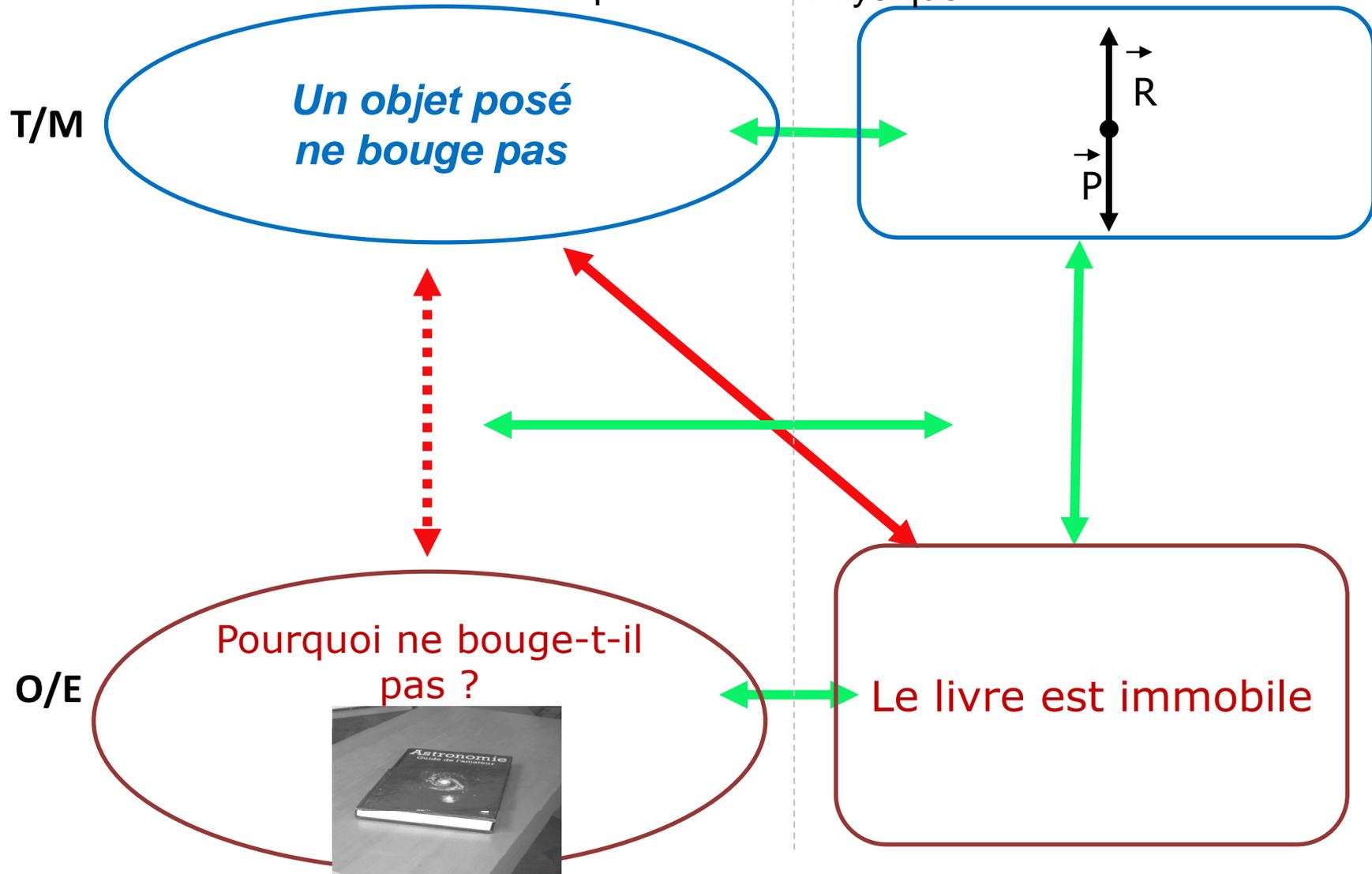
Un modèle d'apprentissage opératoire pour tous les niveaux

Vie quotidienne Physique



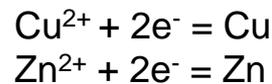
Un modèle d'apprentissage opératoire pour tous les niveaux

Vie quotidienne Physique



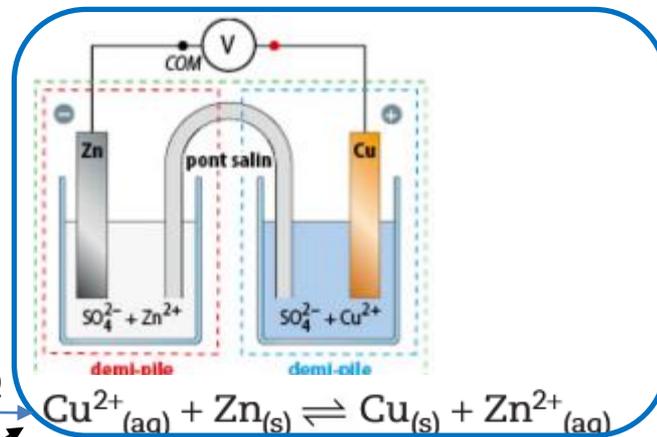
Un modèle d'apprentissage opératoire en physique et en chimie

Vie quotidienne Chimie

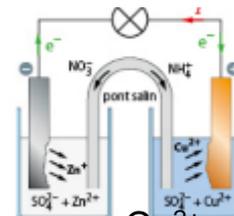
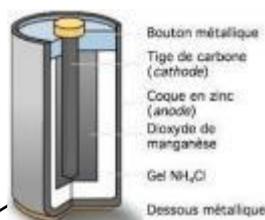


