

La modélisation, une démarche essentielle pour l'apprentissage de la physique-chimie

1. Préambule : quelques constats
2. Caractérisation de la démarche de modélisation
3. Modélisation et type d'activités
4. Modélisation et compétences de la démarche scientifique
5. Modélisation et simulation

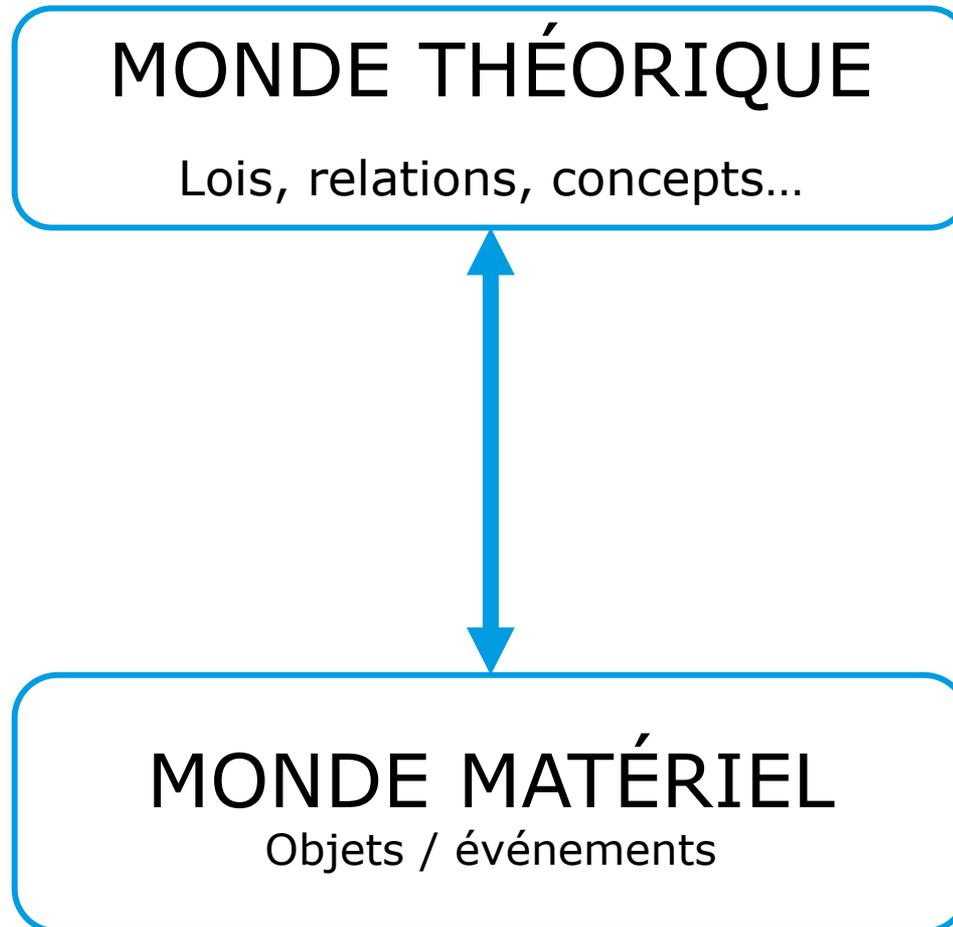
Une *modélisation*... de l'activité scientifique

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...)

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



Une démarche qui se décline en une variété d'actions

MONDE THÉORIQUE
Lois, relations, concepts...



MONDE MATÉRIEL
Objets / événements

Choisir un modèle adapté pour **expliquer** des faits

Établir des **relations** entre grandeurs

Démarche de modélisation

Recourir à une **simulation** pour **expérimenter sur un modèle**

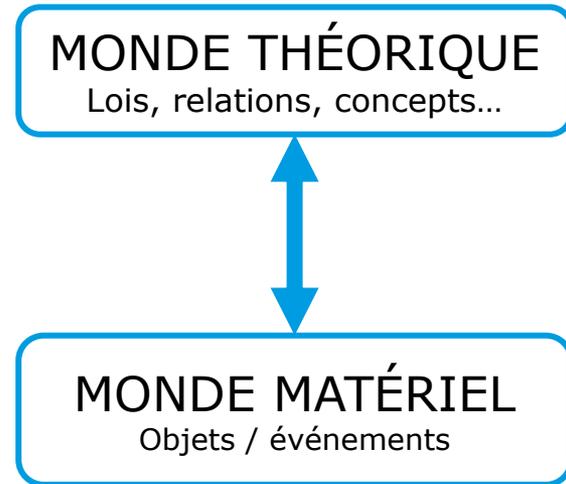
Effectuer des **prévisions** et les **confronter** aux faits

Choisir, concevoir et mettre en œuvre un dispositif expérimental pour **tester** une loi

Simplifier la situation initiale

Un enjeu d'apprentissage à expliciter

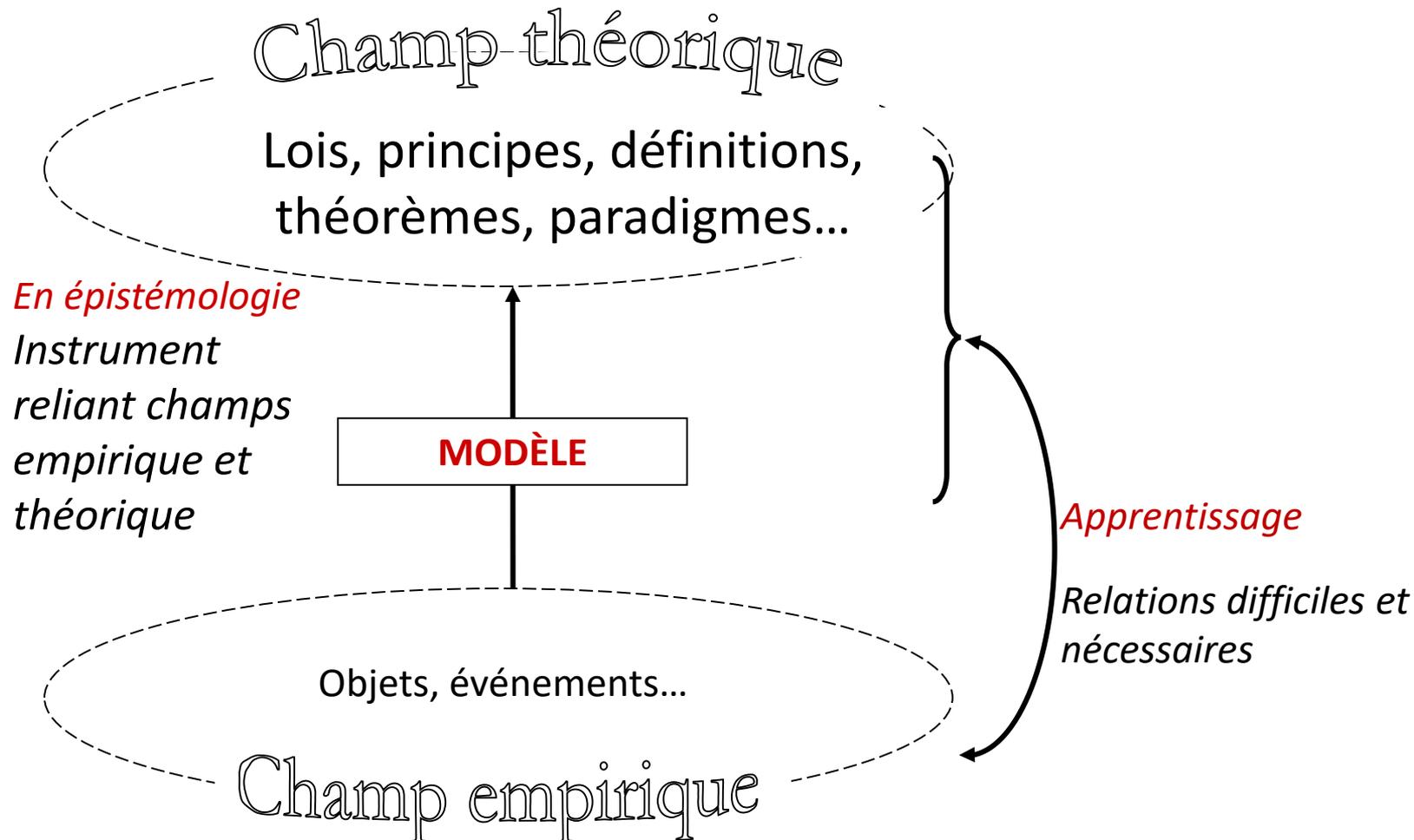
- Inhérent à la démarche scientifique
- Exigeant pour l'élève
- Totalemment intégré pour l'expert



« 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

Une épistémologie "scolaire"



Exemples

Pourquoi ce livre est-il immobile?

Explication courante

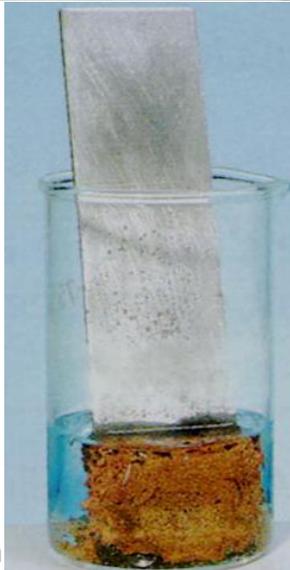
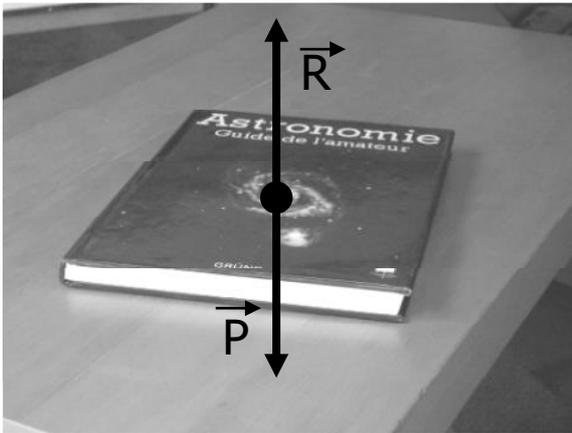
la table l'empêche de tomber ;

la table supporte le livre.

pas d'interprétation en termes de forces

En physique

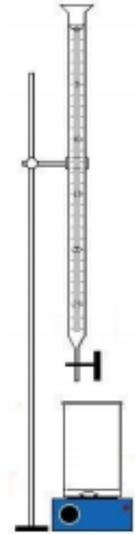
Le livre est soumis à deux forces qui se compensent



Exemples

Titration

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

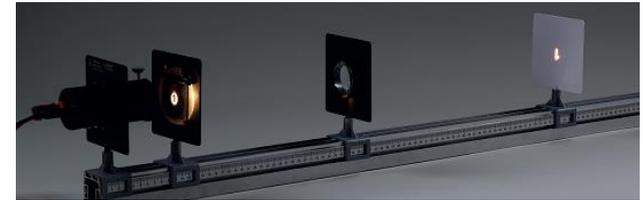


Optique

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, $\overline{OA'} = X \text{ cm.}$ »



Exemples

Des erreurs du type « Cette maison dure trois heures » ou « ma note a une jolie forme »...

- *La fréquence de l'émetteur n'est pas perçue dans sa totalité.*
- *Les deux points A et B interfèrent.*
- *La vitesse va plus vite.*
- *La solution s'est beaucoup moins dissociée que l'acide lactique.*
- *Le poids agit...*

1. Préambule
2. Caractérisation de la démarche de modélisation
3. Modélisation et type d'activités
4. Modélisation et compétences de la démarche scientifique
5. Modélisation et simulation

Caractérisation de la démarche de modélisation

Construire des savoirs théoriques ?

Lois, relations ?

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

MONDE THÉORIQUE
Lois, relations, concepts...

Construire des phénoménologies

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

*Abstraction
Induction*

Descriptions / représentations conceptuelles

Équation de réaction
Modèle du rayon lumineux
Modèle de l'œil
Modèle de l'atome

MONDE MATÉRIEL
Objets / événements

La place des modèles

(point de vue épistémologique)

