

# Usages pédagogiques des simulations en physique-chimie

Tristan Rondepierre, lycée René Descartes de Saint-Genis-Laval

`tristan.rondepierre@ac-lyon.fr`

Jacques Vince, lycée Ampère de Lyon, IFÉ

`jacques.vince@ac-lyon.fr`

# Les présentations



*Où et en quelle(s)  
section(s)  
enseignez-vous ?*

*Quel usage  
faites-vous des  
simulateurs ?*

*Pourquoi vous  
êtes-vous  
inscrit·e à cette  
formation ?*

## Vos exemples, vos propositions...

[www.prof-vince.fr/simulation](http://www.prof-vince.fr/simulation)

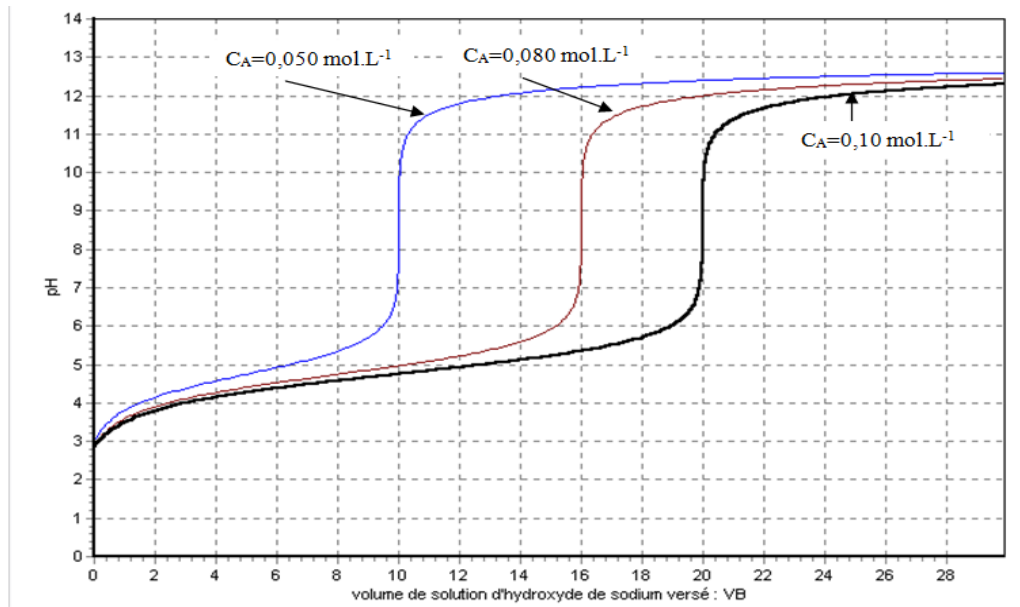
## Ce que nous avons annoncé...

PENSER L'UTILISATION DE SIMULATEURS COMME OUTILS PÉDAGOGIQUES AU SERVICE DE L'APPRENTISSAGE, EN ARTICULATION AVEC L'ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE ET LA MODÉLISATION.

PRENDRE CONSCIENCE DES DIFFÉRENTES FONCTIONS ET DES RISQUES DES SIMULATEURS.

A partir d'une analyse de l'enseignement de la physique/chimie en termes de modélisation, description de la diversité des fonctions des simulateurs en classe. Exemples d'usages au lycée. Certains simulateurs libres d'utilisations seront proposés.

## Ce que nous faisons avec les simulateurs



4. « Montrer des expériences », infaisables ou trop longues...
5. ... et parfois... des bêtises !

The simulation interface displays a digital clock at 02.39 s. It features a hand holding a string with a pulse wave. Below the string, there are three panels for selecting wave properties:

- ...de son amplitude ? (Amplitude selection with a green square and a checkmark)
- ...de sa forme ? (Waveform selection with a sine wave and a checkmark)
- ...du milieu ? (Medium selection with checkboxes for "corde 1" and "corde 2")

Below these panels, there is a section for "Propagation des ondes de S à P" (S to P wave propagation) showing two wave sources  $S_1$  and  $S_2$  and a point  $P$ . The resulting wave at point  $P$  is shown as a blue square. The interface also includes a "Réglage de la longueur d'onde" (Wavelength adjustment) slider and a "Somme" (Sum) button.

# Sommaire de la formation

1. Qu'est-ce que simuler ? De quoi parlons-nous ?
2. Les risques de l'usage d'une simulation
3. Qu'est-ce qu'un « bon simulateur » ?
4. Simuler en classe : quand ? Comment ? Pour quels bénéfices ? Des exemples.

# Sommaire de la formation

1. Qu'est-ce que simuler ? De quoi parlons-nous ?
2. Les risques de l'usage d'une simulation
3. Qu'est-ce qu'un « bon simulateur » ?
4. Simuler en classe : quand ? Comment ? Pour quels bénéfices ? Des exemples.

# « Logiciels » en physique-chimique

*Vers une typologie des fonctions...*



*Il faut supprimer de toute notre vie  
l'hypocrisie et la simulation*

Cicéron

La simulation en physique-chimie :  
une hypocrisie expérimentale ?

## De quoi parle-t-on ?

- de représentations sur des écrans
- qui évoluent dans le temps
- qui donnent à voir, souvent des éléments du monde matériel, parfois des représentations très conceptuelles...
- qui permettent, plus ou moins, de l'interactivité