T/M

La pile donne de l'électricité et lorsqu'elle n'en a plus, la pile est usée



Capacité Q

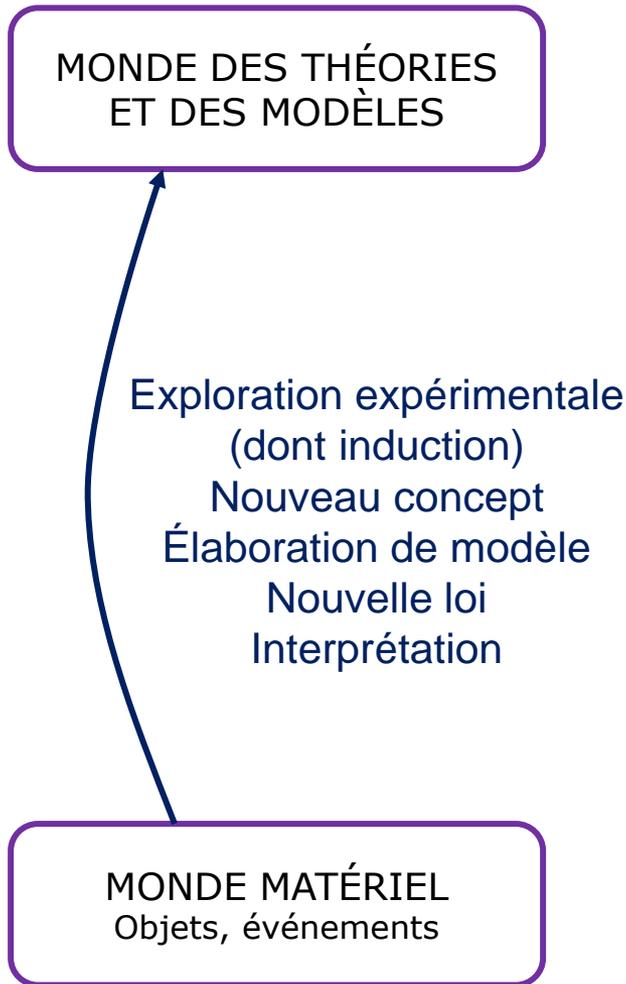


O/E



Seconde SONS		Connu		À construire		
		Vie quotidienne	Physique	Physique	Vie quotidienne	
Théories / modèles	<ul style="list-style-type: none"> Le son est un objet qui se déplace Le son se faufile Le son monte Le son ne se propage que dans l'air Plus le son est fort, plus il va vite. Plus le son avance, moins il va vite 	<ul style="list-style-type: none"> Le son se propage avec une certaine vitesse Le son ne se propage pas dans le vide Conditions de propagation Notion de vitesse de propagation Fréquence (domaine audible, ultrasons, infrasons). 	<ul style="list-style-type: none"> Émission (vibration, caisse de résonance). Milieu de propagation. Distinction entre période et fréquence Relation entre période et fréquence. Intensité sonore, niveau sonore. 	<ul style="list-style-type: none"> Hauteur d'un son Timbre du son 	Théories / modèles	
	<ul style="list-style-type: none"> Le son est de moins en moins fort si on s'éloigne de la source Le son va moins vite dans l'eau que dans l'air Plus le milieu est dur, moins le son va vite Si un objet vibre vite, le son va vite. 	<ul style="list-style-type: none"> Lien entre distance parcourue, durée, vitesse. Il existe des sons audibles, non audibles en lien avec la fréquence Le son se propage dans tous les milieux Vitesse de propagation dépend du milieu 	<ul style="list-style-type: none"> Lien vibration source / vibration milieu. Nécessité d'un milieu pour propager la vibration Un son = phénomène périodique Lien qualitatif entre intensité sonore et niveau sonore. Lien niveau sonore et dangers Lien amplitude-intensité Lien fréquence-hauteur Indépendance fréquence-amplitude Lien timbre-forme du signal 	<ul style="list-style-type: none"> Un son fort peut être dangereux Est douloureux à partir de 120 dB Timbre caractéristique d'un instrument de musique 		Relations
	<ul style="list-style-type: none"> En hauteur, j'entends mieux. Plus aigu => plus fort Film : on entend les lasers. On entend mieux les aigus. On voit l'éclair avant d'entendre le tonnerre Mur du son Écho : ça résonne Instruments de musique Micro, smartphone, enceintes, casque... 	<ul style="list-style-type: none"> Il y a des vibrations qu'on n'entend pas. sonar HP + GBF ? Risques auditifs 	<ul style="list-style-type: none"> Distinguer aigu/grave fort/faible Vibration visible avec HP HP + GBF Cloche à vide Expérience flamme devant HP Diapason avec et sans caisse. Mesure de la période et de la fréquence : micro, carte, oscillo, simulateur Son produit par microcontrôleur Sonomètre 	<ul style="list-style-type: none"> Deux sons joués par deux instruments différents. Son aigu et grave. Il existe des US et des IS Son dans les métaux (entendre les voisins dans les tuyaux en cuivre). La voix comme émetteur. Exemple de sons forts, dont il faut se méfier Dans le vide, pas de son 		

Modélisation et type d'activités



- ✓ **Relier** l'énergie échangée à la masse de l'espèce qui change d'état
- ✓ **Représenter** et exploiter la caractéristique d'un dipôle

Modélisation et type d'activités

MONDE DES THÉORIES
ET DES MODÈLES

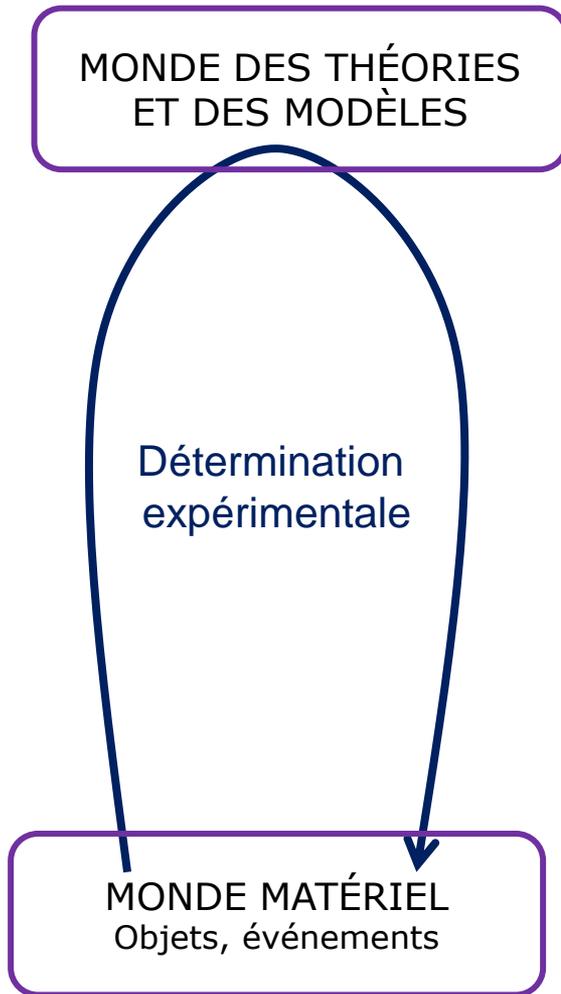
Illustration ou
vérification expérimentale
Appropriation
d'un modèle descriptif

MONDE MATÉRIEL
Objets, événements

- ✓ **Vérifier** que le réactif limitant est celui prévu
- ✓ **Tester** la relation de conjugaison
- ✓ **Tester** la loi fondamentale de la statique des fluide