Les éléments théoriques, les croyances, les intuitions influencent l'observation

→ 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

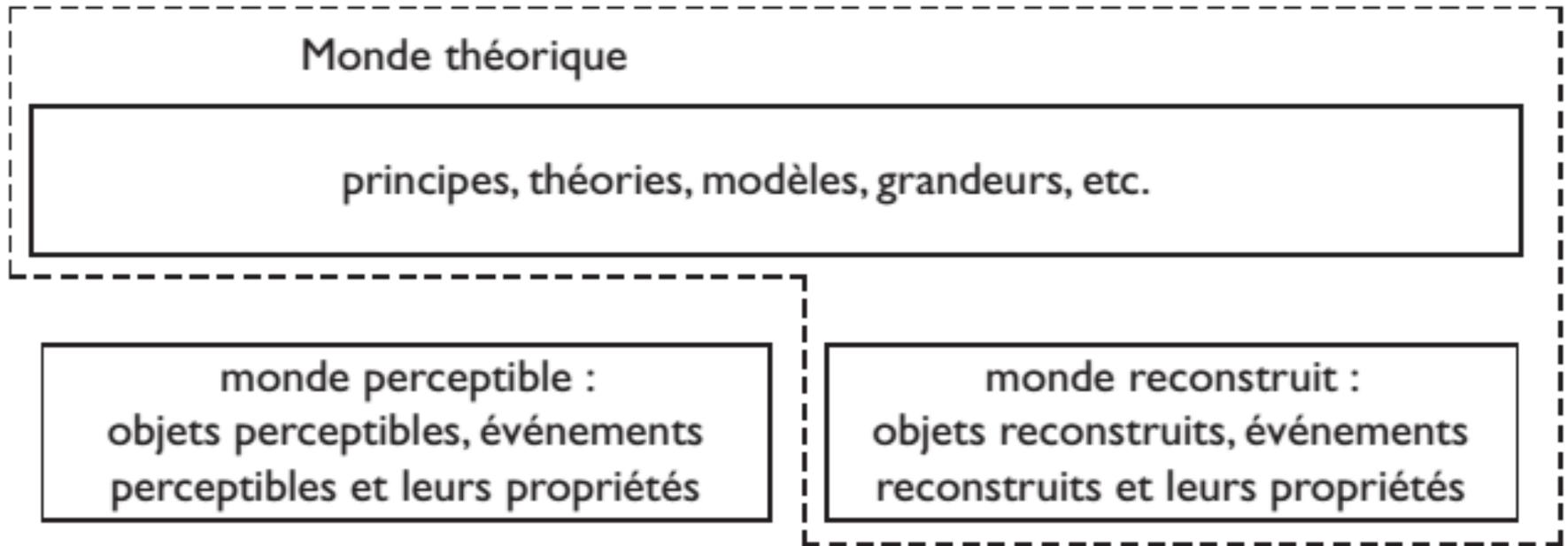
Source idéale de tension

Rayon lumineux

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

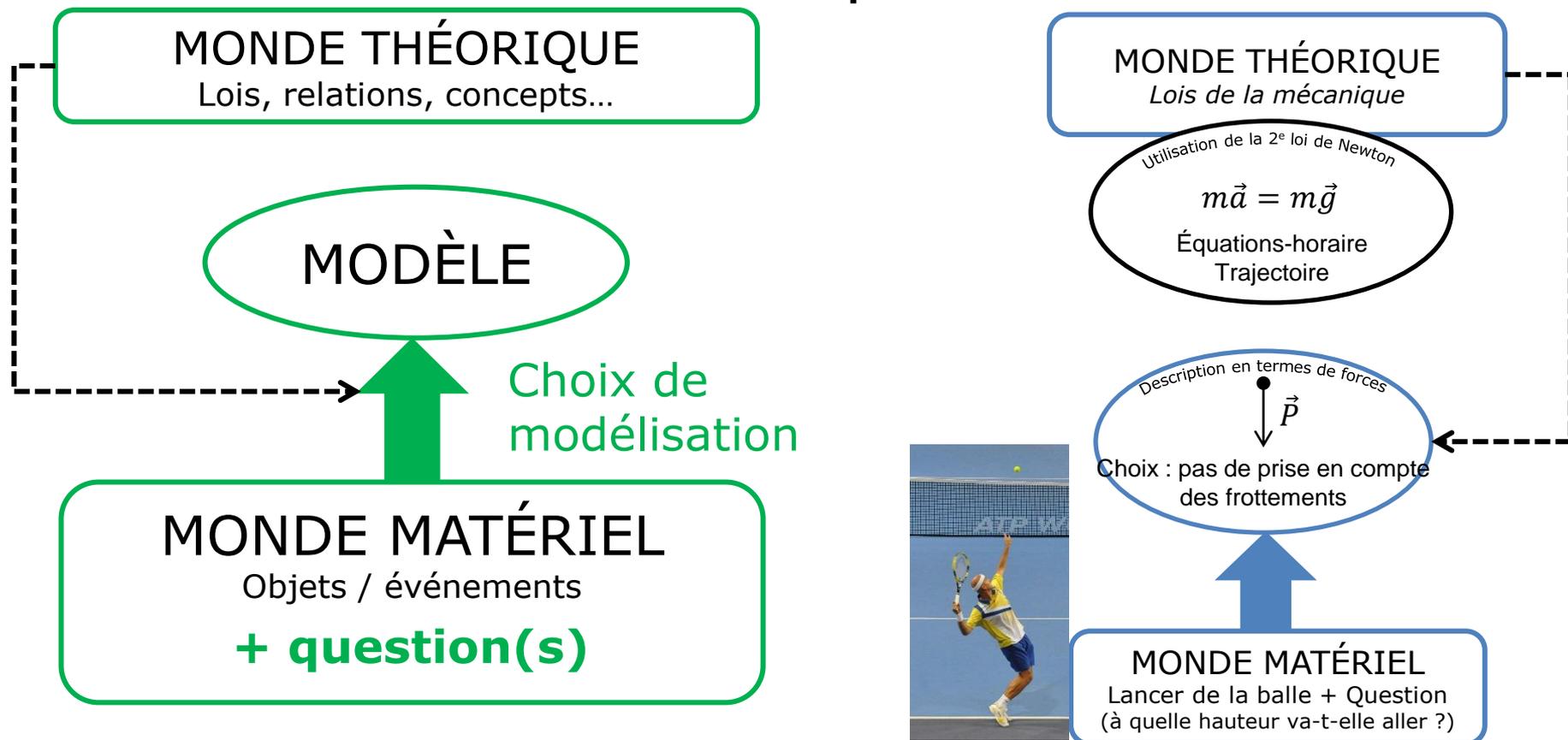
La place des modèles

(point de vue épistémologique)



Le Maréchal & Bécu-Robinault (2006)

Le modèle comme « opérateur sélectif »

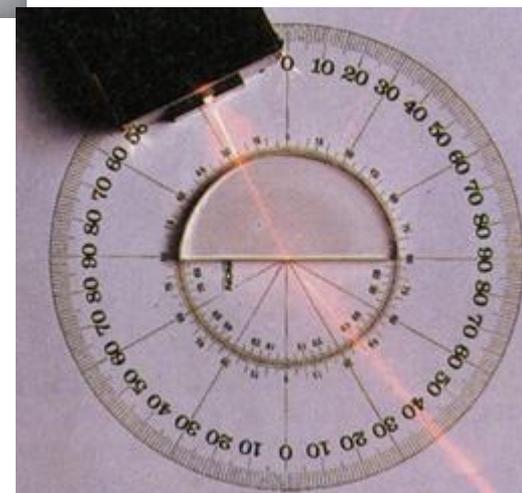
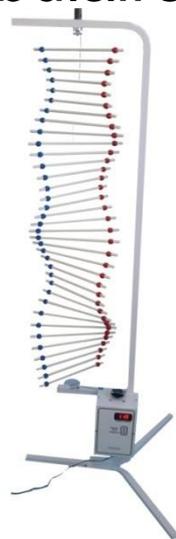
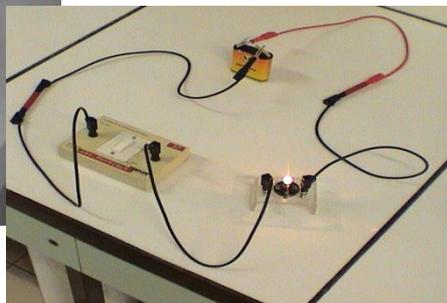
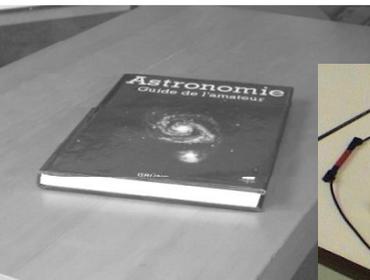


Suzanne Bachelard (1979) : « Loin de fonctionner comme copie, le modèle fonctionne comme **opérateur sélectif**. [...] Il représente non pas l'ensemble des propriétés du réel, mais **seulement certaines des propriétés**, il aide à **sélectionner** des données d'une expérience, il sépare le pertinent 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** »

Pour l'apprentissage initial

Diminuer la distance entre situation et modèle peut conduire à étudier des situations épurées...

- pour lesquelles l'explication ou l'interprétation en physique ne présente pas *a priori* un intérêt immédiat
- en utilisant un vocabulaire à manipuler avec beaucoup de précautions...



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

Pour l'apprentissage ultérieur

Les choix de modélisation peuvent être déjà effectués ou masqués :

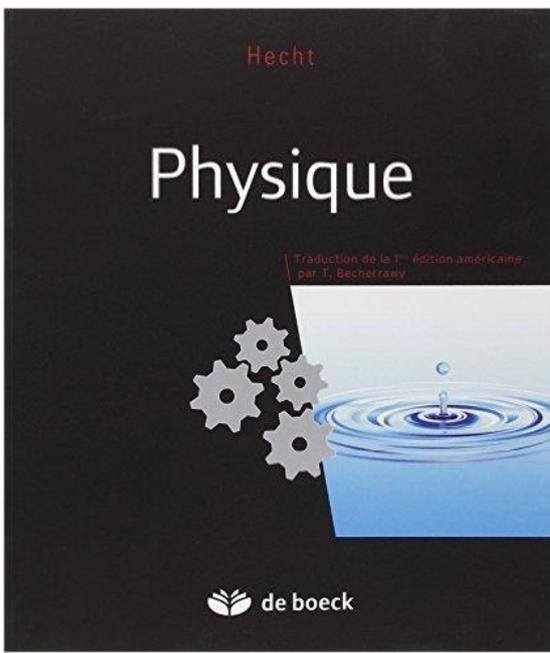
l'élève est immédiatement dans le modèle de la situation.

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 l'apprentissage ultérieur...

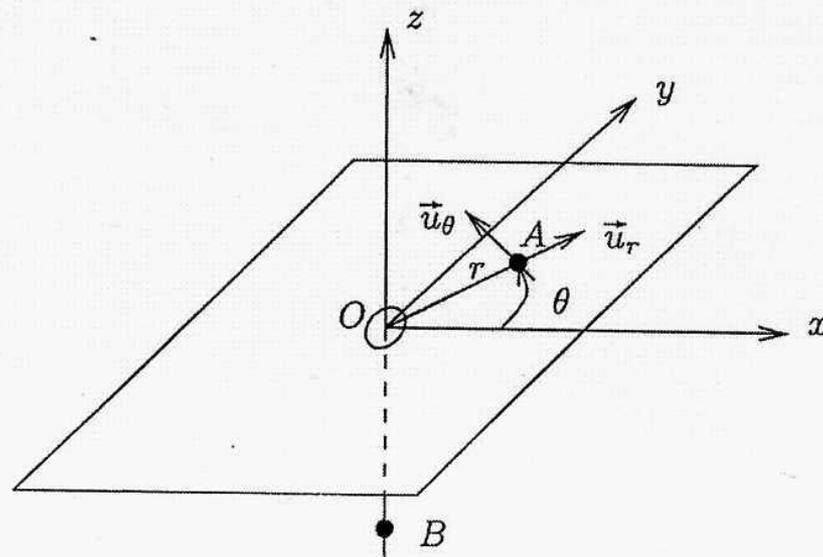
Exemple 5.7 Florence ($m_F = 50$ kg) et son ami Grégoire ($m_G = 70$ kg) sont liés ensemble par une corde de masse négligeable. Elle est debout, sans frottement, sur une plaque horizontale de glace mouillée quand son ami tombe accidentellement d'une falaise (Fig. 5.17a). La corde passe sans frottement 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.



Pour l'apprentissage ultérieur...

Sur une table horizontale se trouve un point matériel A de masse m_A mobile sans frottement (cf. figure). On munit l'espace d'un repère cartésien $(Oxyz)$, fixe dans un référentiel galiléen, Oz étant la verticale ascendante. Le point O coïncide avec le centre de la table. On note $(\vec{u}_x, \vec{u}_y, \vec{u}_z)$ la base orthonormée directe de ce repère cartésien. Le point A peut être ainsi repéré par x et y (abscisse et ordonnée), mais aussi par ses coordonnées polaires r et θ : $r = OA$, $\theta = (\vec{u}_x, \overrightarrow{OA})$. On définit la base locale $(\vec{u}_r, \vec{u}_\theta, \vec{u}_z)$ par $\vec{u}_r = \frac{\overrightarrow{OA}}{r}$, $(\vec{u}_r, \vec{u}_\theta, \vec{u}_z)$ formant une base orthonormée directe.

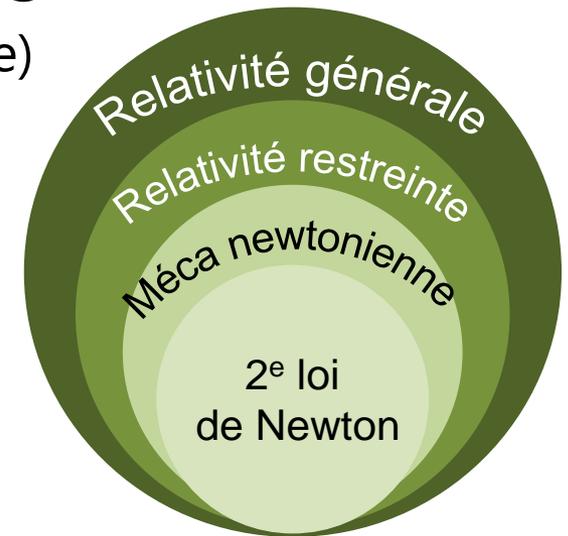
La table est percée en son centre O d'un petit trou par lequel passe un fil inextensible, de masse négligeable, liant A à un autre point matériel B , de masse m_B , sur l'axe Oz , en dessous de la table. Le fil peut coulisser sans frottement. On suppose que le fil est tendu durant tout le mouvement. Les forces que le fil exerce sur A et B sont respectivement: $\vec{T}_A = -T\vec{u}_r$ et $\vec{T}_B = T\vec{u}_z$, où T est la tension du fil, a priori non constante. Le point B ne peut se déplacer que sur l'axe Oz ; on note z_B sa cote, négative: $\overrightarrow{OB} = z_B\vec{u}_z$. Enfin, l'accélération de la pesanteur s'écrit $\vec{g} = -g\vec{u}_z$.



Théories et modèles

(point de vue épistémologique)

Des théories « emboîtées »

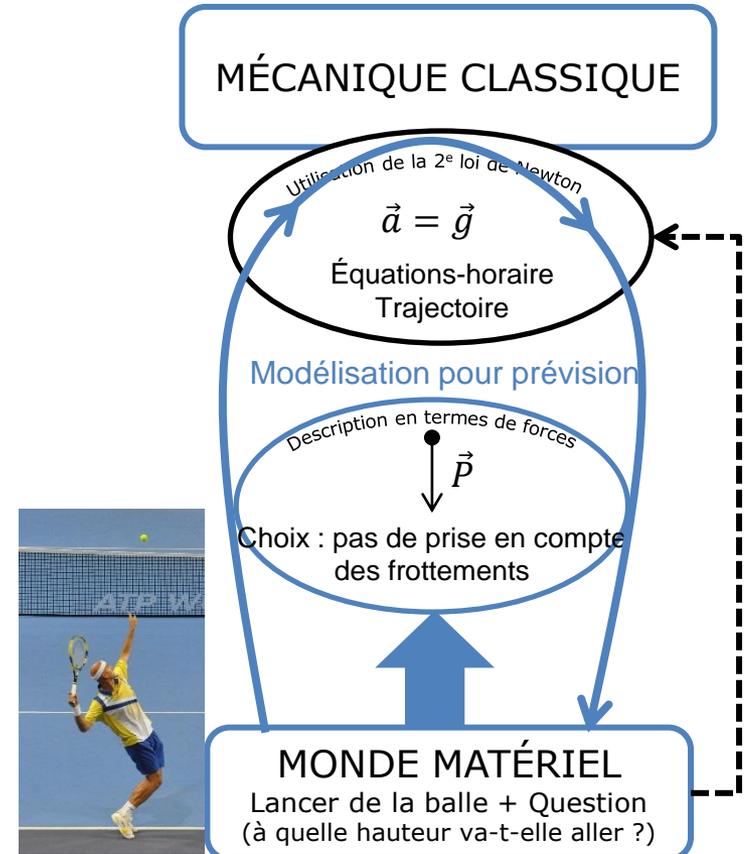
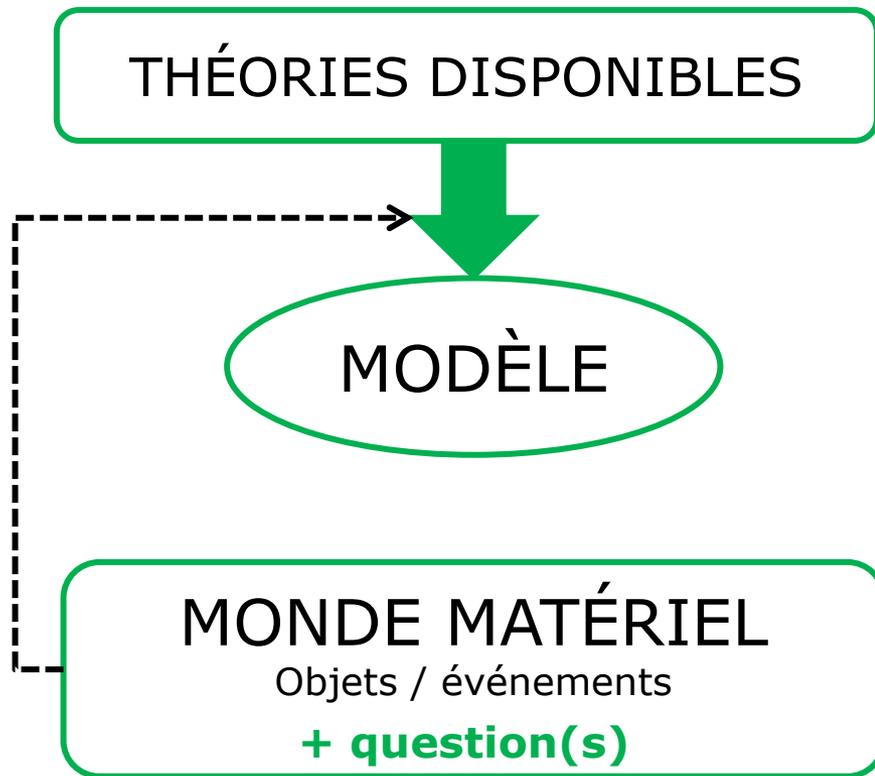