**Représentation**

**Animations**

**Simulation**

**Modélisation**

## Représentation

*Figuratif, permet de voir l'invisible à l'œil... ou d'*

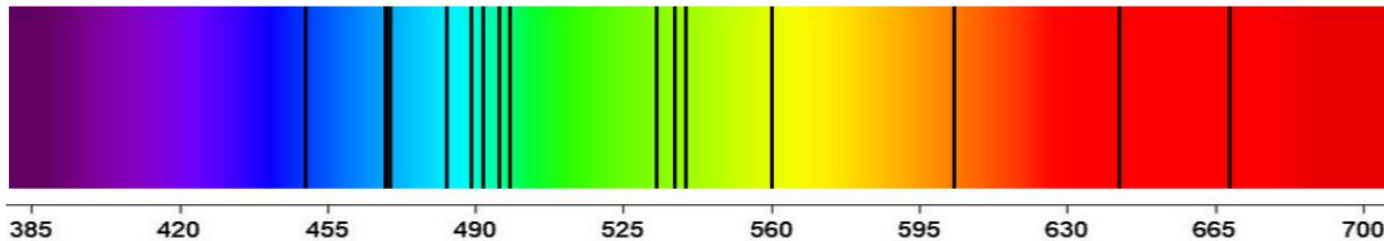
## Animation

Etoile 1

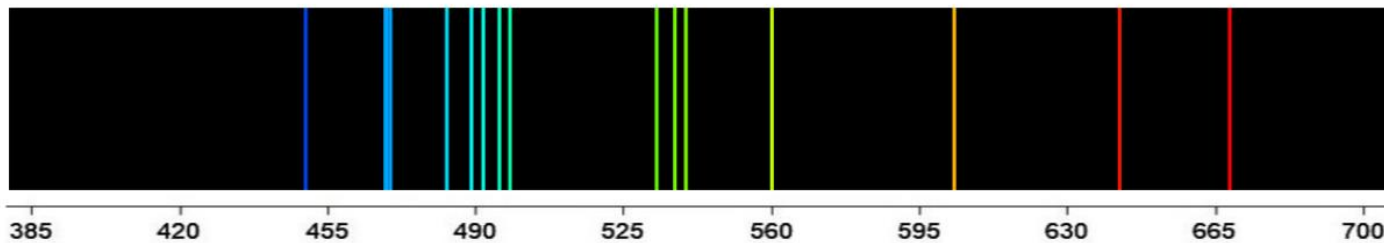
Etoile 2

Etoile 3

Spectre d'absorption de l'étoile



Spectre d'émission des éléments



Hydrogène

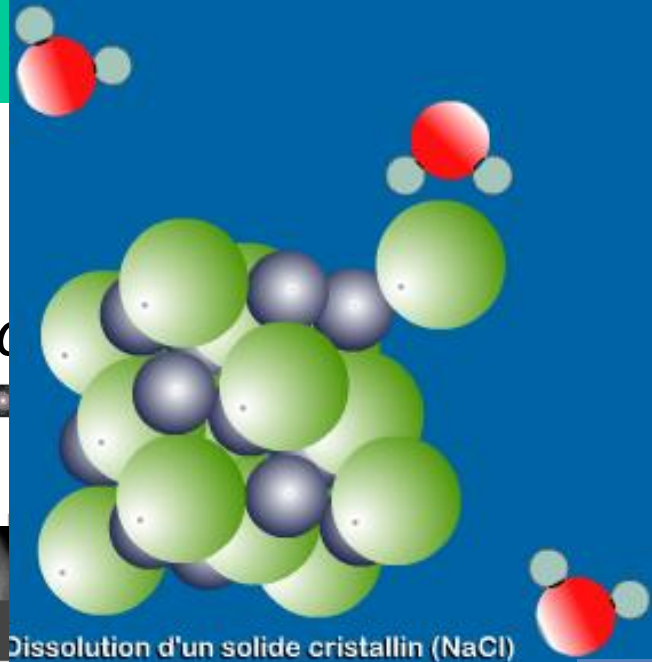
Sodium

Fer

Mercure

Argon

Titane



*accélérer, de ralentir*

*l) ;*

*modèle à apprendre)*

E104

E110

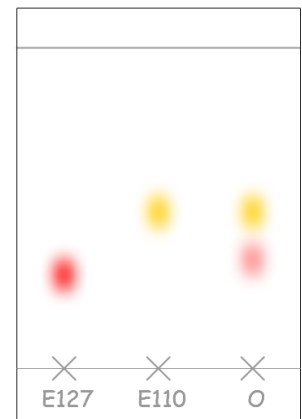
E122

E124

E127

E131

E132



Nouvelle  
plaque

## De quoi **ne** parle-t-on **pas**?

- d'acquisitions de données authentiques
- d'outils numériques permettant la mise en ligne et la mutualisation d'informations
- d'outils numériques permettant l'évaluation, la mémorisation (quizlet, anki, quizzbox...)
- d'outils numériques permettant de communiquer selon de « nouvelles » modalités (cartes, dessins...)

## Sur l'usage des « logiciels »

Une pratique préconisée...

...qui souffre d'un effet de mode passé

...qui est censée motiver les élèves (?)

...qui reste très sous exploitée et cantonnée à un rôle *de représentation et d'animation*

...dont l'usage a peut-être tendance à être de moins en moins précautionneux...

## Sur le rôle de l'expérience

- Des accroches quotidiennes... qui nécessitent un recours accru aux représentations animées
- La pérennité d'expériences « pédagogiques » faites pour coller au modèle
- L'expérience comme moyen de construire des connaissances, de tester une loi, de percevoir les limites du modèle... (ce n'est plus à côté du cours)

## Des situations expérimentales pour :

- valider un modèle (vérifier que...)
- explorer le champ de validité d'un modèle
- susciter le besoin d'un (nouveau) modèle
- explorer les idées des élèves (situation-problème) et mettre en place des outils pour modéliser