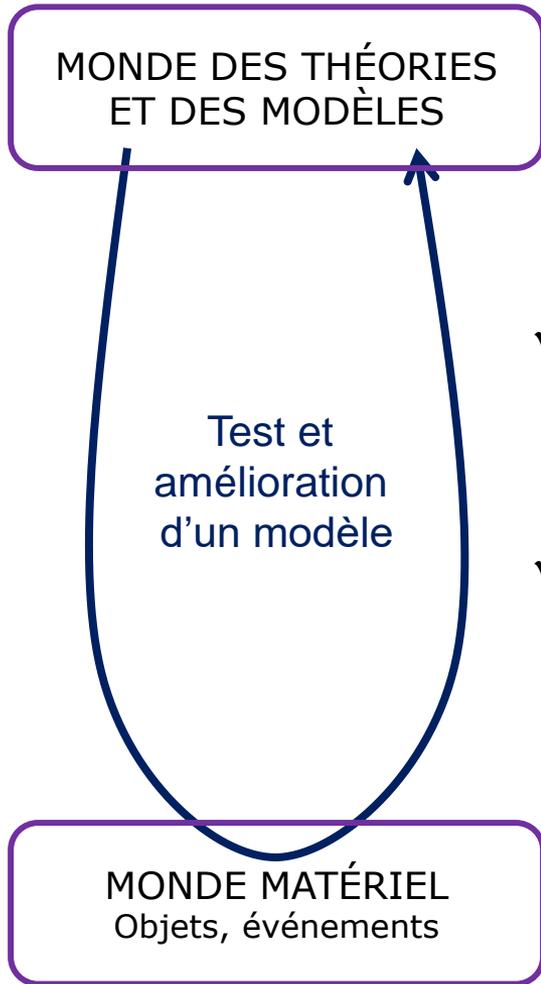
Utiliser une loi pour prévoir

Modélisation et type d'activités

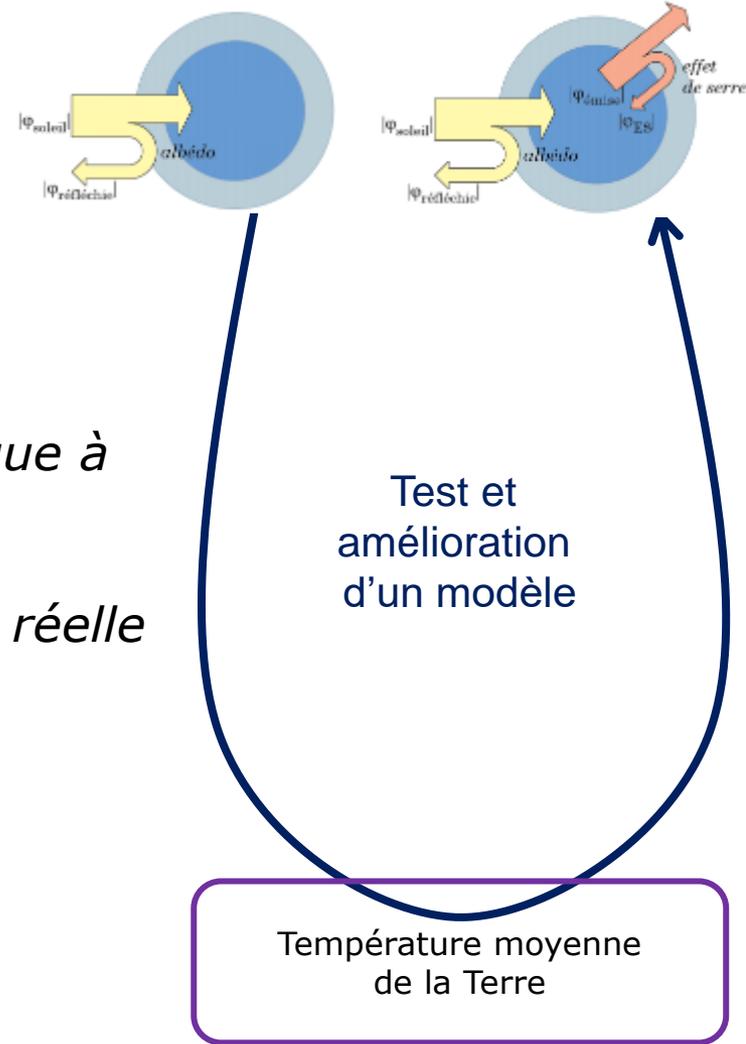


- ✓ **Réaliser** un titrage direct
- ✓ **Déterminer** la célérité d'une onde

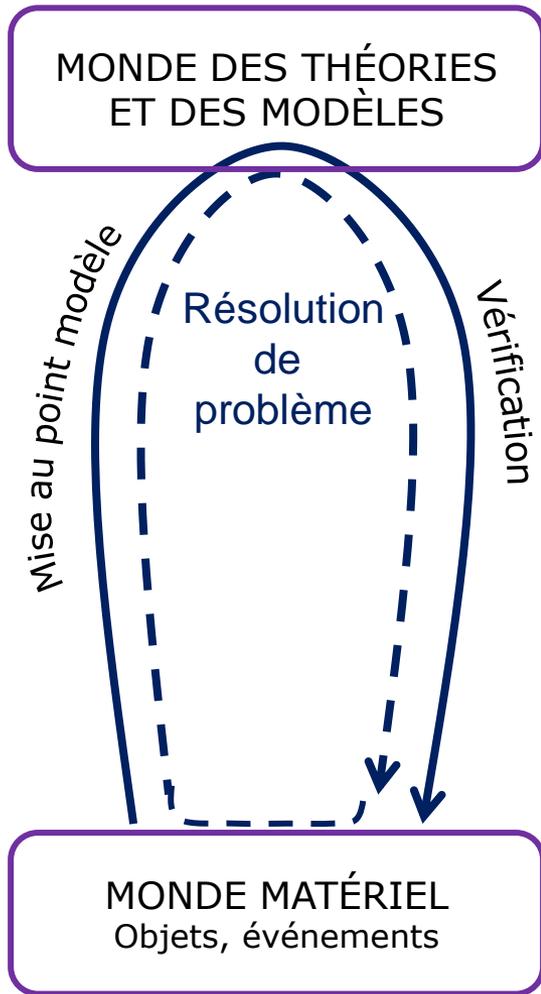
Modélisation et type d'activités



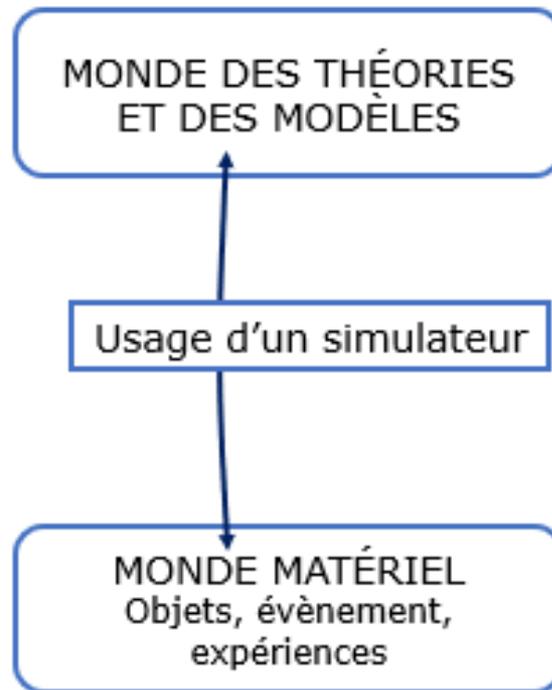
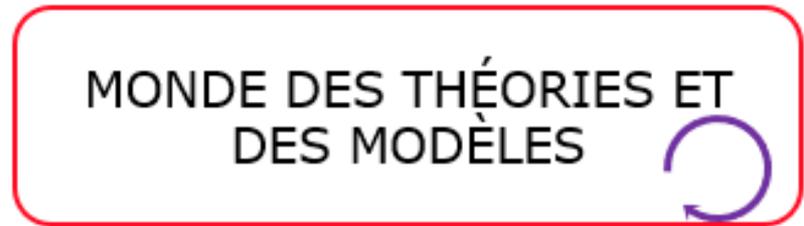
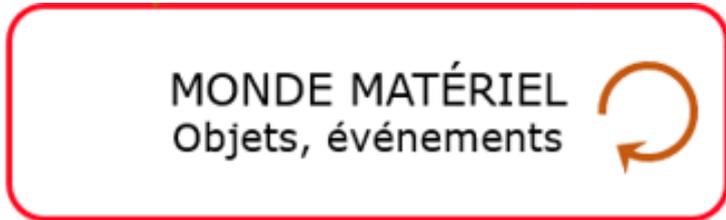
- ✓ *Passer d'un modèle d'optique géométrique à un modèle d'optique ondulatoire*
- ✓ *Modèle d'une source réelle de tension continue*



Modélisation et type d'activités



Modélisation et type d'activités



Ce qu'on peut retenir...