La frontière entre théorie et « modèle théorique » est parfois floue

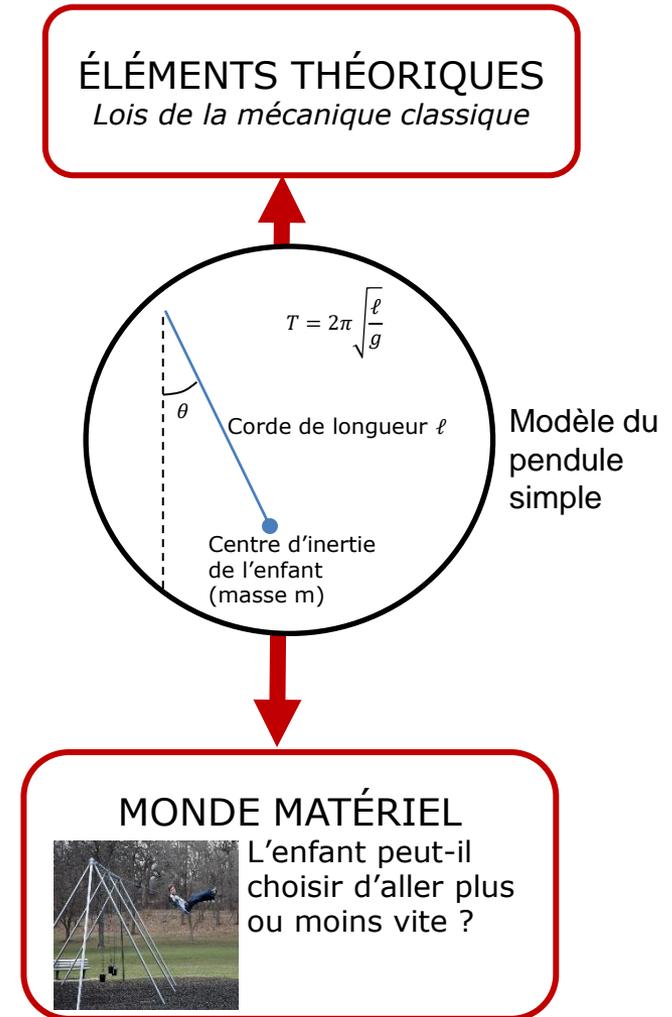
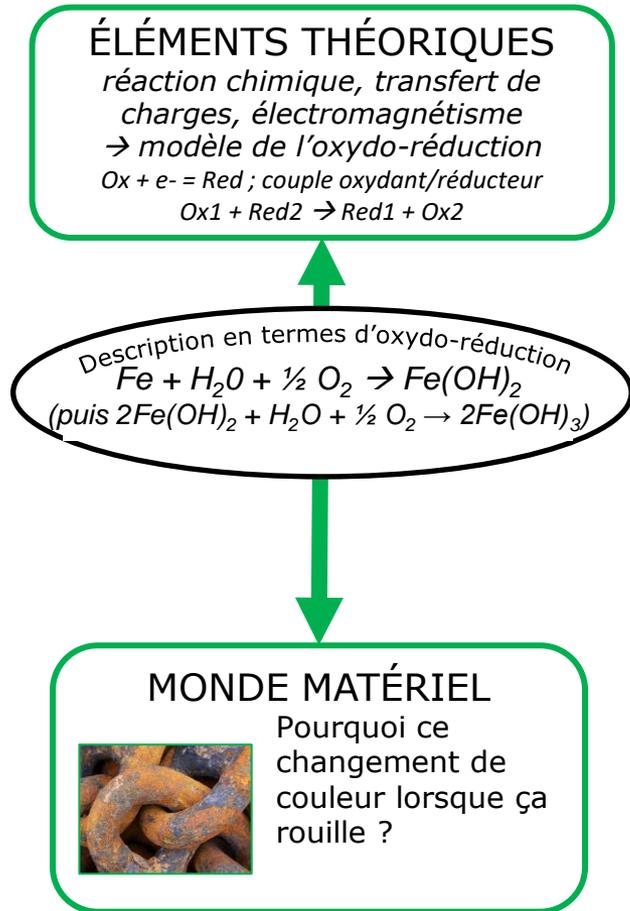
Dans l'enseignement secondaire, les grandes théories sont réduites à certains de ces modèles théoriques, des modèles liés aux situations étudiées : *modèle de la chute libre, modèle du pendule simple, modèle du gaz parfait...*