*Animations et simulations ne peuvent pas tout faire !...*

# Pour les nouveaux programmes de lycée

## 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.*

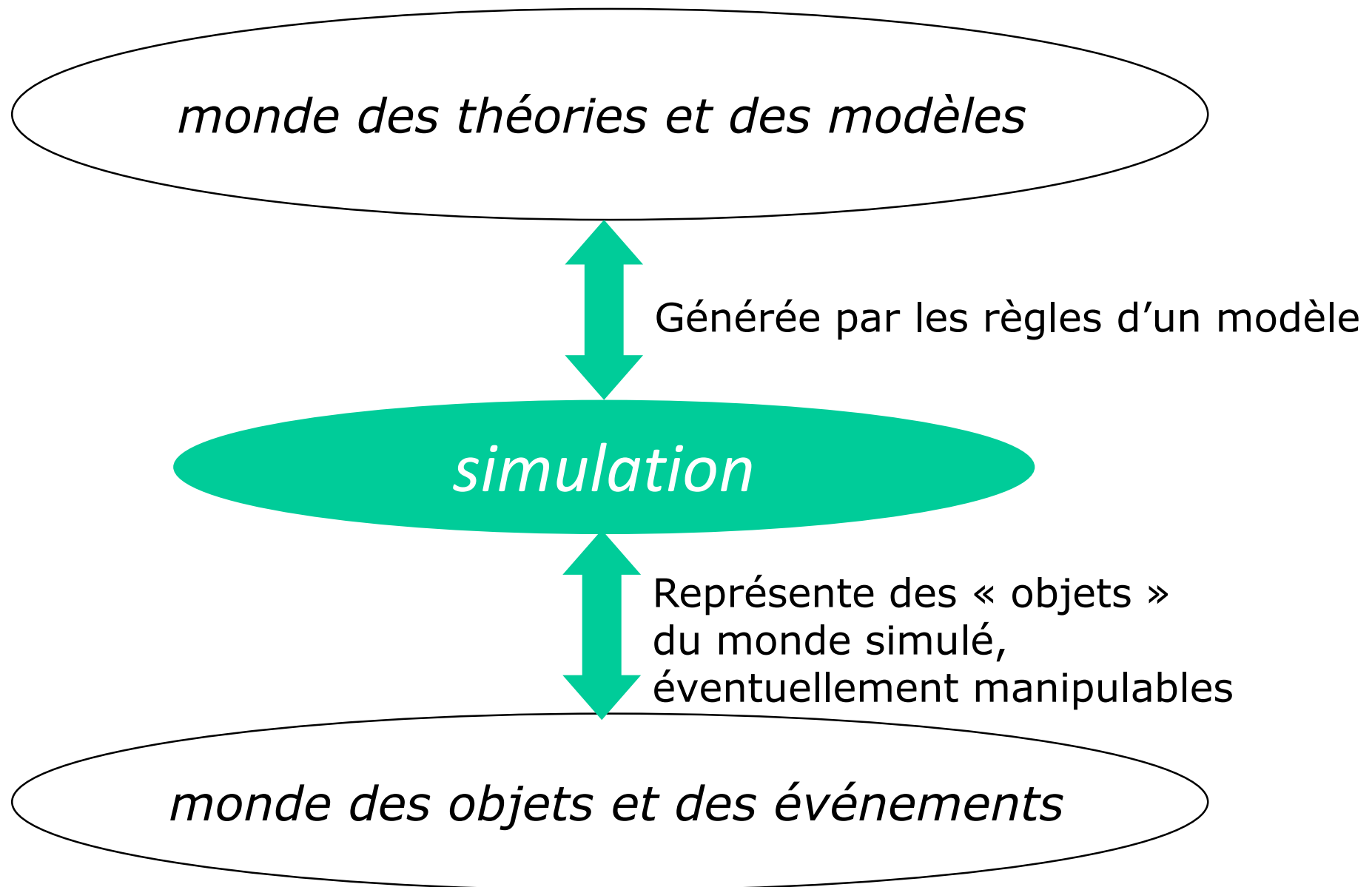


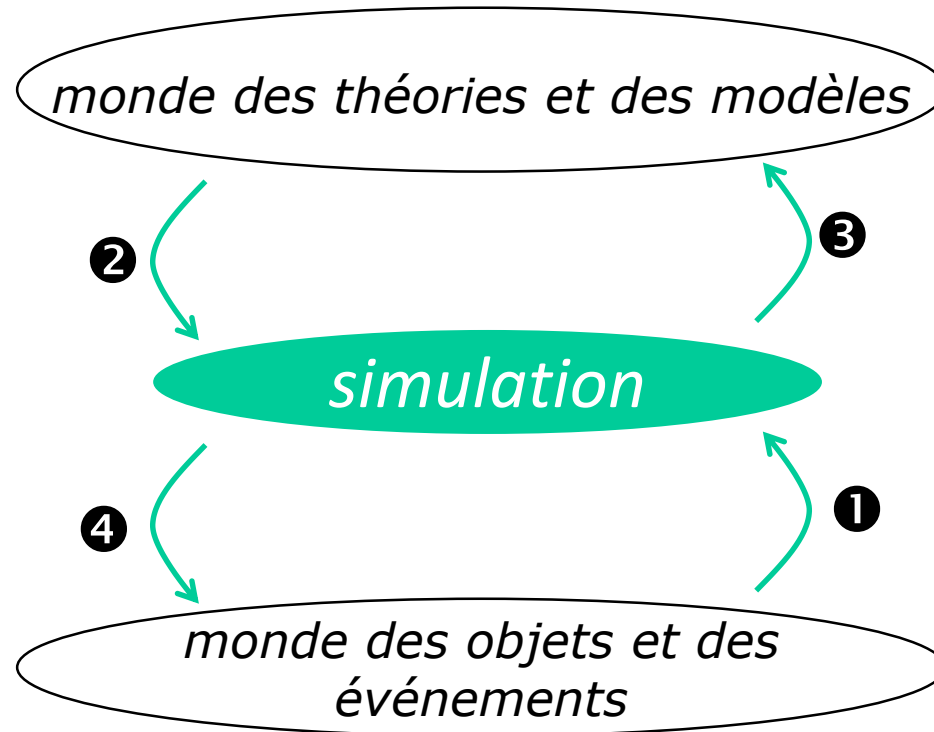


*monde des théories et des modèles*

*monde des objets et des événements*

# La simulation dans l'activité de modélisation





- 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)

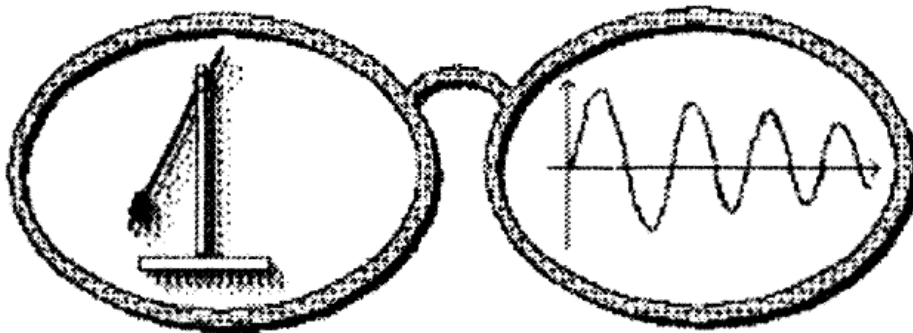
# Au sujet du vocabulaire : et la simulation donc ?



*Parmi les exemples que vous avez saisis, indiquer une représentation (R), une animation (A) et une simulation (S).*

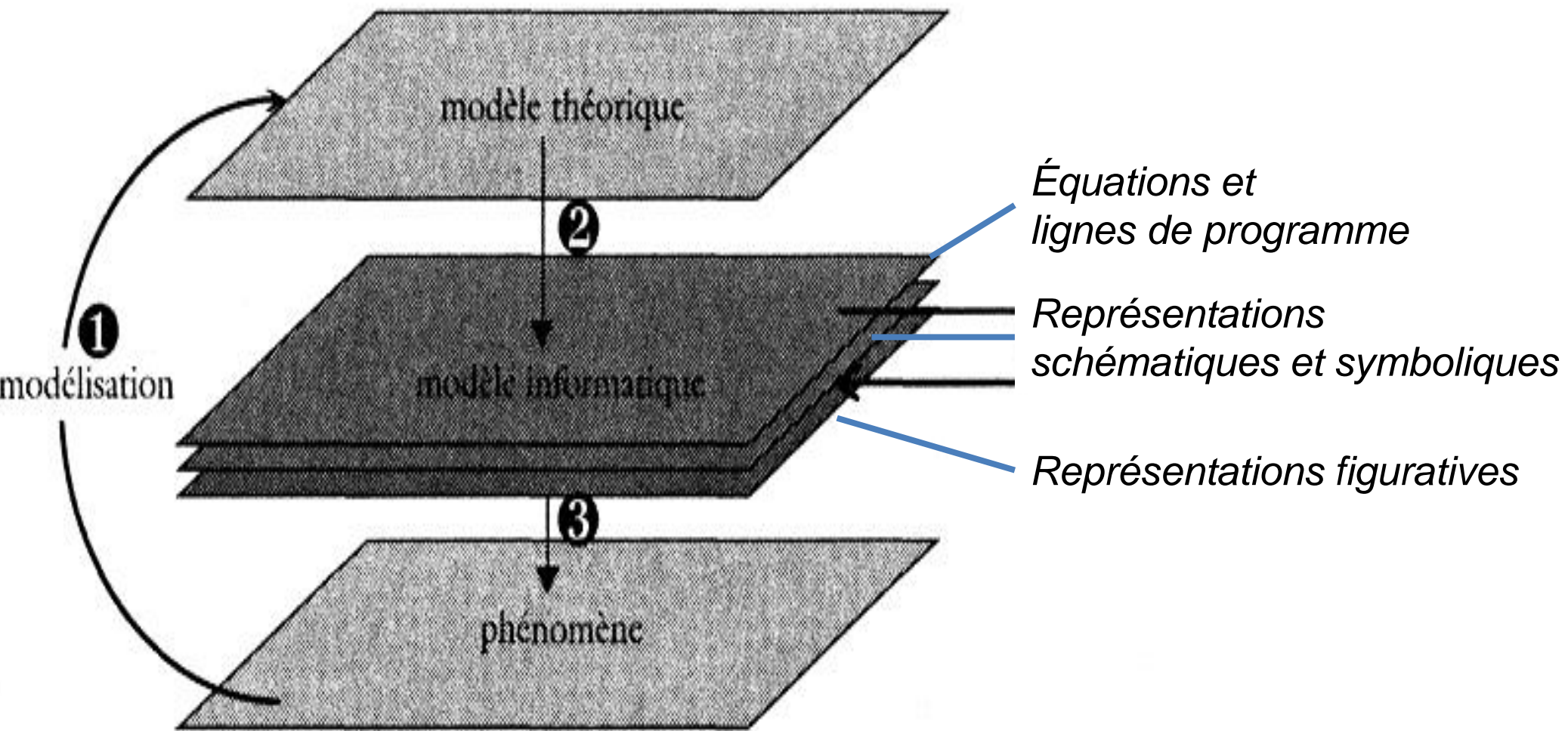
# Simuler c'est aussi manipuler des signes

- La manipulation d'un modèle passe par la manipulation de différentes représentations
  - Courbes, schéma, tableaux, curseurs, formules, temps...
- Ces représentations font aussi partie du réel de l'élève : elles permettent de donner du sens au modèle