- ✓ La modélisation se fait spontanément dans la vie courante
- ✓ La description du monde matériel peut se faire dans la vie courante et *en physique-chimie*
- ✓ Une analyse préalable en « 4 mondes » est longue et difficilement exhaustive mais elle peut être utile pour concevoir son enseignement
- ✓ L'analyse de toute activité du point de vue de la modélisation aide à enseigner

1. Une première approche de la modélisation
2. Pourquoi est-ce si important pour l'apprentissage ?
3. Caractérisation de la démarche de modélisation
4. Un outil pour concevoir son enseignement et pour aider les élèves ; types d'activités
5. Modélisation et incertitudes

Modélisation et incertitudes

Avant-propos

Théorie et expérience sont d'égale importance pour la modélisation et compréhension d'un phénomène physique ; pourtant ces deux aspects sont souvent traités séparément dans les manuels d'enseignement. En rédigeant ce recueil de physique expérimentale, nous avons voulu refléter leur dialogue dans un exposé didactique.



Pour chaque expérience, nous proposons un cadre théorique suffisamment large pour comprendre en détail le protocole, mais aussi en cerner les limites. Cela offre un regard critique sur le résultat expérimental, et enrichit sa discussion. En retour, toute déviation au résultat attendu, détectée par un traitement rigoureux des incertitudes, motive l'approfondissement de l'analyse théorique.

mais valider
QUOI ?

Compétences	Quelques exemples de capacités associées
S'approprier	<ul style="list-style-type: none">- Énoncer une problématique.- Rechercher et organiser l'information en lien avec la problématique étudiée.- Représenter la situation par un schéma.
Analyser/ Raisonnement	<ul style="list-style-type: none">- Formuler des hypothèses.- Proposer une stratégie de résolution.- Planifier des tâches.- Évaluer des ordres de grandeur.- Choisir un modèle ou des lois pertinentes.- Choisir, élaborer, justifier un protocole.- Faire des prévisions à l'aide d'un modèle.- Procéder à des analogies.
Réaliser	<ul style="list-style-type: none">- Mettre en œuvre les étapes d'une démarche.- Utiliser un modèle.- Effectuer des procédures courantes (calculs, représentations, collectes de données etc.).- Mettre en œuvre un protocole expérimental en respectant les règles de sécurité.
Valider	<ul style="list-style-type: none">- Faire preuve d'esprit critique, procéder à des tests de vraisemblance.- Identifier des sources d'erreur, estimer une incertitude, comparer à une valeur de référence.- Confronter un modèle à des résultats expérimentaux- Proposer d'éventuelles améliorations de la démarche ou du modèle
Communiquer	À l'écrit comme à l'oral : <ul style="list-style-type: none">- Présenter une démarche de manière argumentée, synthétique et cohérente ; utiliser un vocabulaire adapté et choisir des modes de représentation appropriés ;- Échanger entre pairs.

VALIDER n'est pas une opération binaire...

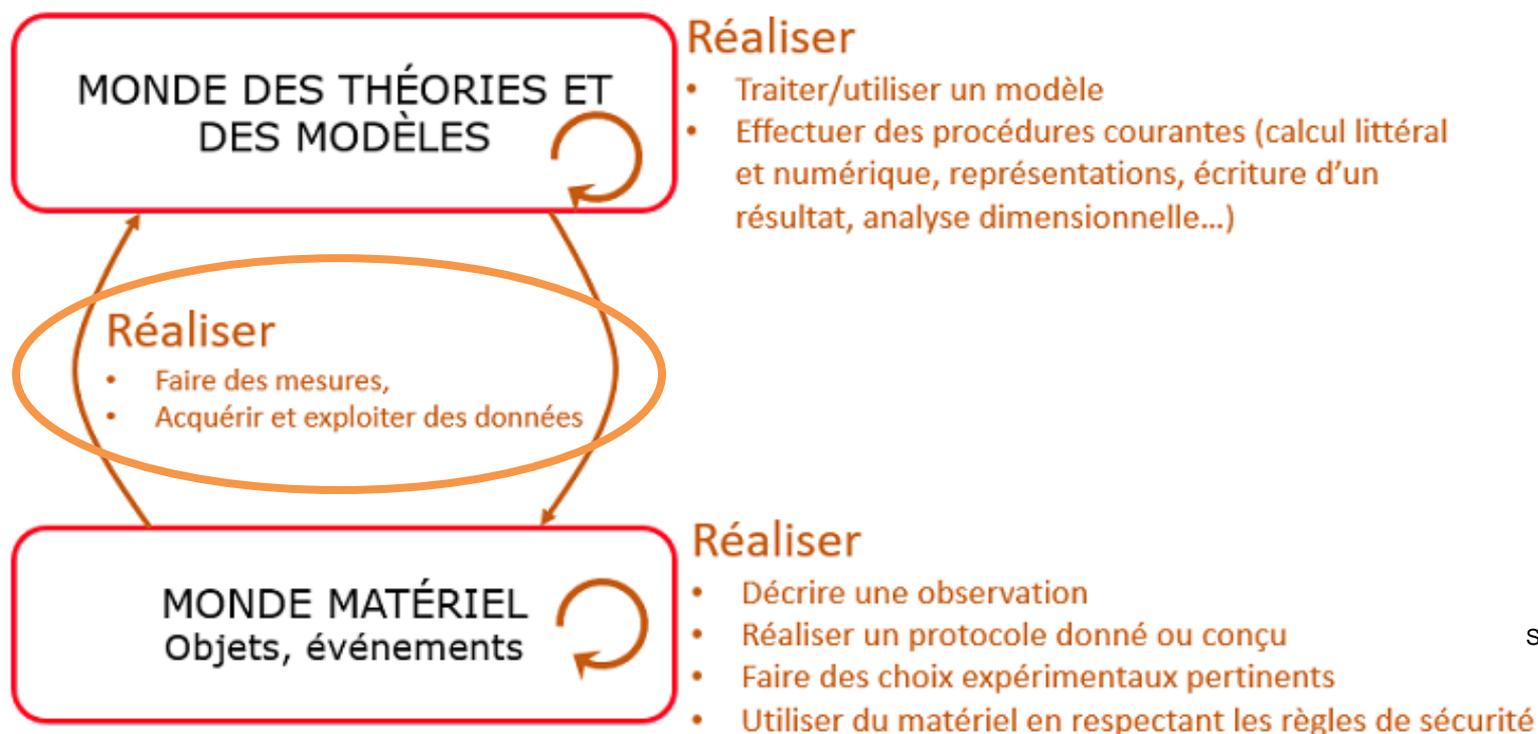
Les incertitudes viennent au secours de l'adéquation entre modèle et faits.

- Peut-on **vérifier/tester** les lois de Descartes sans évoquer les incertitudes ?
- Peut-on **vérifier** une prévision quantitative sans incertitude ?
- Peut-on **induire, utiliser** ou **tester** $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ sans avoir recours aux incertitudes ?

Pour **estimer** la validité d'un modèle,
il faut faire des mesures
et estimer les incertitudes liées

→ Les incertitudes ont une place importante
dans les démarches scientifiques
elles ne sont pas un *luxé inutile*

Mesures et incertitudes au service de la modélisation



Source : [Eduscol](https://www.eduscol.education.fr/)

Mesures, incertitude et comparaison de deux valeurs

Une activité classique : on demande aux élèves de mesurer la teneur massique en diiode par titrage.