Le « modèle théorique » a une valeur explicative et prédictive

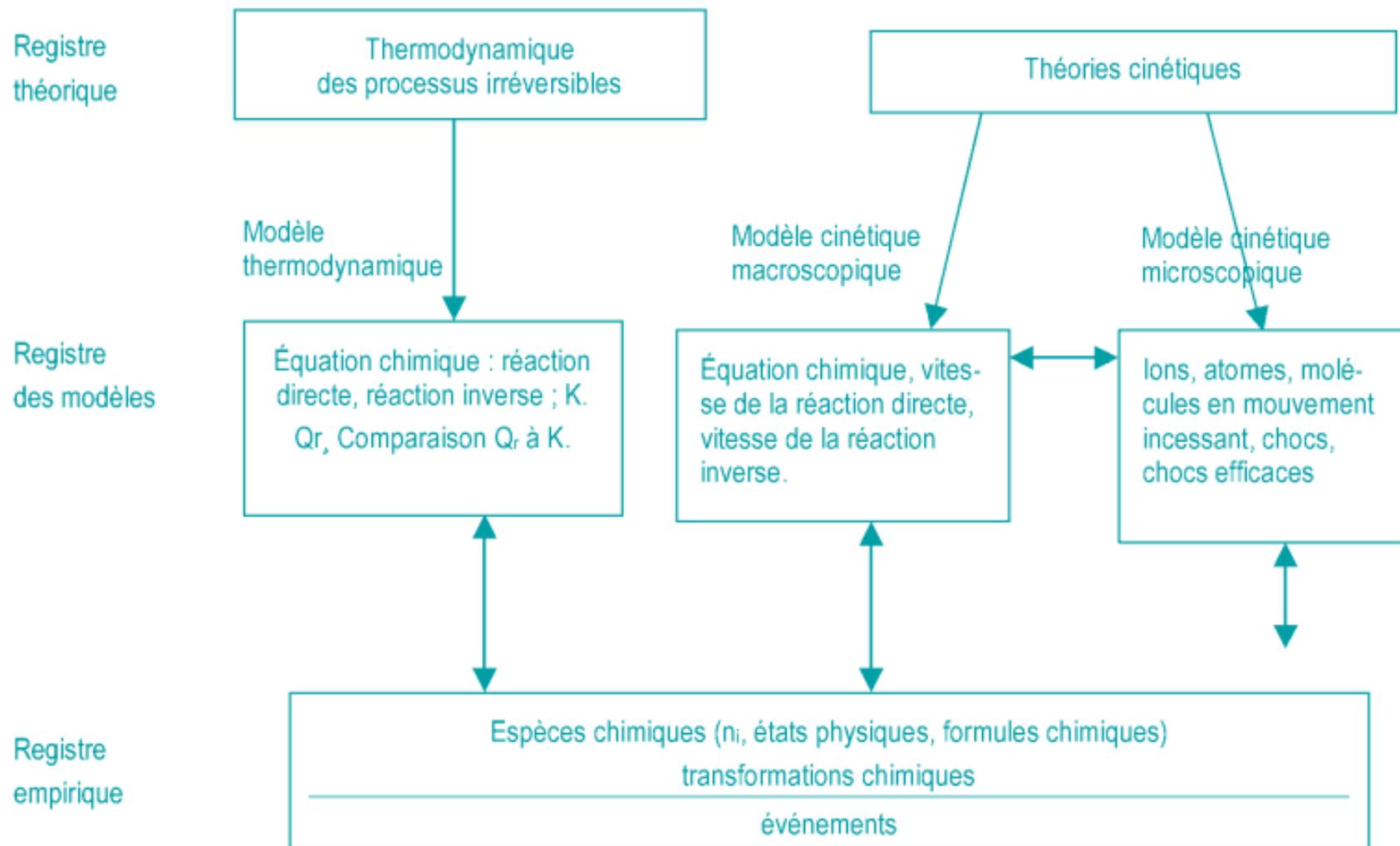
Le modèle issu de théories plus vastes



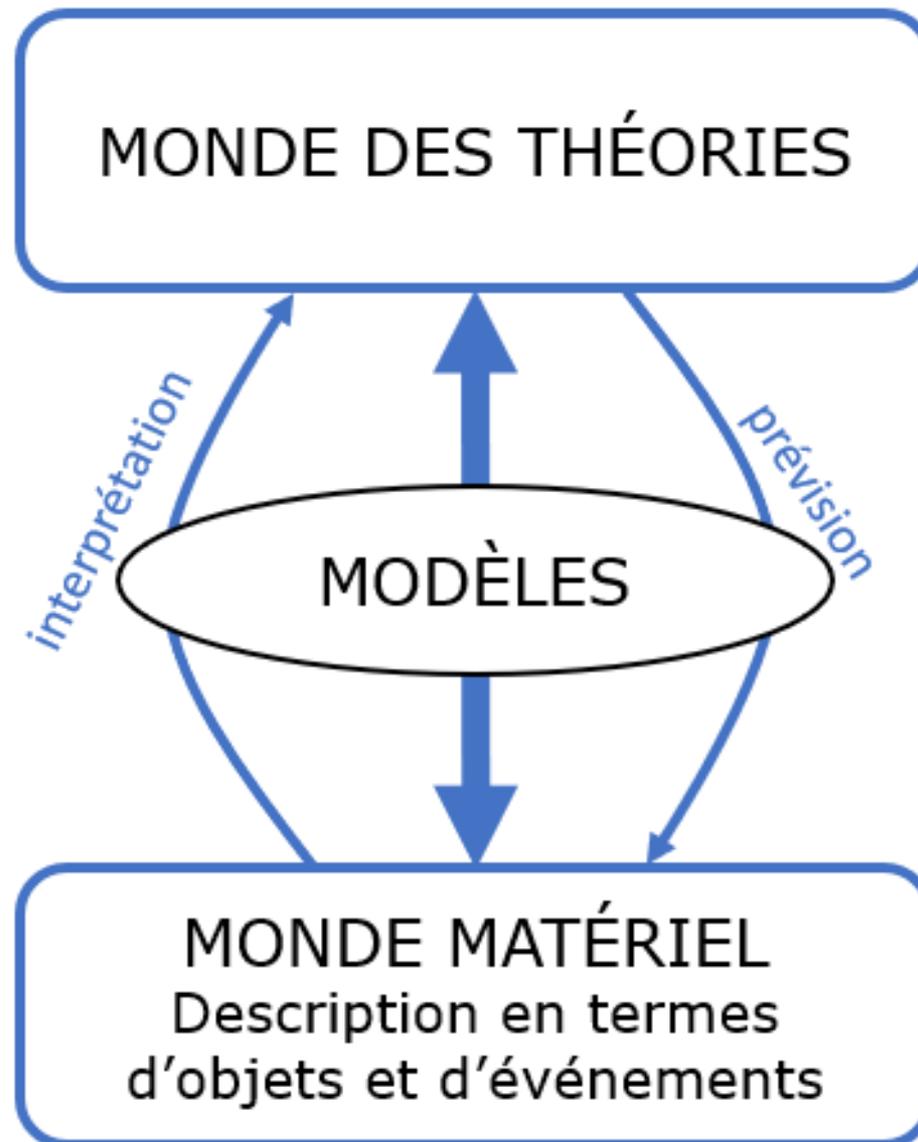
D'autres exemples

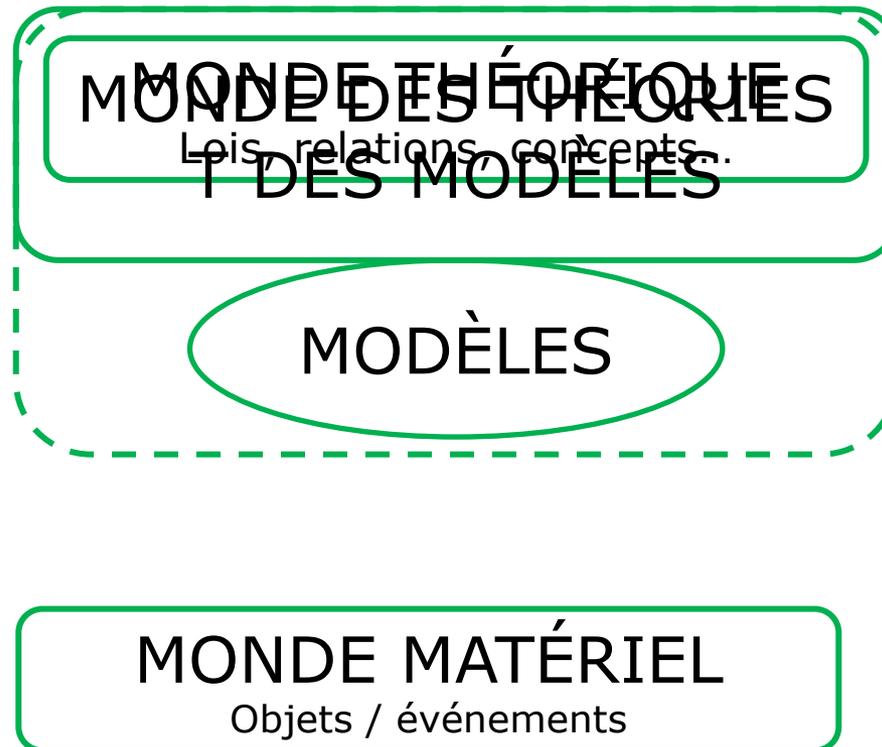


D'autres exemples

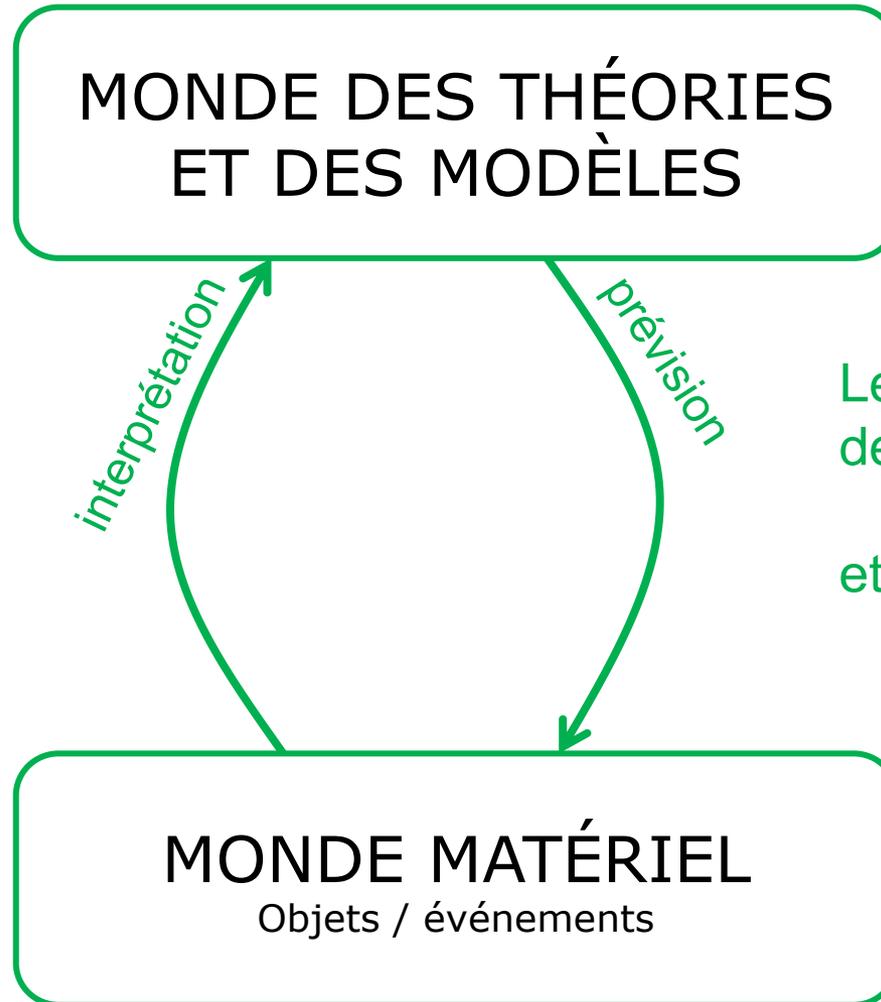


Différents modèles pour la transformation chimique (Extrait de Kermen & Méheut (2008))





Une simplification



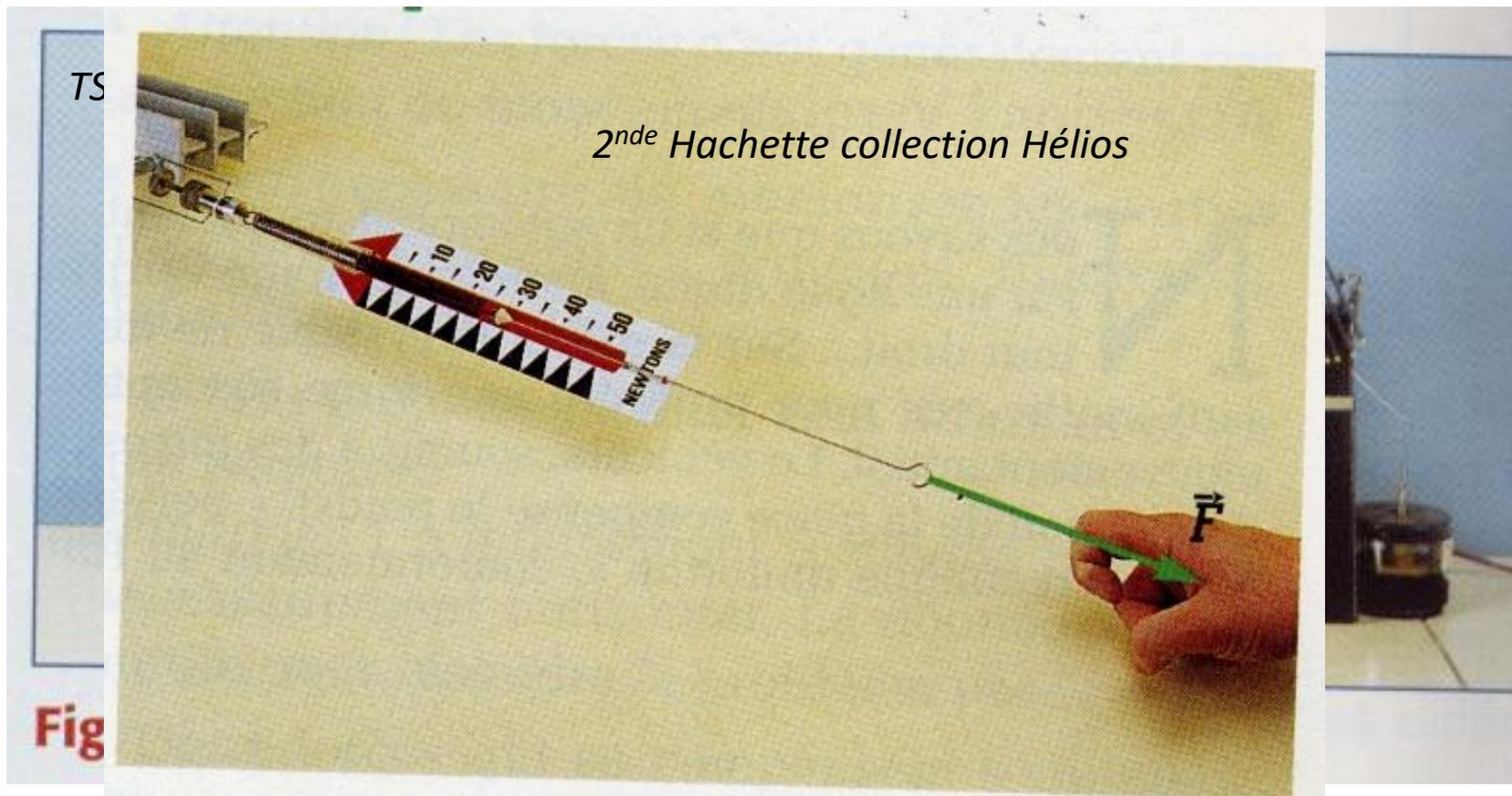
Le rôle particulier
de la mesure
et de la simulation...

Activité

Dans une partie de programme de votre choix, pointer :

- Ce qui est interne au modèle (M)
- Ce qui implique lien entre Modèle et Objet/événement (lien)
- Ce qui est interne aux objets/événements (OE)

Exemple de confusion des « deux mondes »

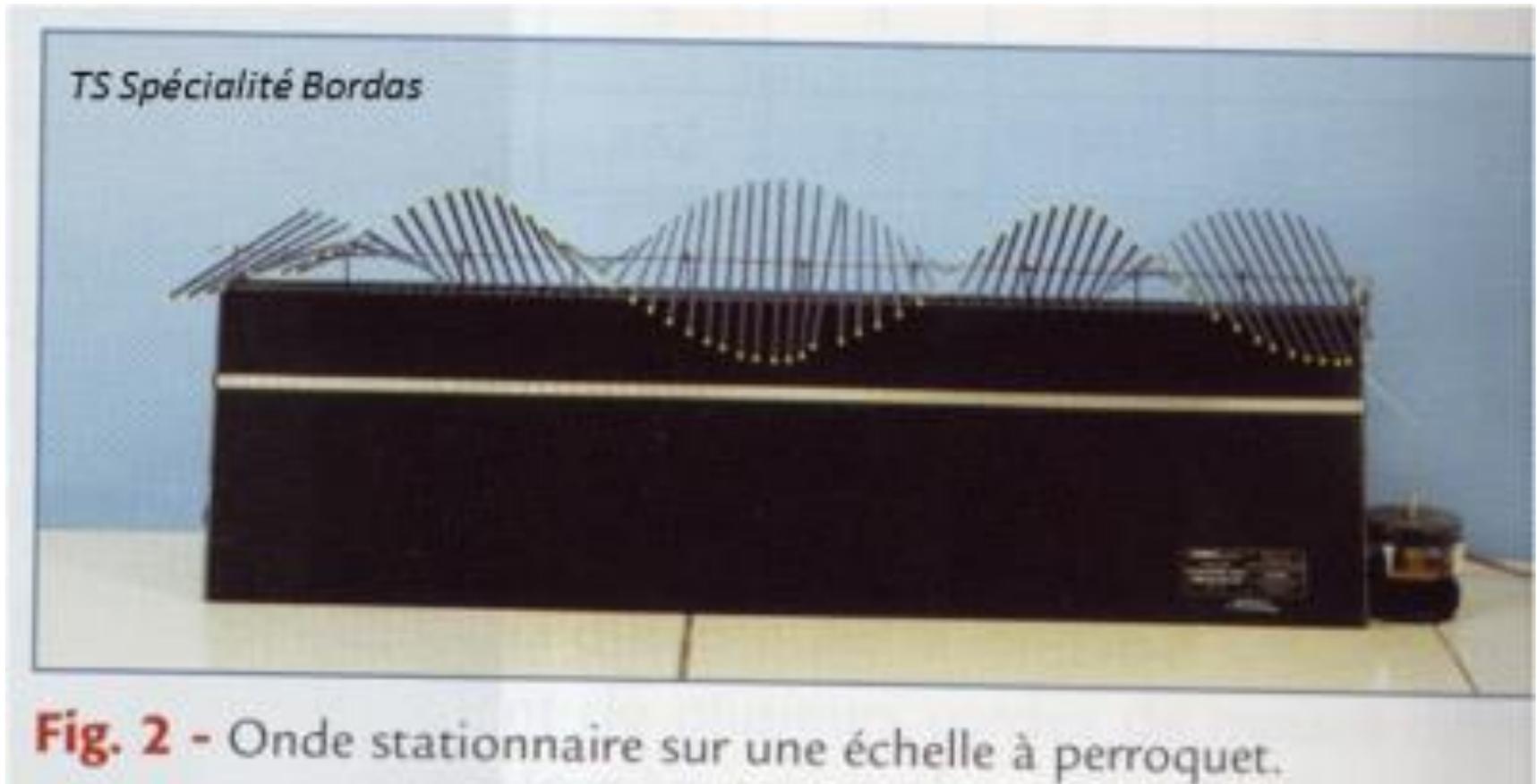


Doc. 13 Représentation du vecteur force lorsqu'on tire sur le crochet d'un dynamomètre.

Animation :

Autre conséquence sur les ondes

- On ne verra jamais une onde !



Comment expliciter l'activité de modélisation ?

- En assurant l'activité de l'élève
- En donnant un statut 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

✂-----✂

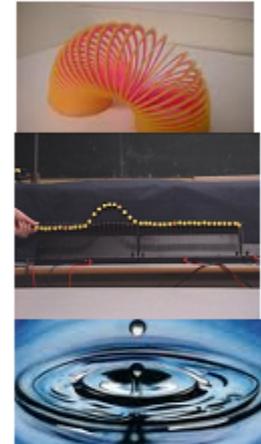
Vous disposez des § A et B du modèle

Activité 2 Ondes à une ou deux dimensions

Les vagues à la surface de l'eau peuvent être décrites comme des ondes mécaniques progressives. On envisage deux situations où se propagent des vagues, photographiées et reproduites ci-dessous :

Situation 1 :

Situation 2 :



Conséquences (côté enseignement)

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 (côté enseignement)

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

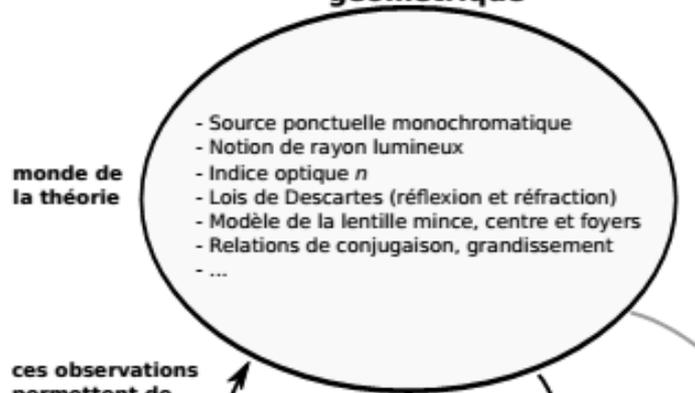
Activité 1. Représentation d'un objet par un point.