*La lunette cognitive (P. Nonnon)*

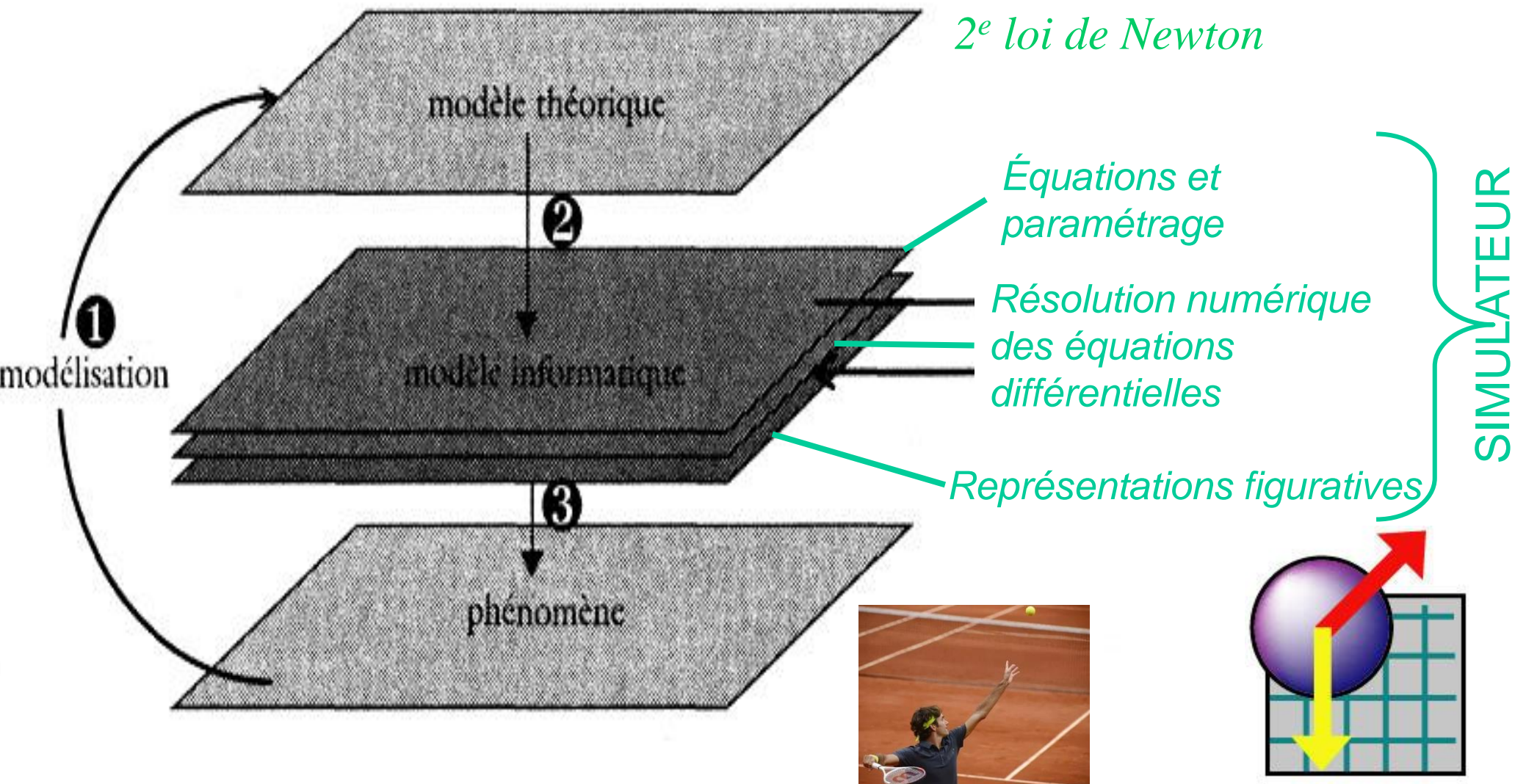
# Structure fine de la simulation



*Beaufils & Richoux (2003)*



# Structure fine de la simulation



# Et pour la chimie ?

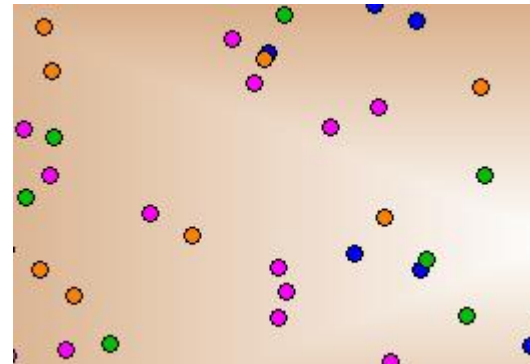
Monde théorique

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)*

# Sommaire de la formation

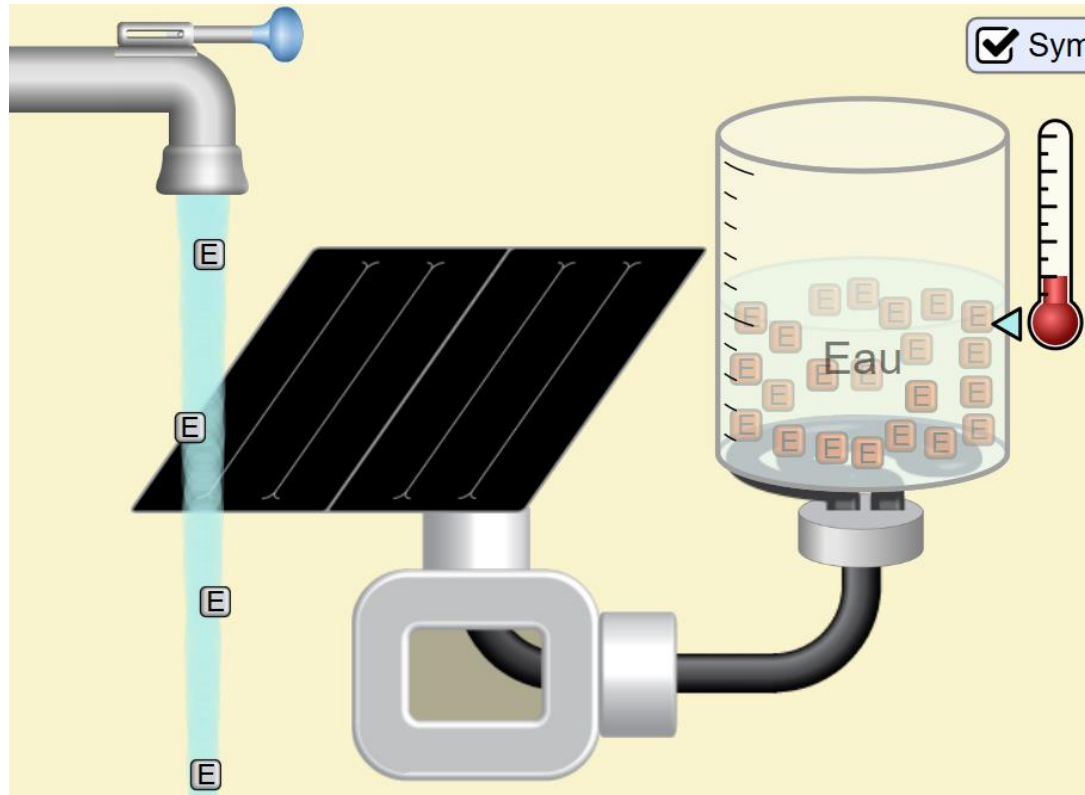
1. Qu'est-ce que simuler ? De quoi parlons-nous ?
2. Les risques de l'usage d'une simulation
3. Qu'est-ce qu'un « bon simulateur » ?
4. Simuler en classe : quand ? Comment ? Pour quels bénéfices ? Des exemples.

# Sommaire de la formation

1. Qu'est-ce que simuler ? De quoi parlons-nous ?
- 2. Les risques de l'usage d'une simulation**
3. Qu'est-ce qu'un « bon simulateur » ?
4. Simuler en classe : quand ? Comment ? Pour quels bénéfices ? Des exemples.