Mais dans quel but ?

- Valider l'indication de la durée de conservation longtempse par le fabricant
- Valider la validité de la méthode de dosage
- Vérifier que les méthodes de dosage sont compatibles en assumant que les deux sont toutes deux connues avec incertitude ?

Obligatoire

Session 2018

CONTRÔLE QUALITÉ PAR DOSAGE
DU DIIODE DANS LA BÉTADINE®

BACCALAURÉAT SÉRIE S

Épreuve de PHYSIQUE CHIMIE
Évaluation des Compétences Expérimentales

Sommaire

I. DESCRIPTIF DU SUJET DESTINÉ AUX ÉVALUATEURS 2

II. LISTE DE MATÉRIEL DESTINÉE AUX ÉVALUATEURS ET AUX PERSONNELS DE LABORATOIRE 3

III. ÉNONCÉ DESTINÉ AU CANDIDAT 4

requise

Vérifier

der,

assumant que les deux sont toutes deux connues avec incertitude ?

suppose de définir un critère de *compatibilité*.

Mesures, incertitude et comparaison de deux valeurs



Une conclusion *autrefois* en vogue : l'écart relatif

$$\varepsilon = \left| \frac{t_{exp} - t_{ref}}{t_{ref}} \right| = \frac{10 - 8,6}{10} = 14\%$$

on ne fait donc pas un contrôle qualité de la bétadine mais plutôt un contrôle qualité du dosage !

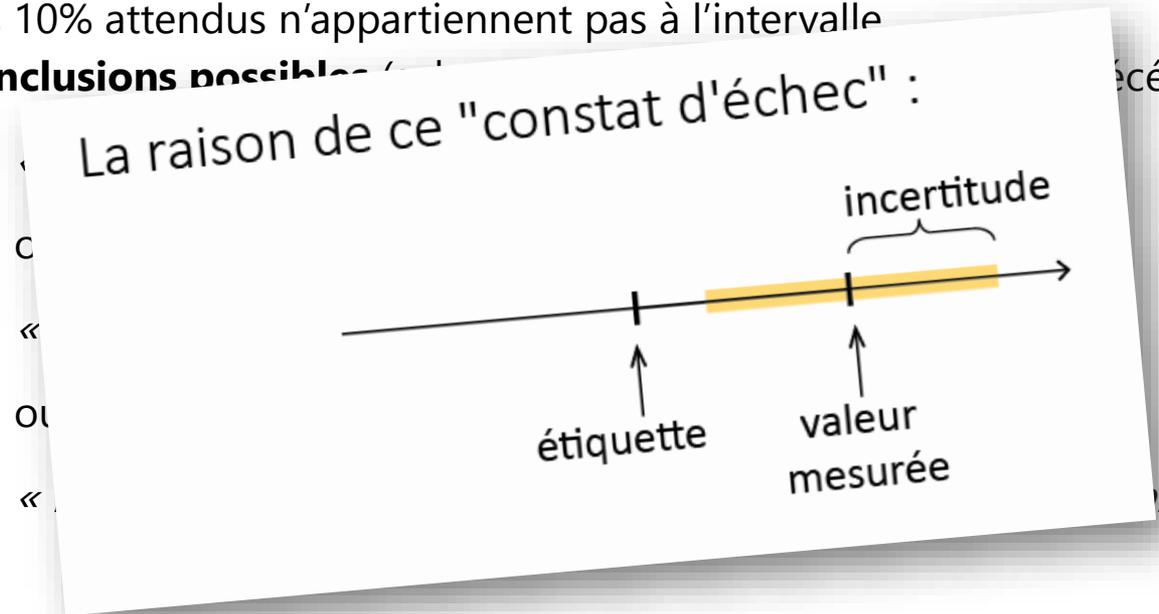
Et alors ? 14% c'est "bon" ou "mauvais" ?
... et cette question a-t-elle un sens ?

Mesures, incertitude et comparaison de deux valeurs



Ce que l'ancien programme nous incitait à faire
Imaginons un élève qui a trouvé : $t(I_2) = (8,9 \pm 0,6)\%$
Les 10% attendus n'appartiennent pas à l'intervalle

Conclusions possibles (à partir de situations précédentes) :



La raison de ce "constat d'échec" :

«/es.»

Mesures, incertitude et comparaison de deux valeurs



Or :

- L'incertitude indique l'intervalle dans lequel la valeur mesurée a *une certaine probabilité* de se trouver.
 - ◆ si le même élève recommence exactement dans les mêmes conditions, il est possible qu'il obtienne la conclusion inverse ;
 - ◆ si un autre élève trouve que la valeur affichée est compatible avec sa mesure (et l'intervalle lié), ça peut très bien être un hasard ;
- La valeur affichée par le fabricant, elle aussi, a une incertitude.
 - ◆ L'incertitude de la valeur affichée est très rarement connue.
 - ◆ Si on la connaît, elle aussi délimite un intervalle de valeurs probables : c'est la confrontation des 2 intervalles qui a du sens.

Adieu l'écart relatif pour discuter la validité d'une mesure

Pour toutes les raisons précédentes, on n'utilise plus l'écart relatif pour discuter de la validité d'une mesure.



Pour achever (l'écart relatif) :
l'influence de la "valeur de référence"

$$\varepsilon = \left| \frac{\theta_{mes} - \theta_{ref}}{\theta_{ref}} \right| = \dots$$

Mais ici la valeur de référence
vaut 0°C !

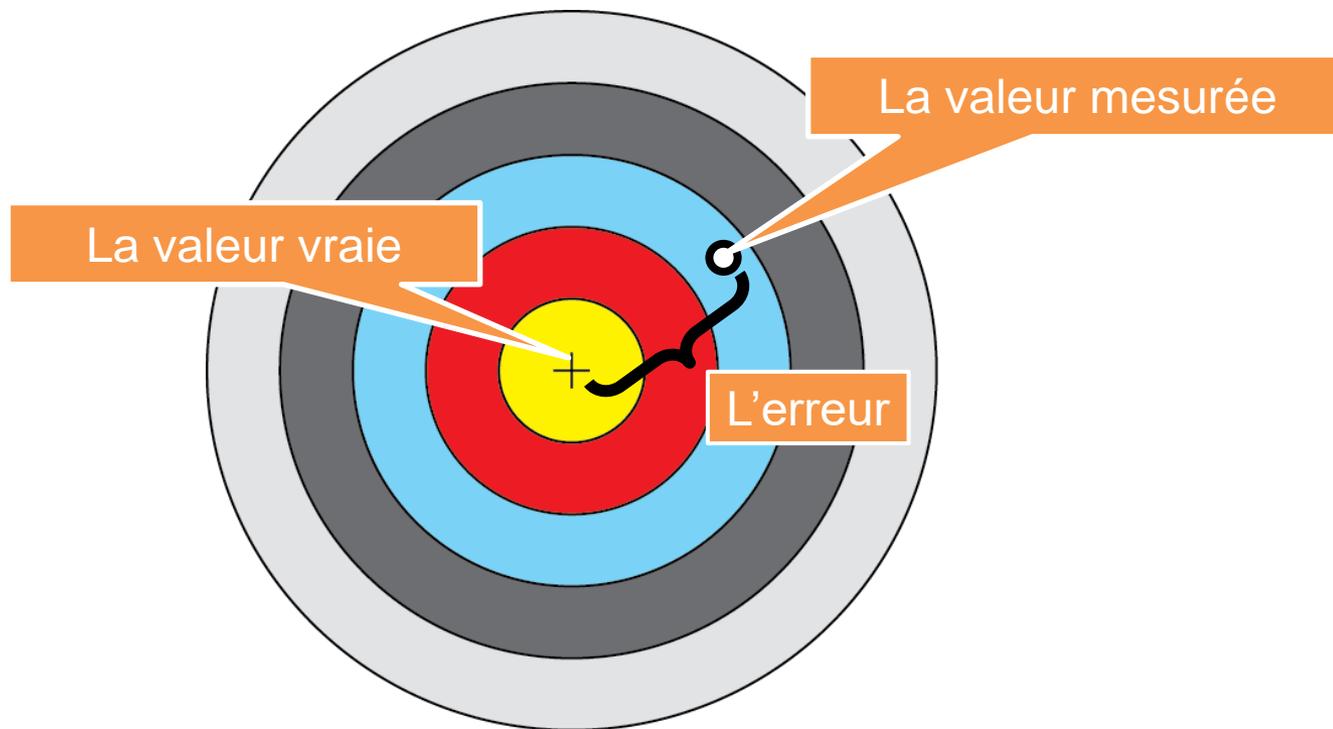
Ce qui a suscité les évolutions...