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

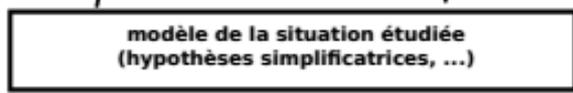
| Objet | Point représentant l'objet | Informations perdues (aucune ou préciser lesquelles) | Informations conservées (aucune ou préciser lesquelles) |
|---|--|---|---|
| balle de tennis | le centre de la balle | | |
| roue de vélo | | | |
| un parachutiste qui tombe verticalement, son parachute étant ouvert | | | |
| | Notions et contenus | Capacités exigibles | |
| | | Activités expérimentales support de la formation | |
| | 1. Décrire un mouvement | | |
| | <p>Système. Échelles caractéristiques d'un système. Référentiel et relativité du mouvement.</p> <p>Description du mouvement d'un système par celui d'un point. Position. Trajectoire d'un point.</p> | <p>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.</p> <p>Décrire le mouvement d'un système par celui d'un point et caractériser cette modélisation en termes de perte d'informations.</p> | |

Expliciter les deux mondes

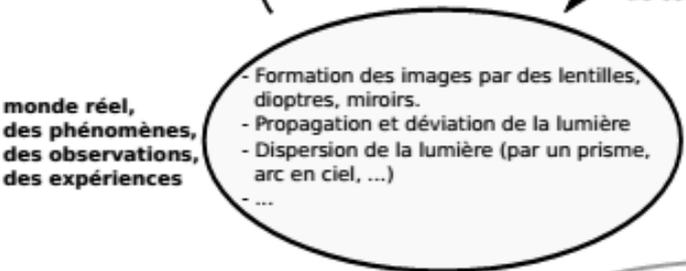
Théorie de l'optique géométrique



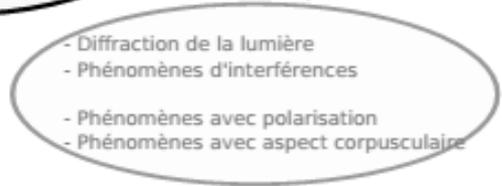
ces observations permettent de construire



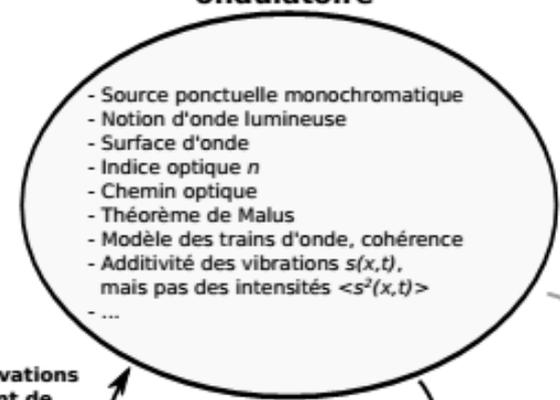
cette théorie permet de comprendre



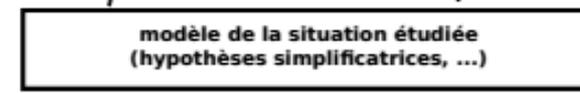
cette théorie ne permet pas de comprendre



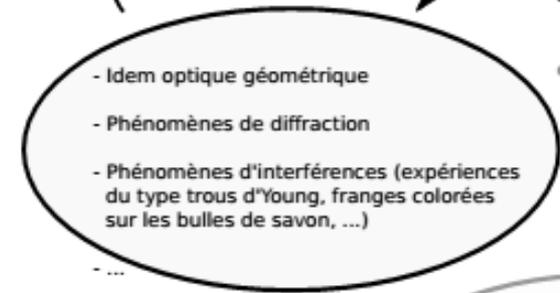
Théorie de l'optique ondulatoire



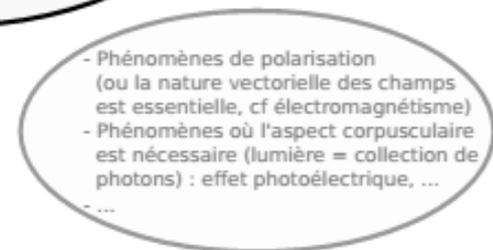
ces observations permettent de construire



cette théorie permet de comprendre



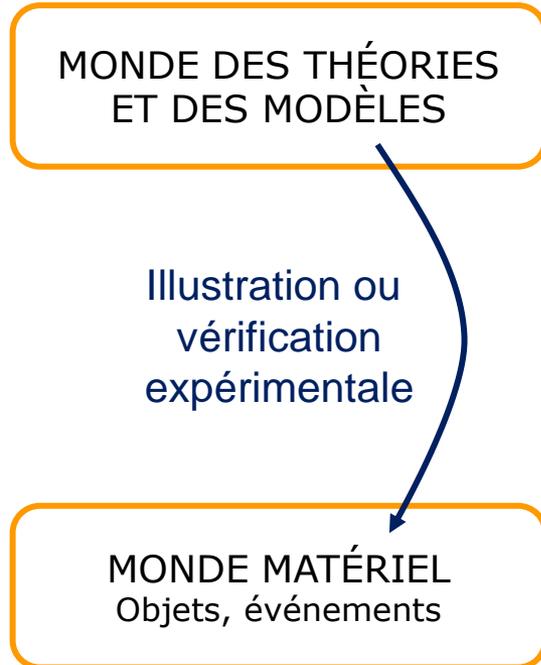
cette théorie ne permet pas de comprendre



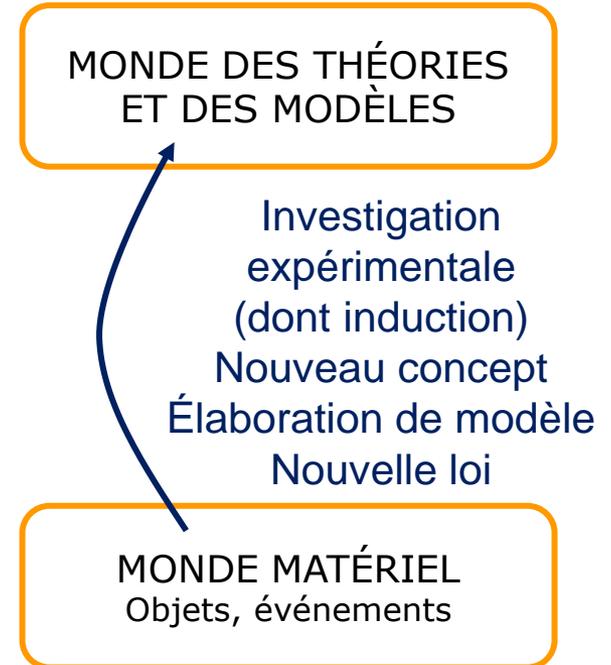
1. Préambule
2. Caractérisation de la démarche de modélisation
3. Modélisation et type d'activités
4. Modélisation et compétences de la démarche scientifique
5. Modélisation et simulation

Modélisation et types d'activités

Modélisation et type d'activités

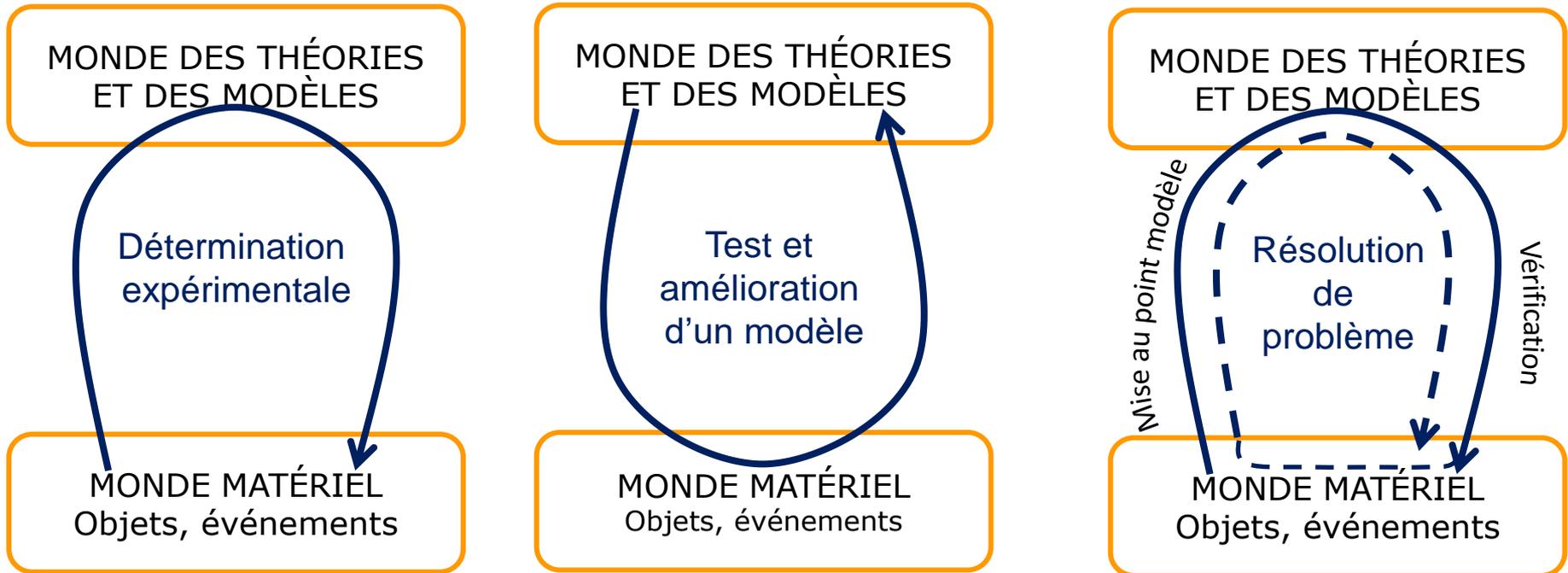


- ✓ Vérifier que le réactif limitant est celui prévu
- ✓ Tester la relation de conjugaison
- ✓ Tester la loi fondamentale de la statique des fluides



- ✓ 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



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

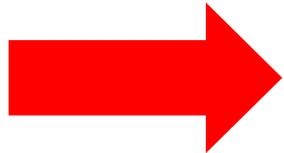
- ✓ Passer d'un modèle d'optique géométrique à un modèle d'optique ondulatoire
- ✓ Modèle d'une source réelle de tension continue

1. Préambule
2. Caractérisation de la démarche de modélisation
3. Modélisation et type d'activités
4. Modélisation et compétences de la démarche scientifique
5. Modélisation et simulation

Modélisation et compétences

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 qui caractérisent la démarche scientifique

La modélisation : une omniprésence qui traverse les compétences

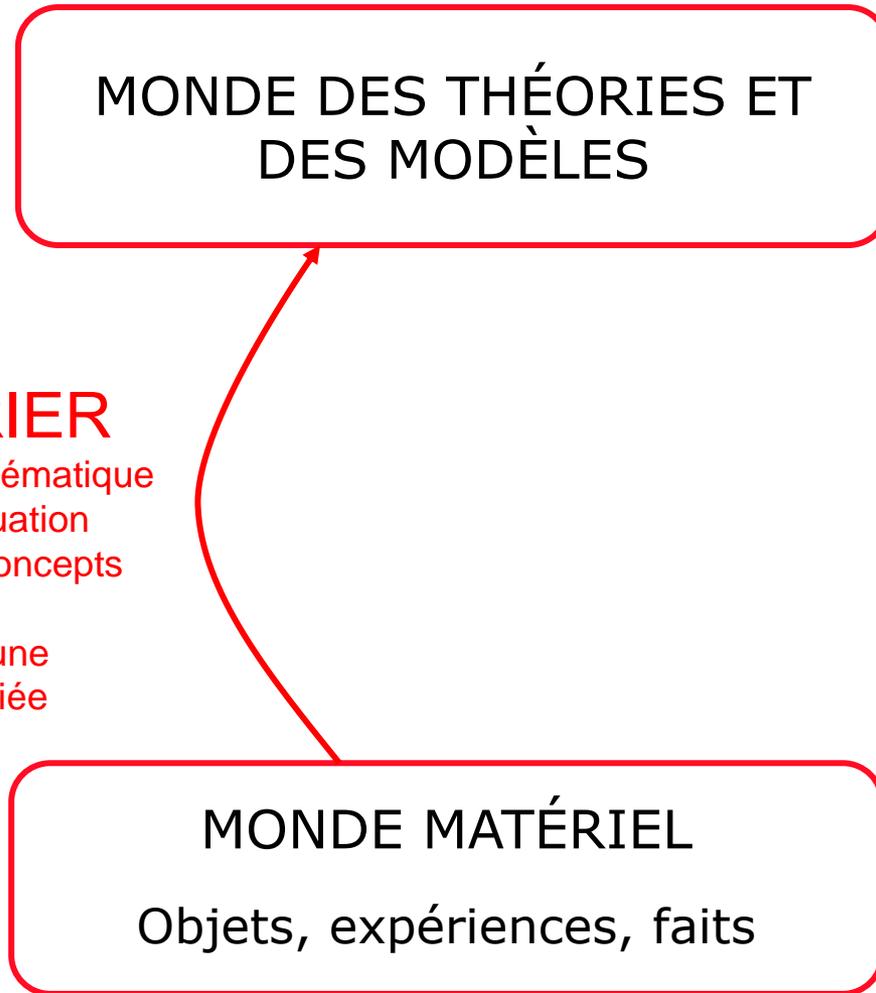
MONDE DES THÉORIES ET
DES MODÈLES

S'APPROPRIER

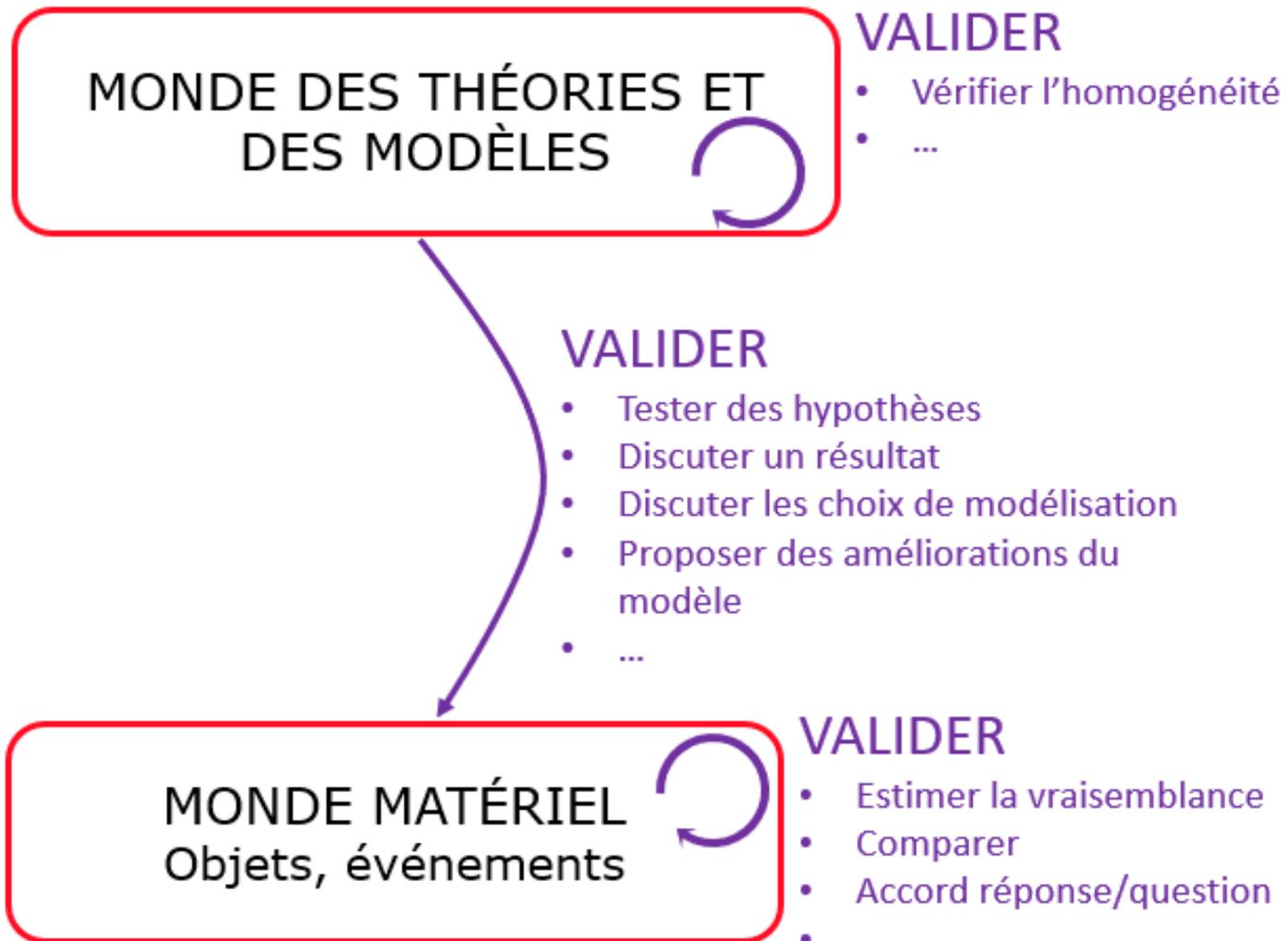
- Énoncer une problématique
- Représenter la situation
- Décrire avec les concepts appropriés
- Faire le lien avec une situation déjà étudiée
- ...