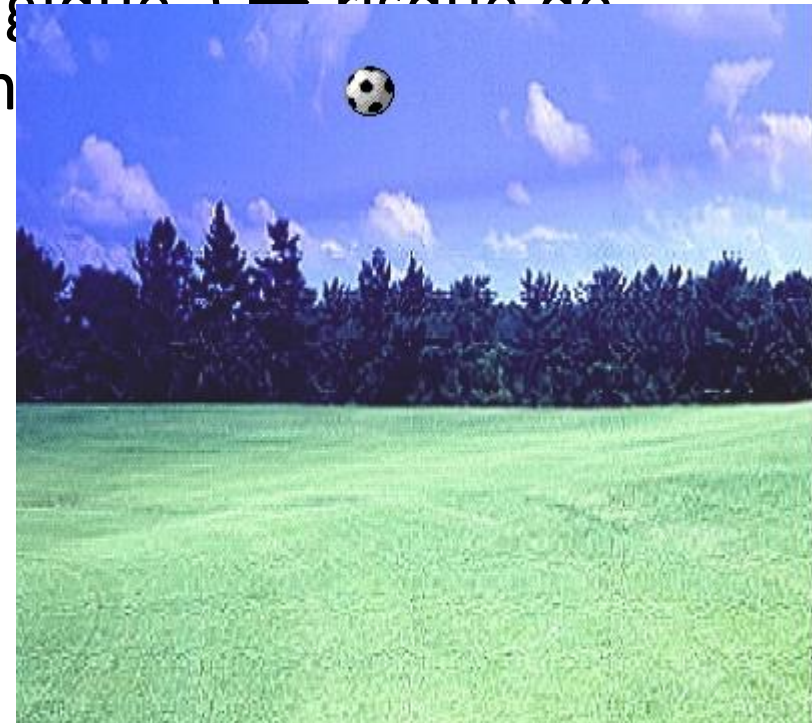
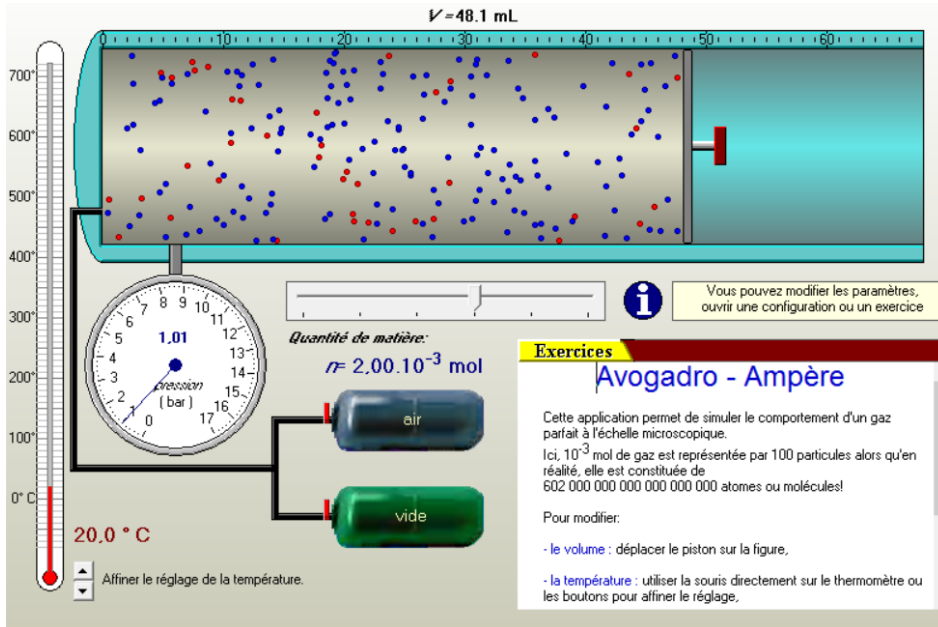
# Quelques risques de la simulation

- Vouloir « voir » le modèle peut renforcer la confusion entre modèle et réalité et générer des représentations fausses.



# Quelques risques de la simulation

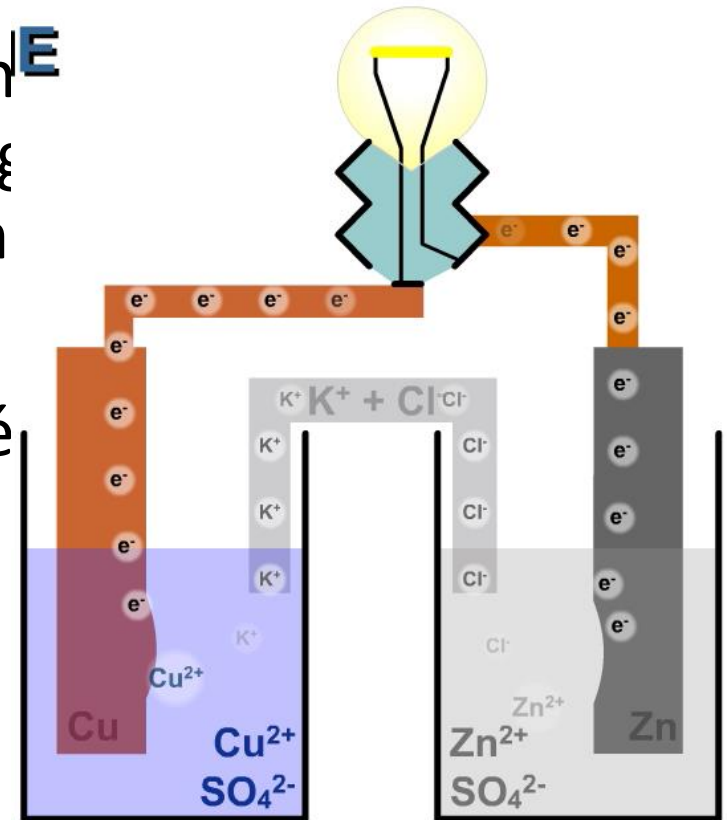
- ▶ Vouloir « voir » le modèle peut renforcer la confusion entre modèle et réalité et générer des représentations fausses.
- ▶ Les représentations choisies peuvent faire croire à « du vrai » (vidéo, image de synthèse...)
- ▶ L'implicite peut être fort : l'enseignant sait qu'on « agit sur le modèle » mais l'élève non (c'est "magique") → risque de confusion similaire





# Quelques risques de la simulation

- ▶ Vouloir « voir » le modèle peut renforcer la confusion entre modèle et réalité et générer des représentations fausses.
- ▶ Les représentations choisies peuvent faire croire à « du vrai » (vidéo, image de synthèse...)
- ▶ L'implicite peut être fort : l'enseignant <sup>E</sup> « montre le modèle » mais l'élève non (c'est "magique" qui brouille à nouveau la distinction simulation/réalité)
- ▶ Plusieurs échelles peuvent coexister.
- ▶ On fait, on clique, mais quelle trace é...



# Quelques risques de la simulation

Un risque important  
Induire une confusion  
représentants simulation

**1** **Activité expérimentale**

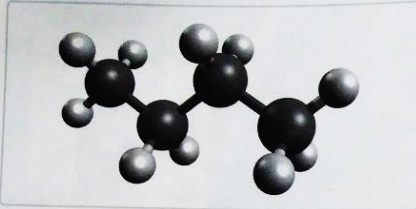
**Différentes conformations d'une molécule**

À l'échelle moléculaire, les molécules organiques sont-elles rigides ou peuvent-elles se déformer très facilement ? Cette activité nécessite d'avoir lu le paragraphe 1.2 du cours sur la représentation de Cram.

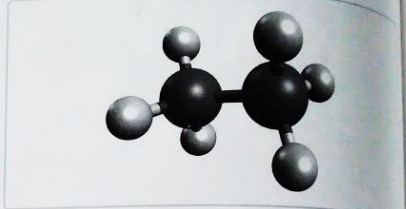
**COMPÉTENCES EXIGIBLES**

- Utiliser la représentation de Cram.
- Visualiser, à partir d'un modèle moléculaire ou d'un logiciel de simulation, les différentes conformations d'une molécule.