- Des **misés en œuvre hétérogènes**, des pratiques peu stabilisées
→ *faire plus simple et plus clair*
- Des **dérives calculatoires** qui contribuaient à faire perdre toute signification
→ *retrouver du sens en limitant les techniques*
- Un **surinvestissement de l'intervalle de confiance**, mal compris et mal utilisé
→ *ne figer ni les bornes d'intervalle ni le critère de confiance mais comparer deux mesures du point de vue de leur incertitude-type*
- Une **difficulté à articuler** les incertitudes **avec les règles sur les CS**
→ *pas totalement levée, à condition de revoir nos points de vue sur les CS*
- Utiliser le **paradigme scientifique actuel**
→ *du paradigme de l'erreur à celui de l'incertitude*

Les objectifs des nouveaux programmes

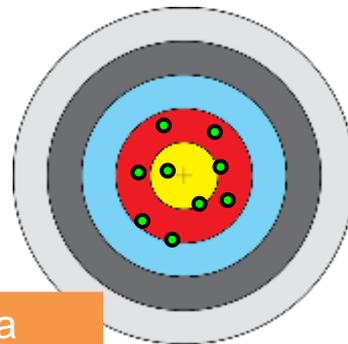
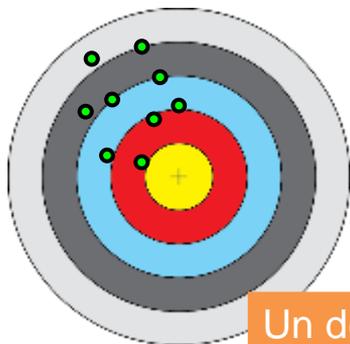
- insister sur **l'aspect statistique** d'une mesure avec l'introduction, dès la seconde, de mesures répétées
→ *faire émerger la notion d'incertitude comme un estimateur de la dispersion*
- pendant les trois années de lycée, estimer les **incertitudes-type** et non plus les incertitudes élargies
→ *ne figer ni les bornes d'intervalle ni le critère de confiance mais comparer deux mesures du point de vue de leur incertitude-type*
- disposer d'un outil de comparaison qui tient compte de l'incertitude
→ *en finir avec les « effets de seuil » conduisant à dire qu'une mesure est bonne ou mauvaise ;*
- en finir avec les intervalles de confiance, facteurs $\sqrt{\frac{1}{12}}$ et autres facteurs de Student...
intention souvent énoncée oralement mais que n'implique pas le passage aux incertitudes-types.
À nous de décider jusqu'à quel point on respecte l'orthodoxie de la métrologie !

L'approche « erreur » qui guidait les anciens programmes



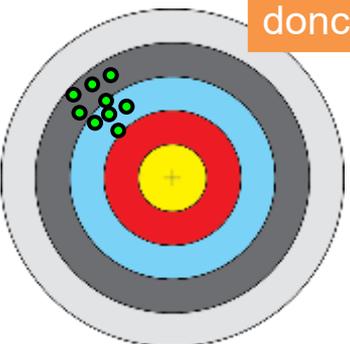
Incertitude = estimation de l'erreur probable

L'approche « erreur » qui guidait les anciens programmes

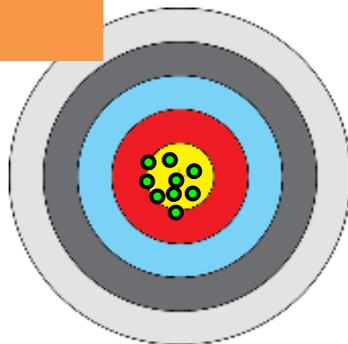


mesure plus **juste**

Un défaut de cette approche : la valeur vraie n'est **jamais connue...** donc l'erreur non plus !

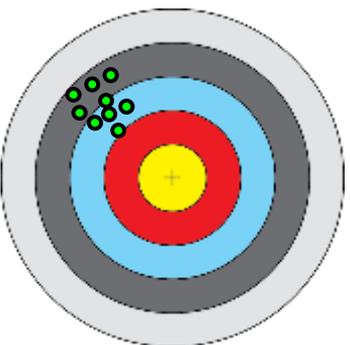
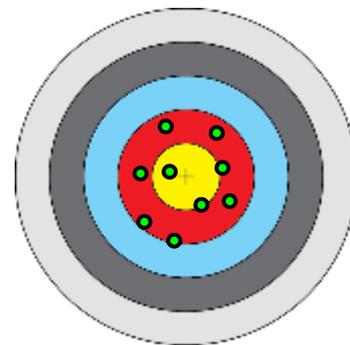
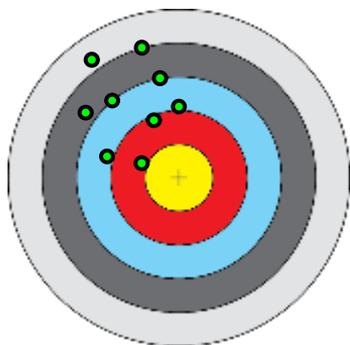


mesure plus **fidèle**

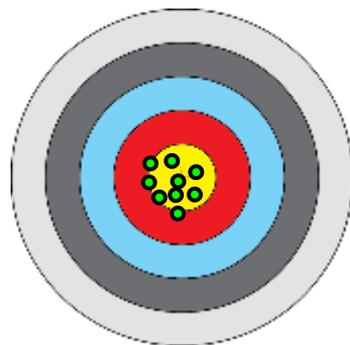


mesure plus **fidèle** et plus **juste**

L'approche « erreur » qui guidait les anciens programmes



mesure plus
fidèle



mesure
plus **juste**

cela a-t-il encore
un sens ?

mesure
plus **fidèle** et plus **juste**

L'approche « incertitude » désormais préconisée se passe de la notion de « valeur vraie »... donc de la notion d'erreur !