MONDE MATÉRIEL

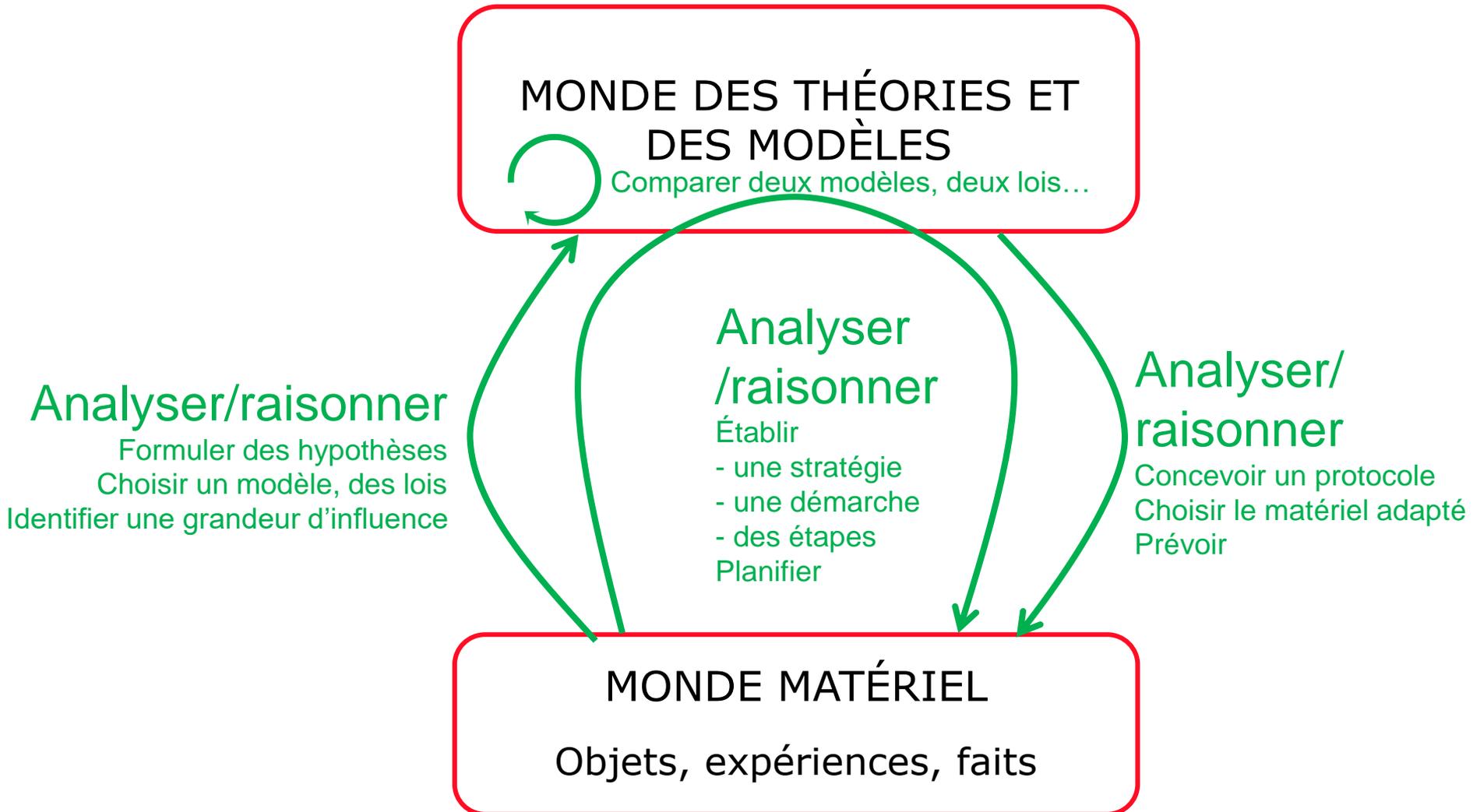
Objets, expériences, faits



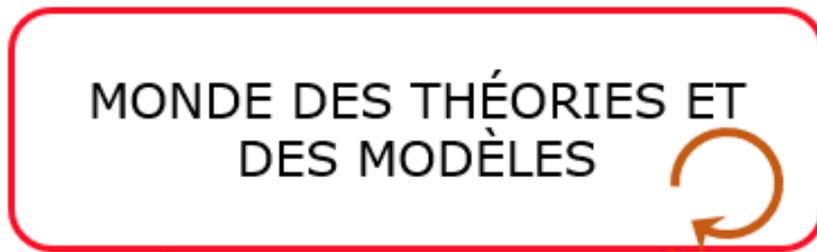
La modélisation : une omniprésence qui traverse les compétences



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...)

Réaliser

- Faire des mesures,
- Acquérir et exploiter des données



Réaliser

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

L'explicitation de la modélisation : une aide pour apprendre

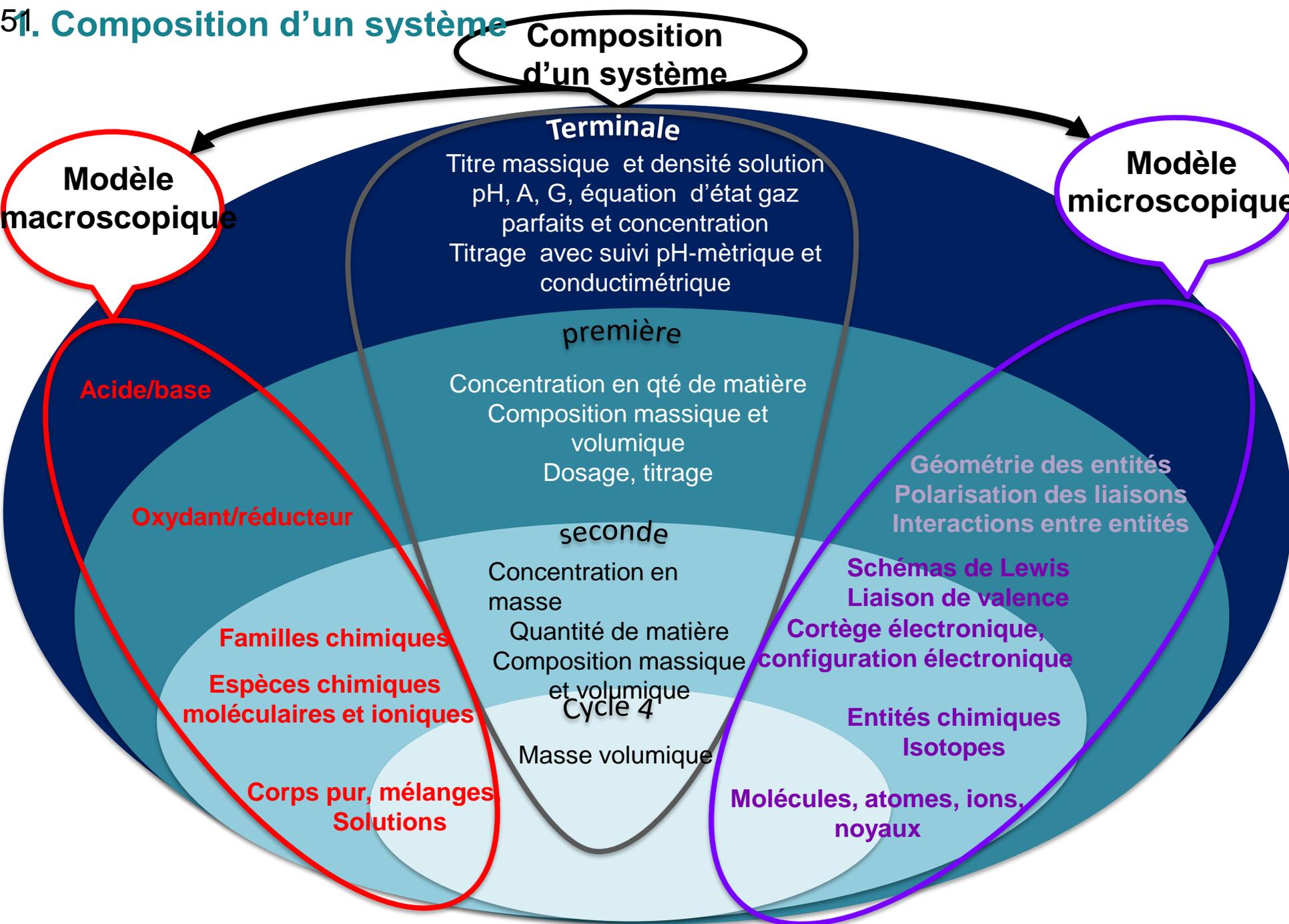
- L'articulation des « deux mondes » est au cœur des apprentissages.
- Même si elle est parfois exigeante, elle rend compte de façon authentique de la discipline.
- L'explicitation de ce qui relève d'un monde ou d'un autre permet de clarifier, pour les élèves, ce qui est attendu, et de rendre compte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

L'explicitation de la modélisation : une aide pour enseigner

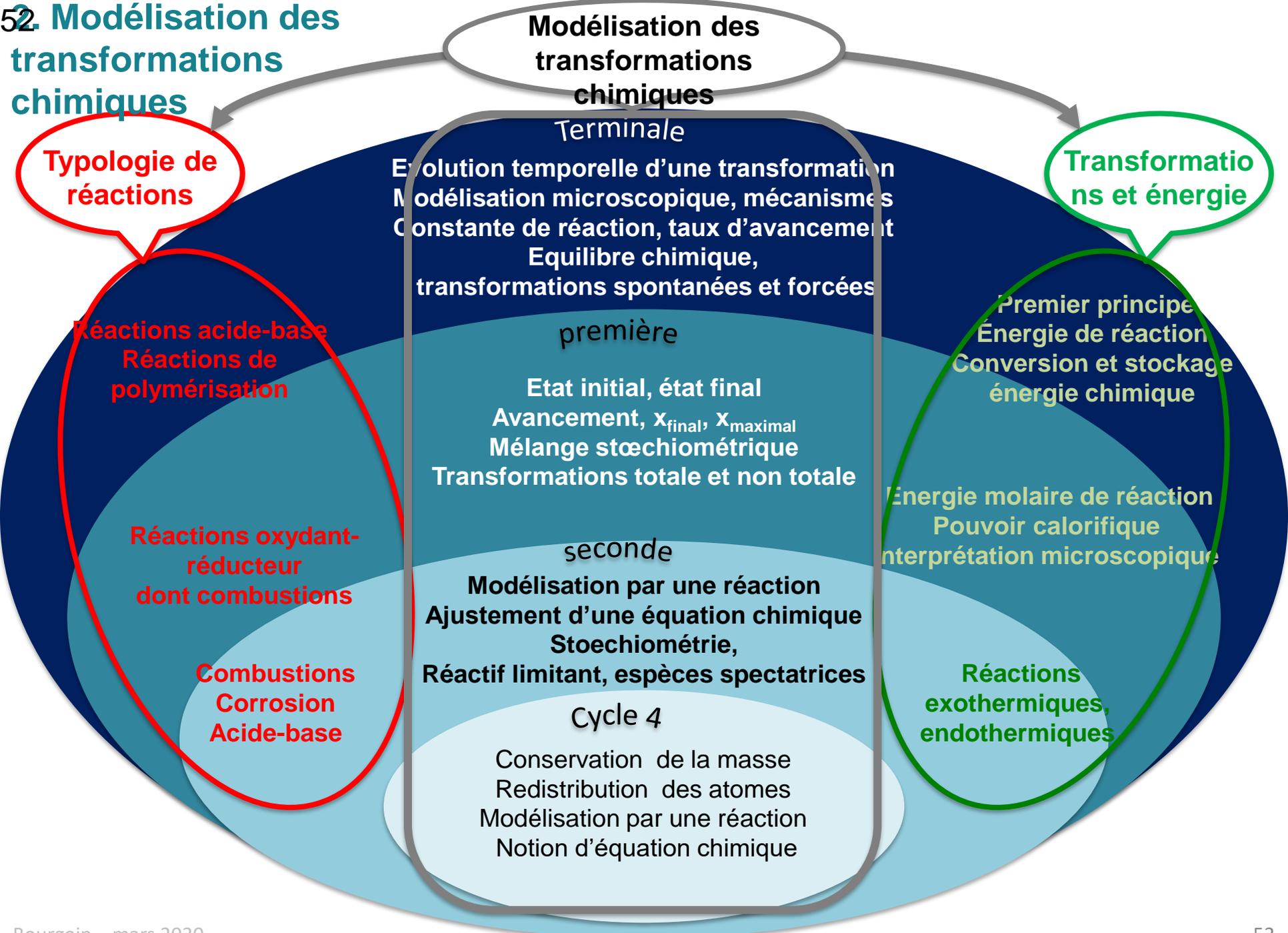
- Pour la conception des séquences :
 - Repérer les objectifs en termes de modélisation, structurer
 - Choisir des situations d'études
 - Penser les consignes soumises aux élèves, qui relèvent souvent de l'articulation entre les deux mondes : *interpréter, justifier, expliquer, caractériser, tester, prévoir...*
- En classe :
 - Adopter une nécessaire vigilance sur le vocabulaire utilisé
 - Clarifier les objectifs, les attendus
 - Anticiper d'éventuelles difficultés.