**Doc. 1** Modèle moléculaire du butane



**Doc. 2** Modèle moléculaire de l'éthane



rs

**COMPÉTENCES**

**RÉALISER**

**ANALYSER**

**Questions**

**1** a. À l'aide d'une boîte de modèles moléculaires, construire les modèles moléculaires des molécules d'éthane  $\text{CH}_3-\text{CH}_3$  et de butane  $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$ . Faire tourner chacun des groupes d'atomes autour de la liaison simple carbone-carbone représentée en rouge.  
b. Représenter sur une feuille, à l'aide de la convention de Cram, deux **conformations** différentes de la molécule d'éthane, puis deux conformations différentes de la molécule de butane.

**2** a. Le passage d'une conformation à l'autre nécessite-t-il la rupture d'une liaison ?  
b. Certaines conformations du butane sont peu probables, du fait de contraintes spatiales. Dessiner, à l'aide de la représentation de Cram, une conformation favorable, c'est-à-dire pour laquelle les atomes de carbone 1 et 4 sont le plus éloignés.  
c. La conformation du cyclohexane présentée par le logiciel porte le nom de **conformation chaise**. Justifier ce terme en choisissant convenablement l'angle de vue de la structure.

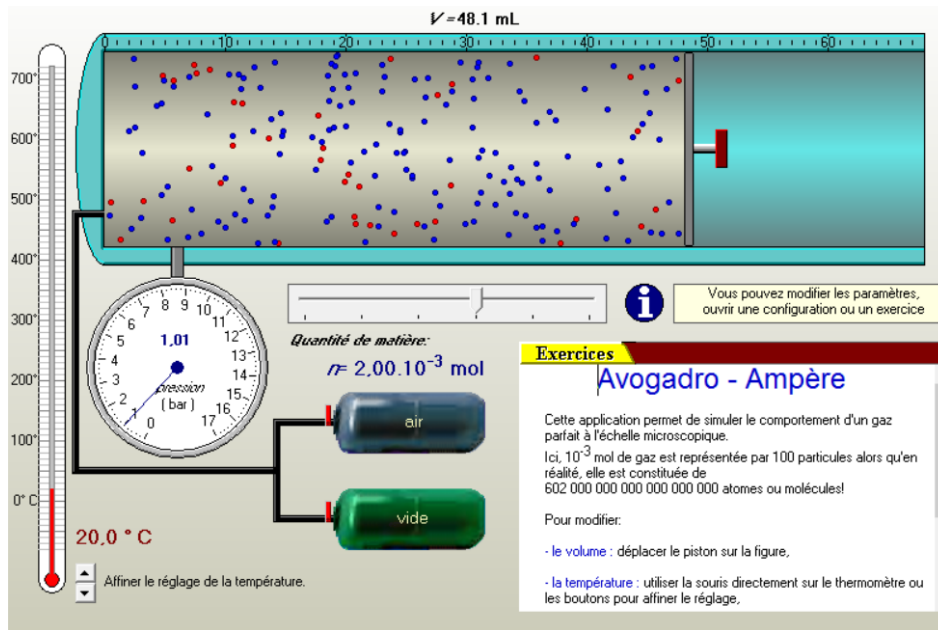


# Quelques risques de la simulation

**Le risque majeur... le problème du statut du simulateur**  
**Que fait-on faire avec le simulateur ?**

**Exemple :**

Établir la loi du gaz parfait  $pV=nRT$  avec un simulateur...  
*Quel est le statut du simulateur ?*



**Absurde !**

Ce simulateur EST une mise en scène de la loi du gaz parfait...

# Quelques risques de la simulation

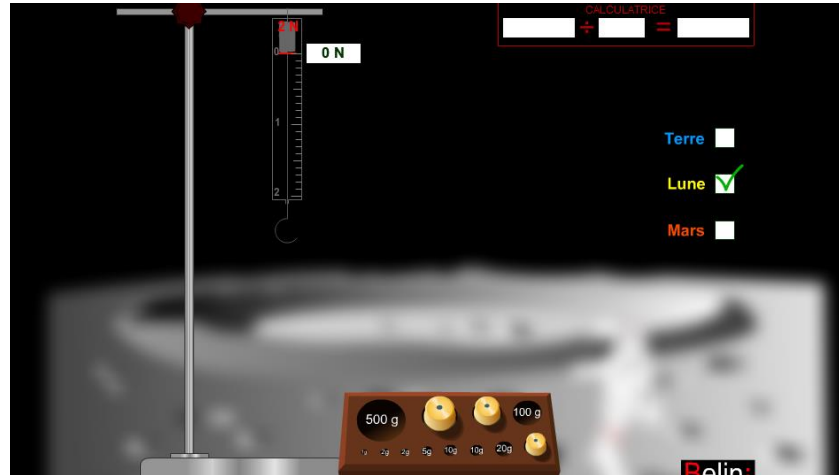
## Le risque majeur... le problème du statut du simulateur Que fait-on faire avec un simulateur ?



### Exemple :

Formuler une consigne à donner aux élèves qui :

- exploite de façon pertinente le simulateur
- permet un apprentissage réel dont la finalité n'est pas l'usage du simulateur !



# Sommaire de la formation

1. Qu'est-ce que simuler ? De quoi parlons-nous ?
2. Les risques de l'usage d'une simulation
3. Qu'est-ce qu'un « bon simulateur » ?
4. Simuler en classe : quand ? Comment ? Pour quels bénéfices ? Des exemples.

# Sommaire de la formation

1. Qu'est-ce que simuler ? De quoi parlons-nous ?
2. Les risques de l'usage d'une simulation
- 3. Qu'est-ce qu'un « bon simulateur » ?**
4. Simuler en classe : quand ? Comment ? Pour quels bénéfices ? Des exemples.

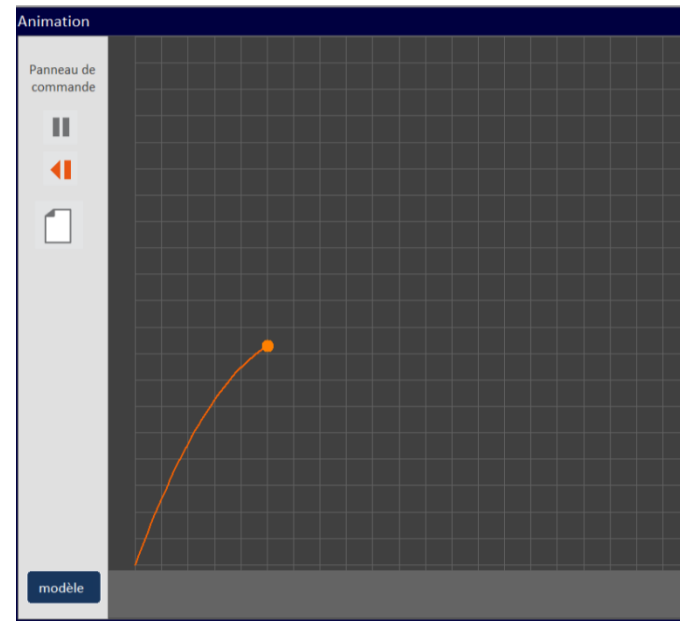
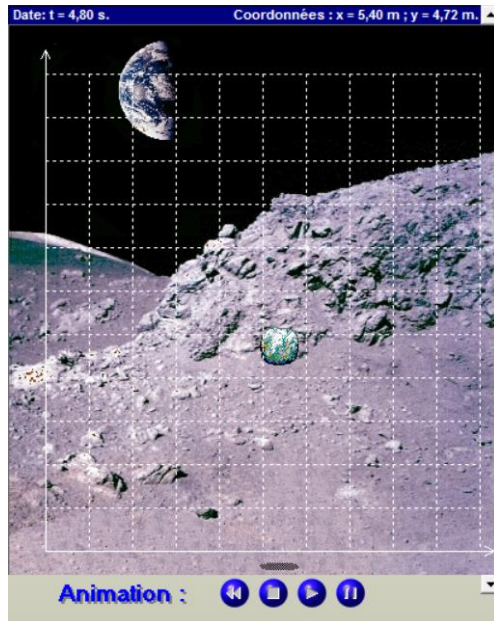
# À quoi reconnaît-on un « bon simulateur »?