Quelques conséquences au sujet du vocabulaire

L'approche dite « incertitude » du BIPM (1995)

L'incertitude ne quantifie pas un écart à la « valeur vraie ».

on ne parle plus de valeur vraie

on ne parle plus d'erreur (ni aléatoire ni systématique)

une valeur de référence pourra être comparée à la valeur mesurée



célérité de la lumière dans la vide :
 $299\,792\,458\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$



Quelques conséquences au sujet du vocabulaire

L'approche dite « incertitude » du BIPM (1995)

On évalue **les incertitudes-type** et non plus les incertitudes élargies

- *l'incertitude-type est **l'estimation** de la dispersion des valeurs attribuables à la grandeur mesurée : l'outil adapté est l'écart-type*
- *l'incertitude-type permet de comparer deux mesures du point de vue de la dispersion*
- *l'incertitude-type fait partie du résultat d'une mesure*
- *l'incertitude-type d'une mesure est notée $u(x)$*

Quelques conséquences au sujet du vocabulaire

L'approche dite « incertitude » du BIPM (1995)

On ne parle plus d'**écart relatif**

→ Mais on utilisera **l'incertitude-type u** pour juger de la validité de la mesure

$$\frac{|valeur\ mesurée - valeur\ de\ référence|}{incertitude - type}$$

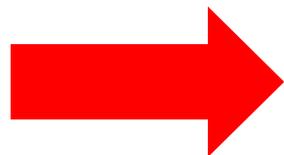
1. Une première approche de la modélisation
2. Pourquoi est-ce si important pour l'apprentissage ?
3. Caractérisation de la démarche de modélisation
4. Un outil pour concevoir son enseignement et pour aider les élèves
5. Modélisation et type d'activités
6. Modélisation et compétences

Modélisation et compétences

travaillées dans le cadre de la démarche scientifique

L'explicitation de la modélisation : une aide pour l'apprentissage

- On demande sans cesse aux élèves de modéliser (faire des liens entre les deux mondes).
- Ces liens sont inhérents à l'activité scientifique



La modélisation permet aussi de caractériser les compétences travaillées dans le cadre de la démarche scientifique

La modélisation : une omniprésence qui traverse les compétences

MONDE DES THÉORIES ET
DES MODÈLES

S'APPROPRIER

- Énoncer une problématique
- Représenter la situation
- Décrire avec les concepts appropriés
- Faire le lien avec une situation déjà étudiée
- ...

MONDE MATÉRIEL

Objets, expériences, faits

La modélisation : une omniprésence qui traverse les compétences



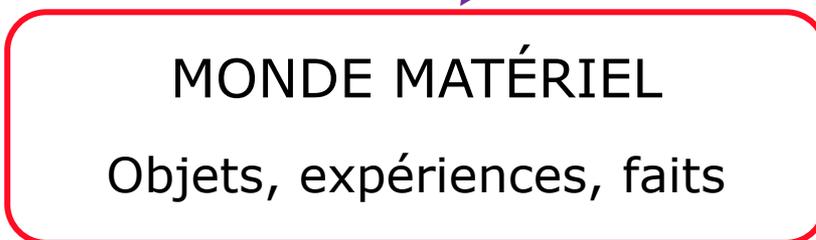
VALIDER

- Vérifier l'homogénéité
- ...



VALIDER

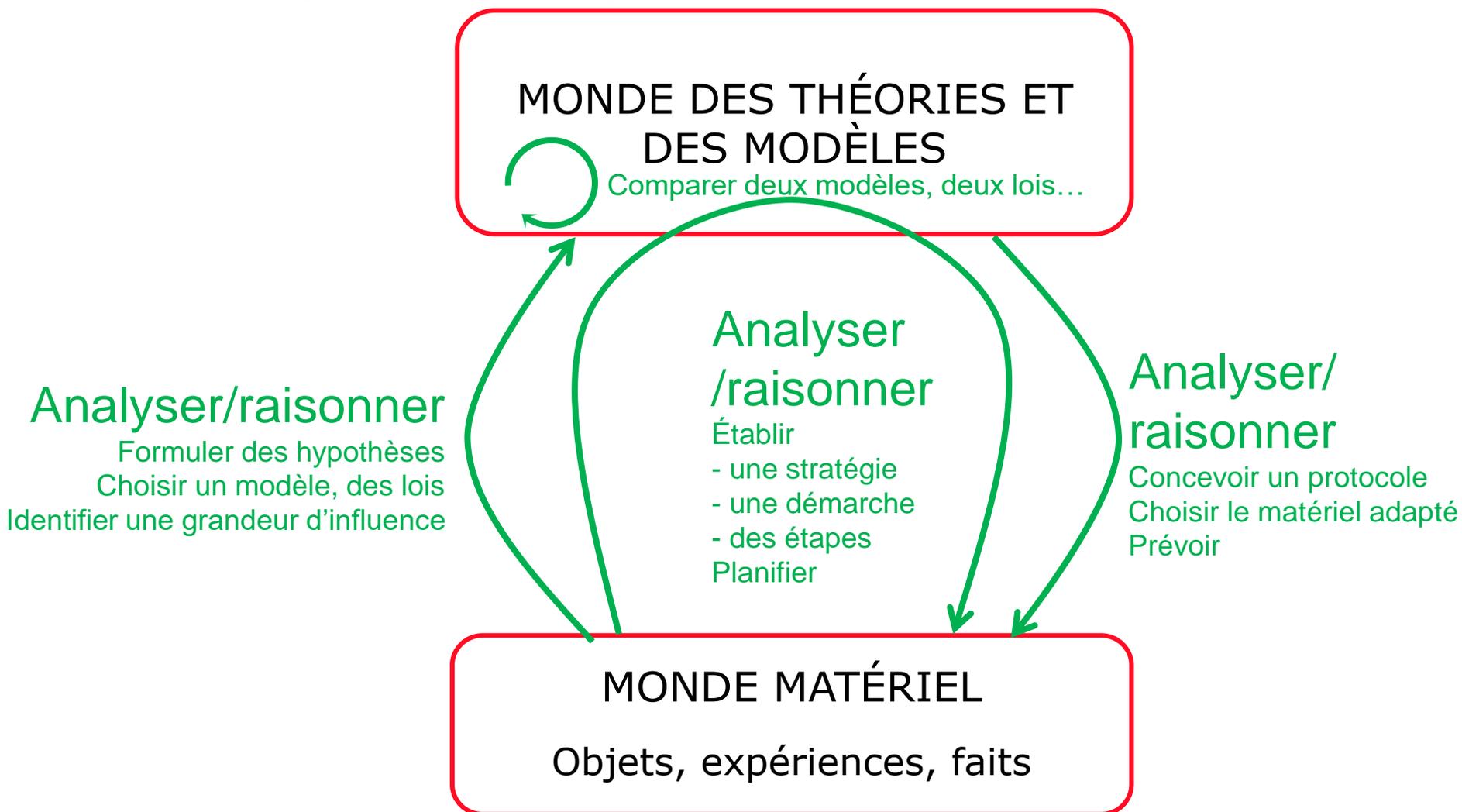
- Tester des hypothèses
- Discuter un résultat
- Discuter les choix de modélisation
- Proposer des améliorations du modèle
- ...



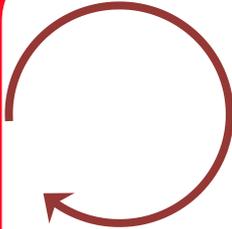
VALIDER

- Estimer la vraisemblance
- Comparer
- Accord réponse/question
- ...