Constitution et transformation de la matière

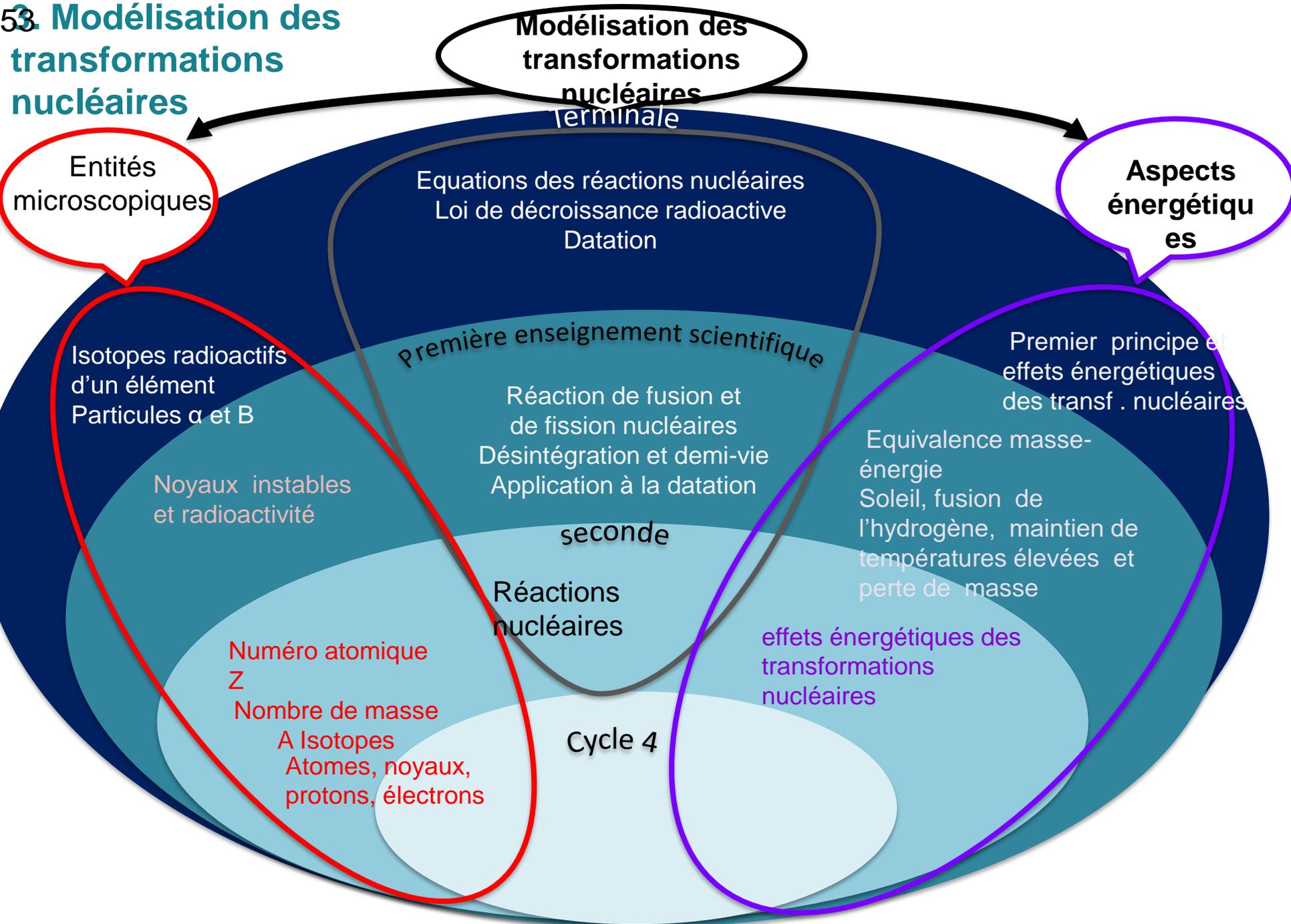
51. Composition d'un système



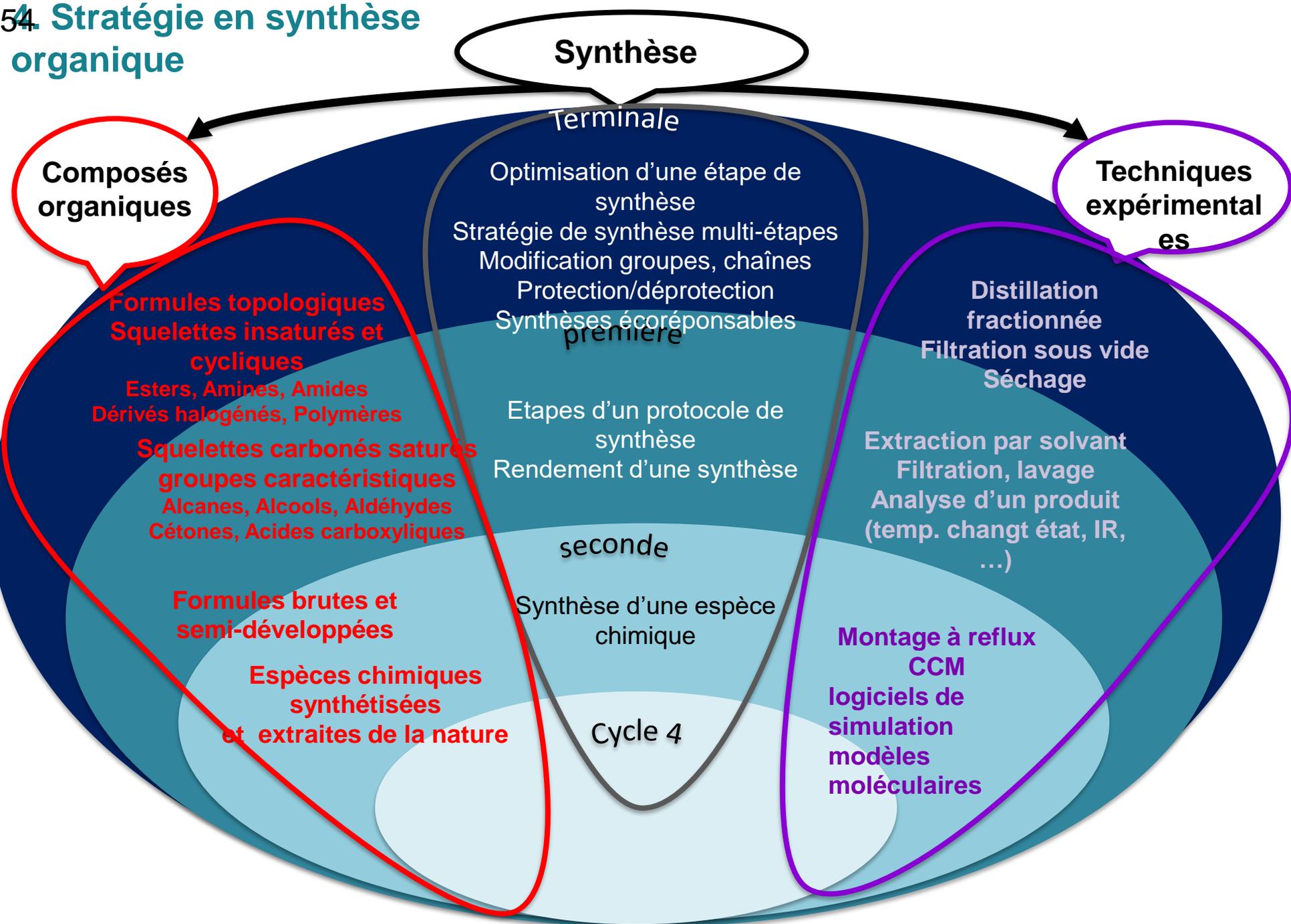
52. Modélisation des transformations chimiques



53. Modélisation des transformations nucléaires



54. Stratégie en synthèse organique



Relier mouvement et actions

Décrire un mouvement

Modéliser une action

Terminale*
Lois de Newton, équilibre
Mouvements dans champ uniforme
(de pesanteur et électrique)
Lois de Kepler
Écoulements d'un fluide.

Vecteur accélération
Mvts circulaire uniformément acc.

Effet Venturi

Poussée d'Archimède

Lien entre la variation du vecteur vitesse d'un système et la somme des forces appliquées sur celui-ci. Rôle de la masse

Loi de Coulomb force et champ de gravitation et électrostatique
Fluide au repos, loi de Mariotte, actions de pression l'hydrostatique

première

Principe d'inertie
Lien qualitatif entre variation de la vitesse et force

Modélisation d'une action
Actions réciproques
Exemples : gravitation, poids, support, fil

Référentiel. trajectoire vecteur vitesse

Cycle 4

Vitesse
Mouvement
Relativité

Modélisation d'une action par une force
Gravitation, pesanteur

L' énergie :

conversions et transferts

**L'énergie :
Conversions et transferts**

Terminale

Système thermodynamique : modèle du gaz parfait

Energie interne

Premier principe, transfert thermique, travail

Modes de transfert thermique

Bilan thermique Terre-atmosphère, effet de serre

Évolution de la température d'un système au contact d'un thermostat.

première

**Phénomènes électriques : modèle d'une source
de tension, bilan de puissance**

**Phénomènes mécaniques : Travail d'une force,
théorème de l'énergie cinétique, forces
conservatives, énergie potentielle, énergie**

**mécanique
seconde**

**Transformations exothermiques
/endothermiques.**

Transformations nucléaires

Cycle 4

***Energie, puissance, énergie cinétique, énergie
potentielle, transferts et conversion***

Bilan énergétique

Ondes et signaux

Propriétés des ondes

Terminale

Intensité sonore, atténuation
Diffraction, interférences de deux ondes
Effet Doppler

Signaux, capteurs

Images

première

Ondes mécaniques (houle ...)
Double périodicité
Relation période – longueur d'onde

Régime variable
Dipôles capacitifs
Modèle du circuit RC
Interaction photon-matière

Lunette astronomique
Lumière et flux de photons

Relation de conjugaison
Synthèse des couleurs
Modèles de la lumière

Aspects énergétiques des phénomènes électriques

seconde

Emission et propagation d'un son
Liens perception-propriétés

Lois des nœuds, loi des mailles.
Caractéristiques.
Dipôles ohmiques, capteurs

Modèle du rayon lumineux
Lois de Snell-Descartes
Modèle de l'oeil

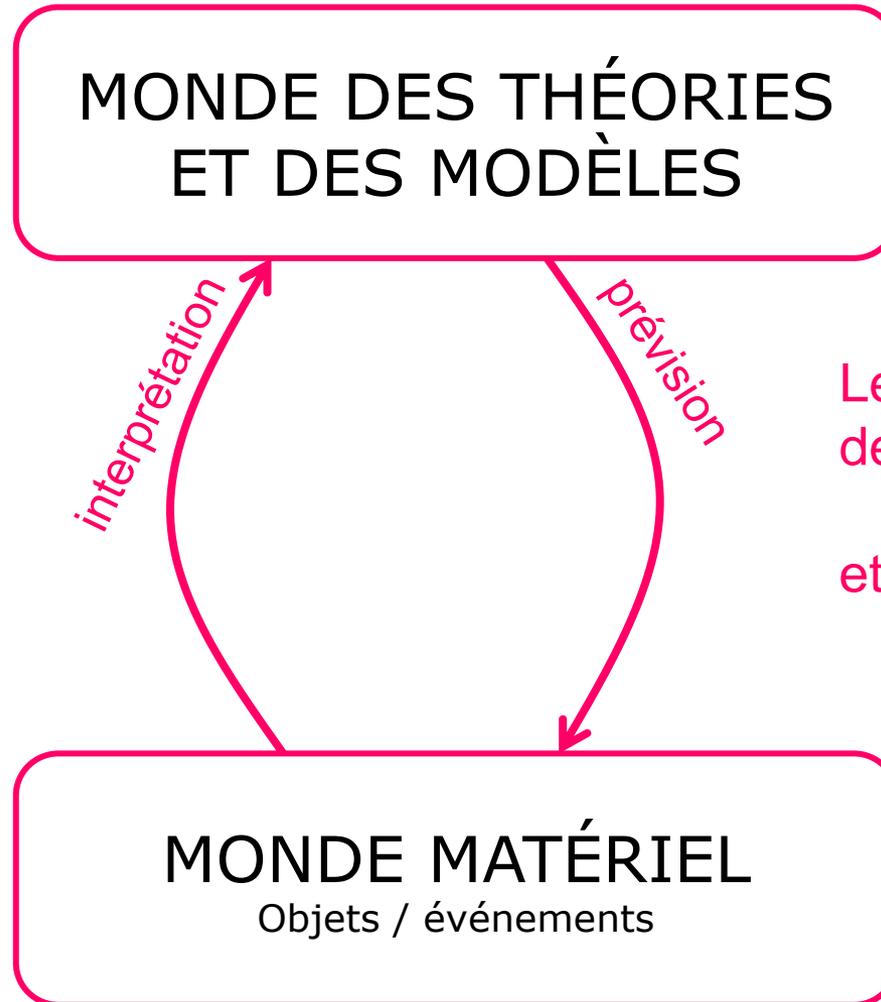
Cycle 4

Fréquence, vitesse de propagation d'un son
Rayon lumineux
Circuits électriques

Modélisation et simulation

1. Préambule
2. Caractérisation de la démarche de modélisation
3. Modélisation et type d'activités
4. Modélisation et compétences de la démarche scientifique
5. Modélisation et simulation

Une simplification



Le rôle particulier
de la mesure
et de la simulation...

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.