## 1<sup>er</sup> critère :

Le « bon simulateur » ressemble le moins possible à une vidéo

- L'élève doit savoir que ce qu'il voit ou manipule **n'est pas** le champ expérimental.

## Exemple en mécanique avec la chute libre :



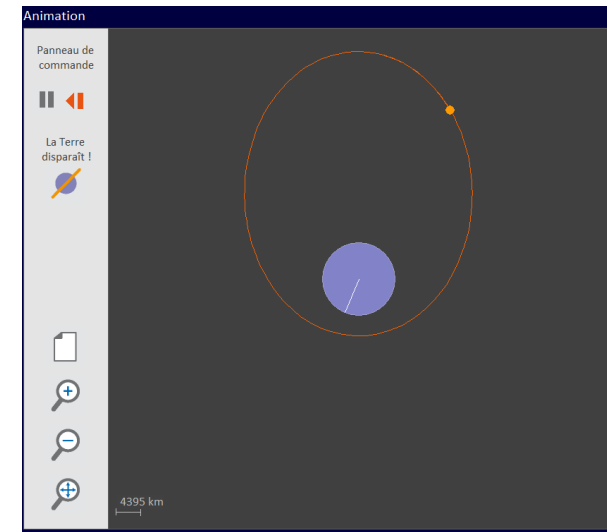
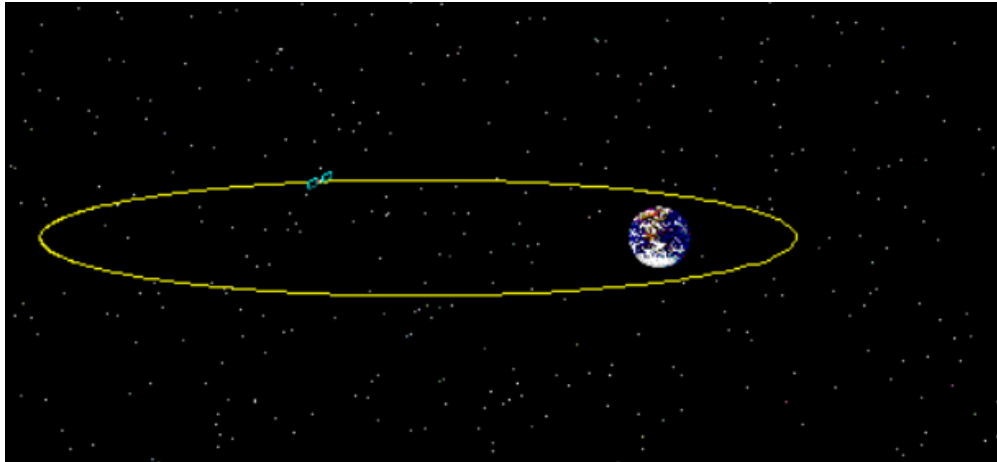
# À quoi reconnaît-on un « bon simulateur »?

## 1<sup>er</sup> critère :

Le « bon simulateur » ressemble le moins possible à une vidéo

- L'élève doit savoir que ce qu'il voit ou manipule **n'est pas** le du champ expérimental.

## Autre exemple en mécanique : les satellites



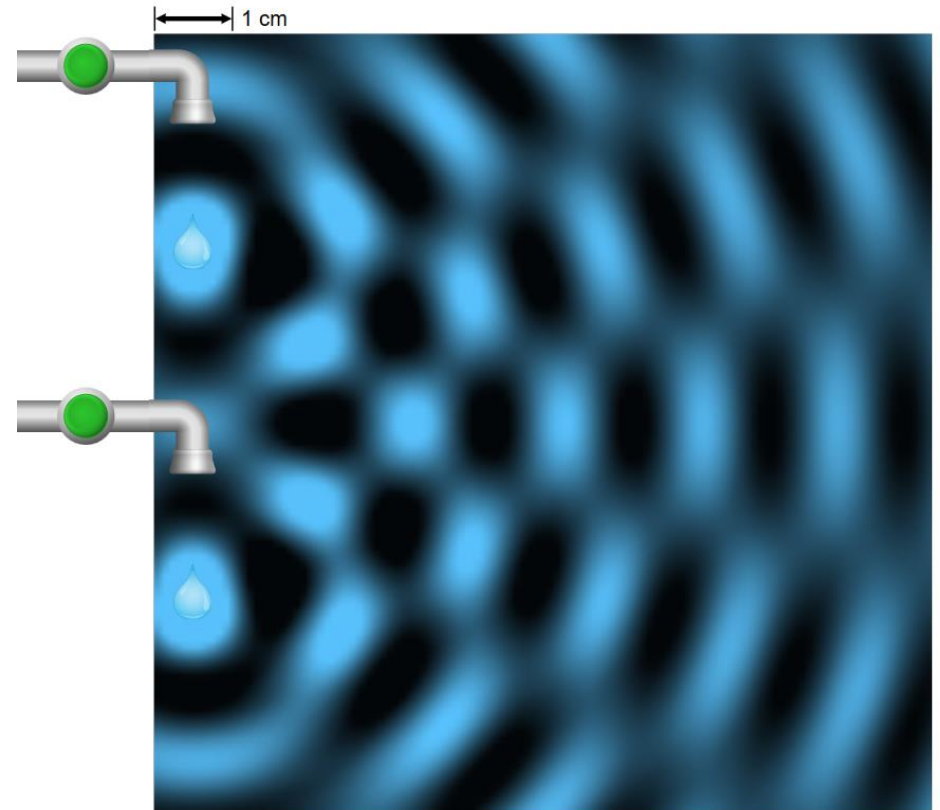
# À quoi reconnaît-on un « bon simulateur »?

## 1<sup>er</sup> critère :

Le « bon simulateur » ressemble le moins possible à une vidéo

- L'élève doit savoir que ce qu'il voit ou manipule **n'est pas** le champ expérimental.