La modélisation : une omniprésence qui traverse les compétences



La modélisation : une omniprésence qui traverse les compétences



Réaliser

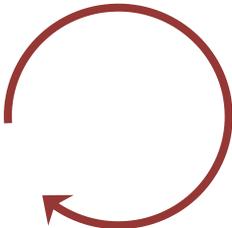
- Traiter/utiliser un modèle
- Effectuer des procédures courantes (calcul littéral et numérique, représentations, écriture d'un résultat, analyse dimensionnelle...)

MONDE DES THÉORIES ET DES MODÈLES



Réaliser

- Faire des mesures,
- Acquérir et exploiter des données



Réaliser

MONDE MATÉRIEL
Objets, expériences, faits

- Décrire une observation
- Réaliser un protocole donné ou conçu
- Faire des choix expérimentaux pertinents
- Utiliser du matériel en respectant les règles de sécurité

1. Une première approche de la modélisation
2. Pourquoi est-ce si important pour l'apprentissage ?
3. Caractérisation de la démarche de modélisation
4. Un outil pour concevoir son enseignement et pour aider les élèves ; types d'activités
5. Modélisation et incertitudes

Et finalement ?

L'explicitation de la modélisation : une aide pour apprendre

- L'articulation des « deux mondes » est au cœur des apprentissages.
- Même si elle est parfois exigeante, elle rend compte de façon authentique de la discipline.
- L'explicitation de ce qui relève d'un monde ou d'un autre permet de clarifier, pour les élèves, ce qui est attendu, et de rendre compte des démarches mises en œuvre.

L'explicitation de la modélisation : une aide pour enseigner

Pour la conception des séquences, cela permet de :

- repérer les objectifs en termes de modélisation
- structurer les notions
- choisir des situations d'études
- penser les consignes soumises aux élèves, qui relèvent souvent de l'articulation entre les deux mondes : *interpréter, justifier, expliquer, caractériser, tester, prévoir...*

L'explicitation de la modélisation : une aide pour enseigner

En classe, cela permet de :

- adopter une nécessaire vigilance sur le vocabulaire utilisé
- clarifier les objectifs, les attendus
- anticiper d'éventuelles difficultés.

Ne pas se contenter d'enseigner des modèles...

Enseigner aussi la modélisation

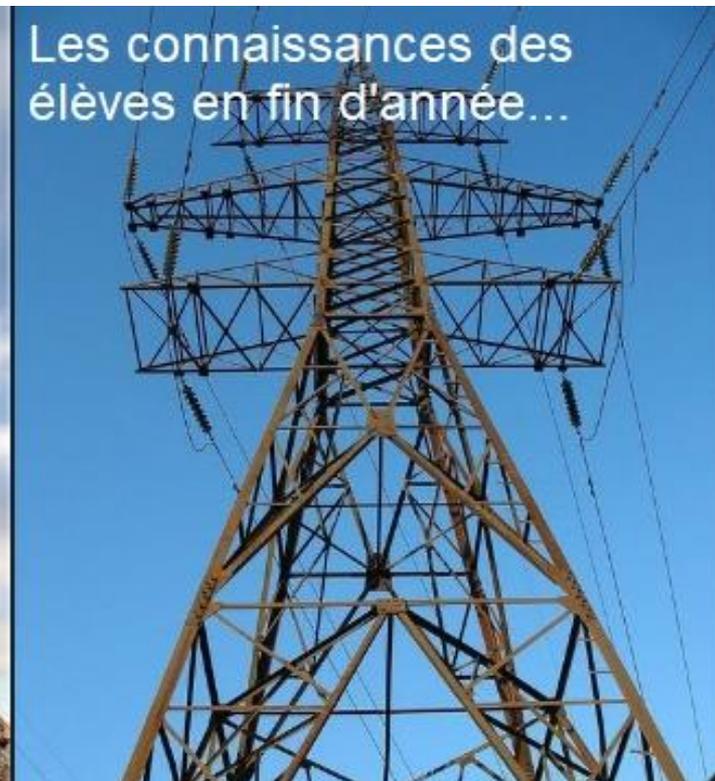
N'oublions pas...

Les programmes sont des points de mire...
Une dégradation est possible (naturelle ?)
entre savoirs visés et connaissances des élèves

En espérant que nous n'en arriverons pas là...



Le programme
de physique-
chimie



Les connaissances des
élèves en fin d'année...



La modélisation

Une démarche essentielle pour
l'apprentissage de la physique-chimie

MERCI pour votre attention

jvince@ac-lyon.fr

 [@ProfesseurVince](https://twitter.com/ProfesseurVince)

<http://pegase.ens-lyon.fr>



Éléments de bibliographie

- Coince, D., Miguet, A.-M., Perrey, S., Rondepierre, T., Tiberghien, A. & Vince, J. (2008). Une introduction à la nature et au fonctionnement de la physique pour les élèves de seconde. *Bulletin de l'Union des Professeurs de Physique et de Chimie*, vol. 102, n° 900, 3-20.
- Coince, D., Vince, J., & Tiberghien, A. (2009) La notion de modèle au cœur de la physique. *Cahiers pédagogiques* N°469 - Faire des sciences physiques et chimiques.
- Evrard T. & Amory B. (dir) (2015) *Les modèles, des incontournables pour enseigner les sciences !* De Boeck.
- Gaidioz, P., & Tiberghien, A. (2003). Un outil d'enseignement privilégiant la modélisation. *Bulletin de l'union des physiciens*, 850, 71-83.
- Gaidioz, P., Vince, J., Tiberghien, A. (2004) Aider l'élève à comprendre le fonctionnement de la physique et son articulation avec la vie quotidienne. *Bulletin de l'Union des Professeurs de Physique et de Chimie*, vol. 98, n° 866, 1029-1042.
- GRIESP (coll.) (2016) Expérimentation et modélisation, la place du langage mathématique en physique-chimie. [Téléchargeable avec ce lien](#).
- Melzani, M. (2018) Enseigner explicitement la démarche de modélisation et le fonctionnement des sciences physiques. *Bulletin de l'Union des Professeurs de Physique et de Chimie*, vol. 112, n° 1008, 1179-1201.
- Monod-Ansaldi R. & Prieur M. (2011) Démarches d'investigation dans l'enseignement secondaire : représentations des enseignants de mathématiques, SPC, SVT et technologie. *Rapport d'enquête IFÉ – ENS de Lyon*. Décembre 2011. [Téléchargeable avec ce lien](#).
- Morge L., Doly A.-M. (2013) L'enseignement de notion de modèle : quels modèles pour faire comprendre la distinction entre modèle et réalité ?. In: Spirale. Revue de recherches en éducation, n°52, 2013. L'enseignement intégré de science et de technologie (EIST) au collège : à la recherche d'un curriculum. pp. 149-175.
- Sensevy, G. & Santini, J. (2006) Modélisation : une approche épistémologique. ASTER n°43
- Vince J., Monod-Ansaldi R., Prieur M. & Fontanieu V. (2013) Représentations sur la discipline, son apprentissage, les démarches d'investigation et quelques concepts-clés : quelles spécificités pour les enseignants de Sciences Physiques ? 1^{ère} partie. *Bulletin de l'Union des Professeurs de Physique et Chimie*, 1^{ère} partie : vol. 107, n° 950, 31-50 ; 2^e partie : vol. 107, n° 951, 147-165.