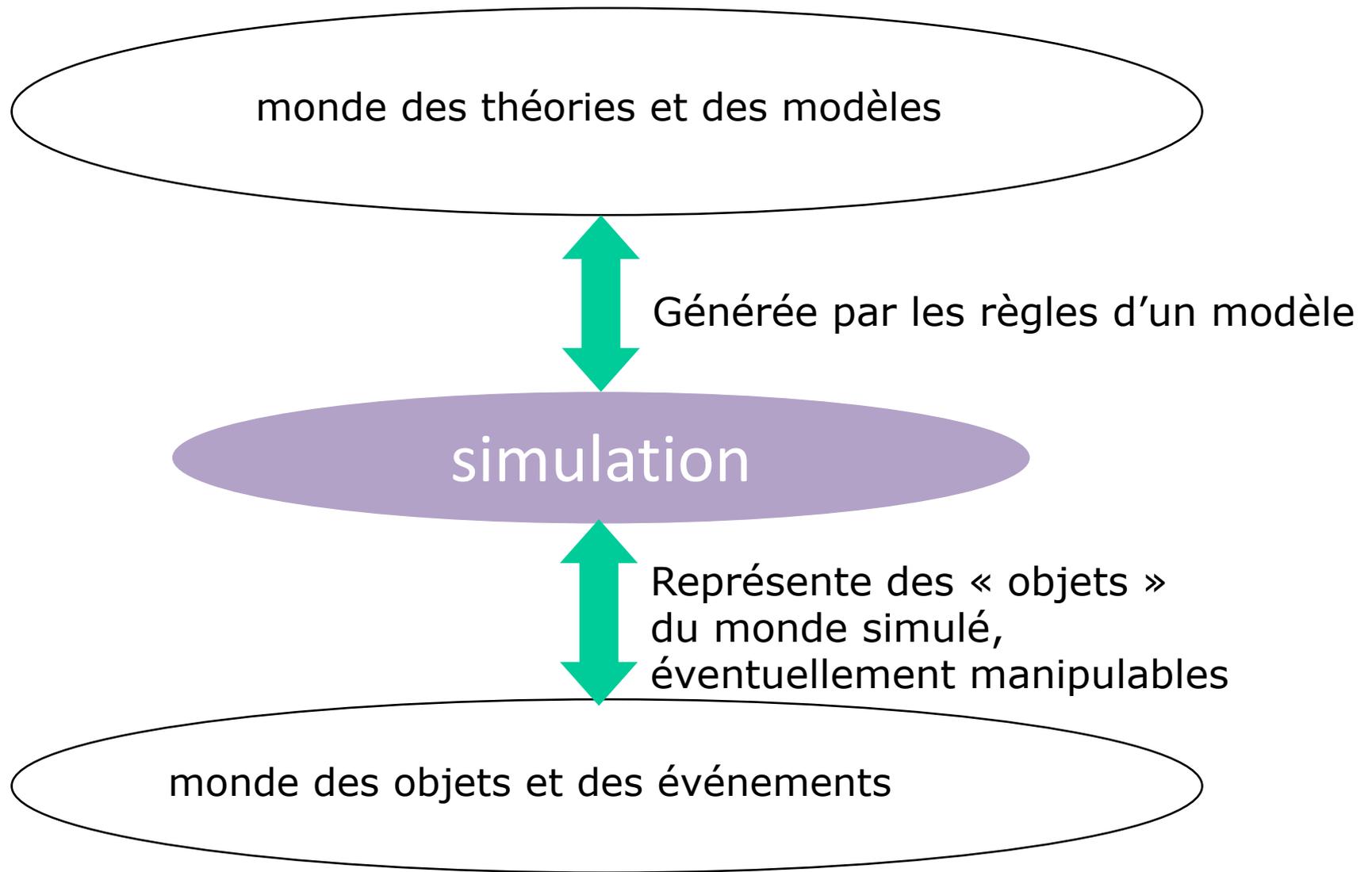
Un des éléments constitutifs
de la démarche de modélisation :

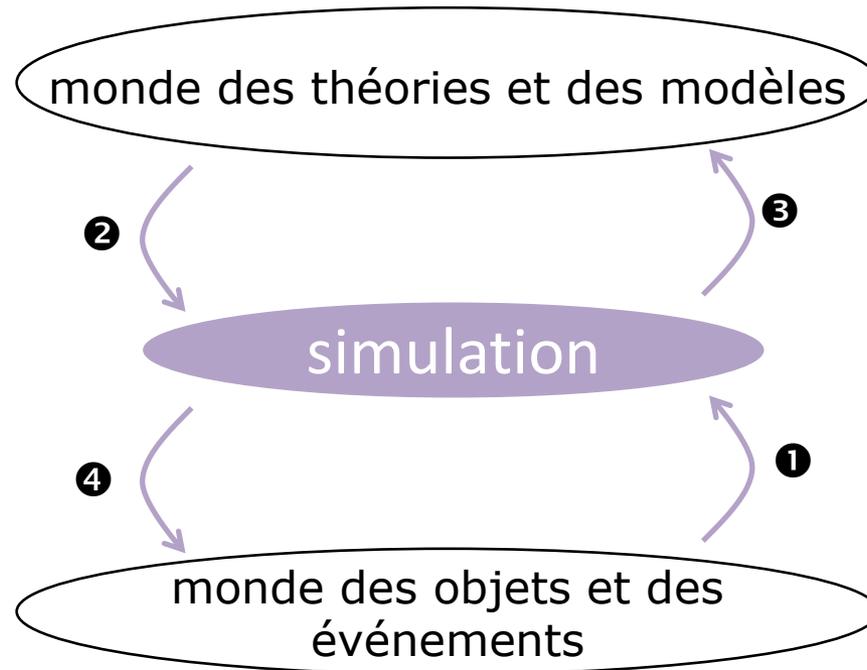
**recourir à une simulation pour
expérimenter sur un modèle**

L'**activité de simulation** peut également être mise à profit pour **exploiter des modèles à des échelles d'espace ou de temps difficilement accessibles à l'expérimentation**. Ce thème est l'occasion de développer des capacités de programmation, par exemple pour simuler et analyser le mouvement d'un système. (première)

Capacités « expérimentales » :

- mettre en œuvre un logiciel de simulation et de traitement des données.
- Utiliser un logiciel de simulation et des modèles moléculaires pour visualiser la géométrie d'entités chimiques.





- ❶ Référence phénomène (type animation)
- ❷ Référence modèle (type simulation)
- ❸ Activité de renforcement des connaissances théoriques
- ❹ Activité de renforcement de connaissances factuelles

Beaufils & Richoux (2003)

Représentation

Figuratif, permet de voir l'invisible à l'œil... ou d'accrocher le regard.

Animation

Représentation animée...

Permet de représenter au cours du temps, d'accélérer, de ralentir

Manipulation d'objets virtuels (type oscillo virtuel) ;

Modèle programmé pas un enjeu (pas de modèle à apprendre)

Interactivité assez réduite

Simulation

les règles programmées sont issues d'un modèle (les règles de programmation qui pilote le comportement de ce qui est vu)

Les règles du modèle utilisées sont au moins partiellement enjeu d'apprentissage

Simuler, c'est donc faire « jouer » le modèle, manipuler le modèle

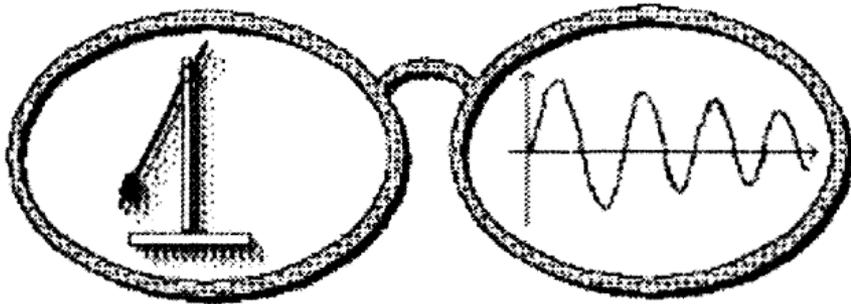
Hypothèse :

*ce peut être aussi profitable que la manipulation d'objets matériels...
et complémentaire !*

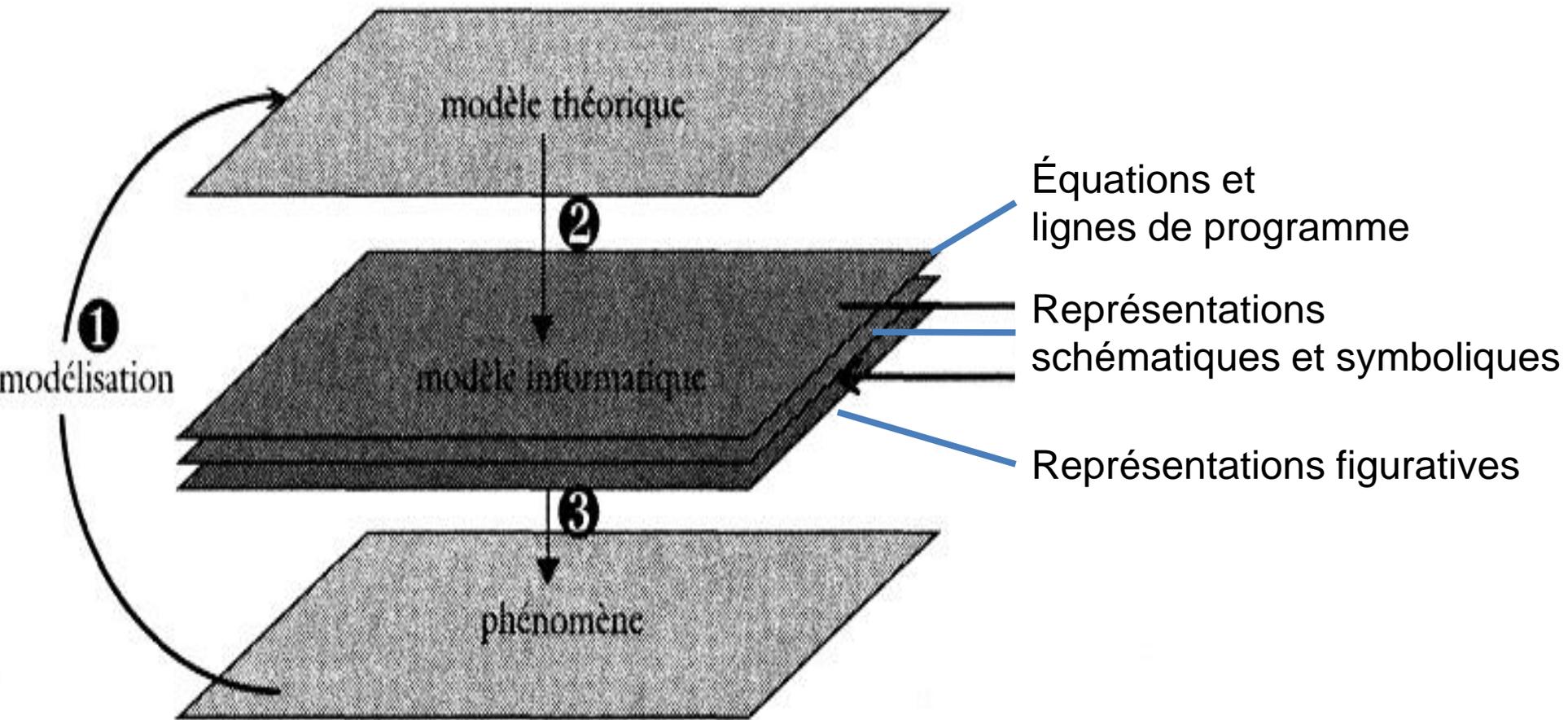
Modélisation

Logiciel pour modéliser (type modélisation numérique)

- La manipulation d'un modèle passe par la manipulation de différentes représentations
 - Courbes, schéma, tableaux, curseurs, formules, temps...
- Ces représentations permettent de donner du sens au modèle

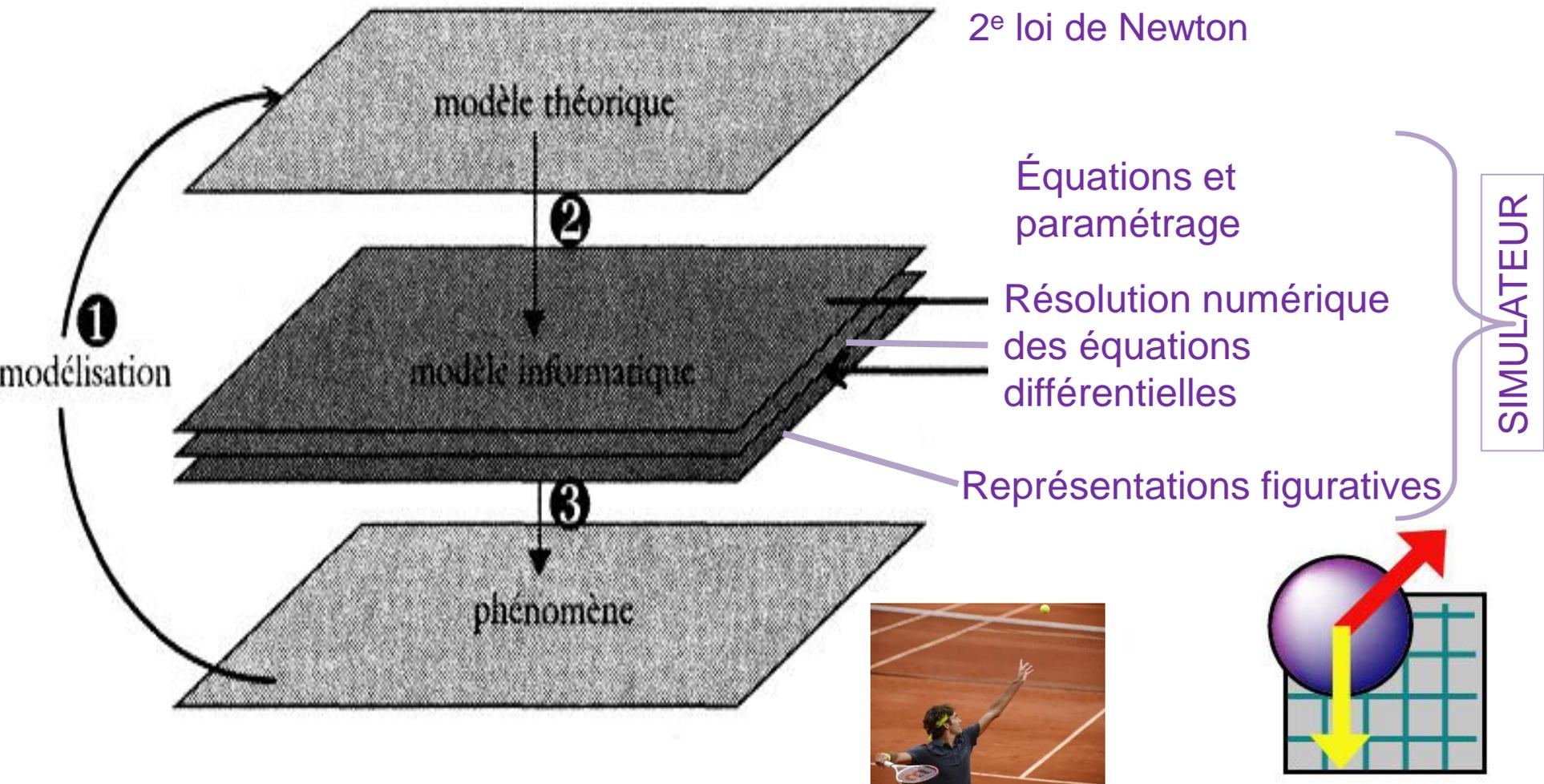


La lunette cognitive (P. Nonnon)



Beaufils & Richoux (2003)

Structure fine de la simulation



Et pour la chimie ?

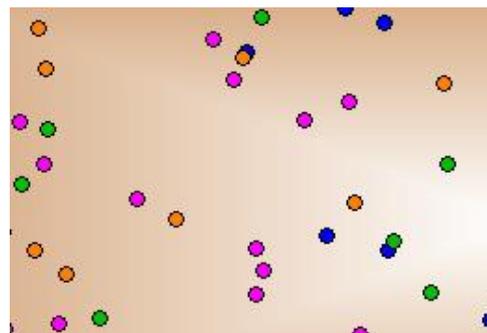
Monde théorique

principes, théories, modèles, grandeurs, etc.

monde reconstruit :
objets reconstruits, événements
reconstruits et leurs propriétés

Molécules, chocs,
énergie de liaisons, réarrangement
d'atomes...

monde simulé :
objets simulés, événements
simulés et leurs propriétés



monde perceptible :
objets perceptibles, événements
perceptibles et leurs propriétés

Mélange réactionnel,
changement de couleur...

D'après Le Maréchal & Bécu-Robinault (2006)

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., 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.