## Exemple sur les interférences :

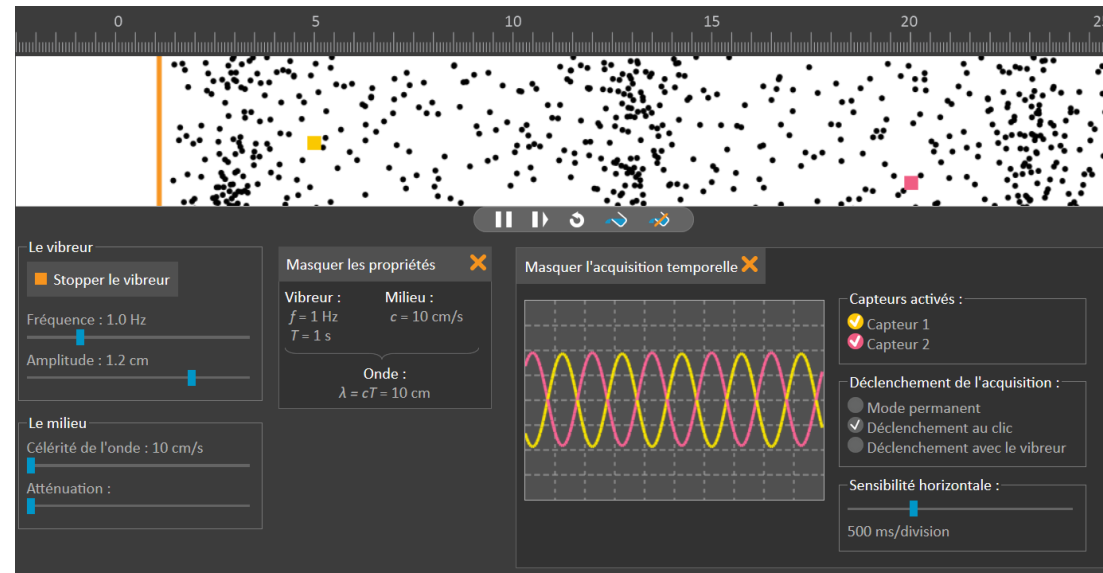
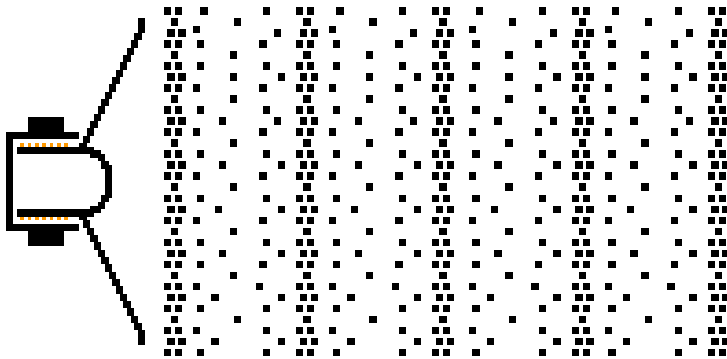


# À quoi reconnaît-on un « bon simulateur »?

## 2<sup>nd</sup> critère :

Le « bon simulateur » rend compte aux utilisateurs du modèle avec lequel il a été programmé.

De ce point de vue, *simulaSON* n'est pas bon...





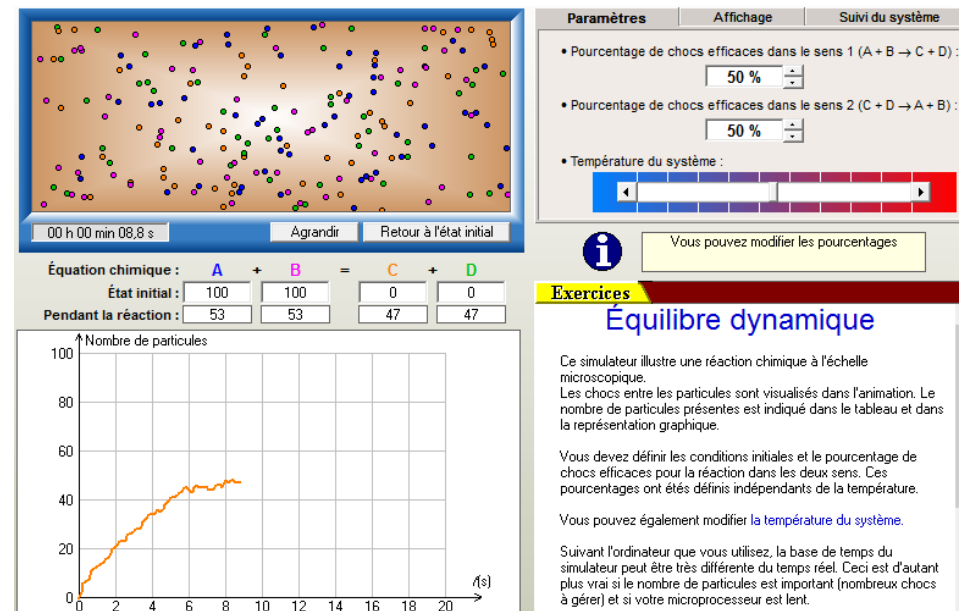
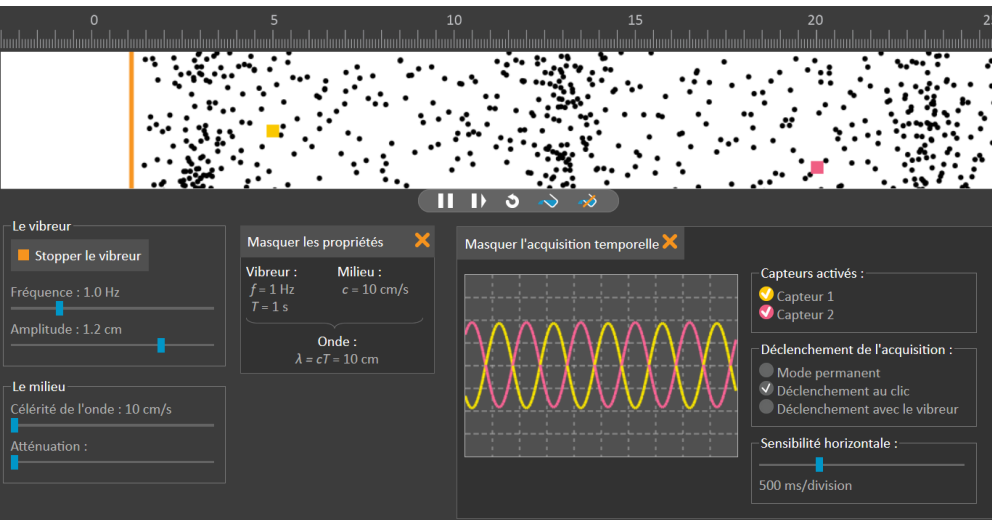
# À quoi reconnaît-on un « bon simulateur »?

## 3<sup>e</sup> critère :

Le « bon simulateur » permet de faire des liens entre différentes représentations d'un même phénomène

→ ces liens donnent du sens

→ pour pouvoir faire ces liens, il faut séparer clairement les différentes représentations.



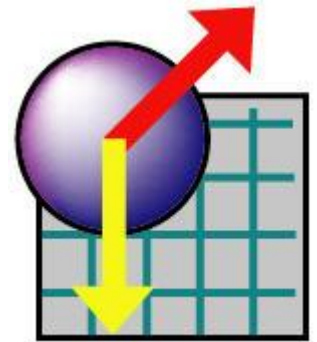
# À quoi reconnaît-on un « bon simulateur »?

## Finalement...

Un « bon simulateur » ne ressemble pas à ce qui est vu...  
parce que le lien avec le modèle est assumé !

il a même de fortes chances de paraître austère...

→ un bon candidat : Interactive Physics !



# Sommaire de la formation

1. Qu'est-ce que simuler ? De quoi parlons-nous ?
2. Les risques de l'usage d'une simulation
3. Qu'est-ce qu'un « bon simulateur » ?
4. Simuler en classe : quand ? Comment ? Pour quels bénéfices ? Des exemples.

# Sommaire de la formation

1. Qu'est-ce que simuler ? De quoi parlons-nous ?
2. Les risques de l'usage d'une simulation
3. Qu'est-ce qu'un « bon simulateur » ?
- 4. Simuler en classe : quand ? Comment ? Pour quels bénéfices ? Des exemples.**

1. Qu'est-ce que simuler ? De quoi parlons-nous ?
2. Les risques de l'usage d'une simulation
3. Qu'est-ce qu'un « bon simulateur » ?
- 4. Simuler en classe : quand ? Comment ? Pour quels bénéfices ? Des exemples.**
  - a. Jouer et se familiariser avec des modèles  
Jouer avec une grandeur, donner du sens, s'entraîner à utiliser une représentation
  - b. Faire ce qu'on ne peut pas faire sans
  - c. Le simulateur comme « manip »...
  - d. Tester l'usage d'un modèle ou aboutir à un nouveau modèle...
  - e. Simuler ET expérimenter

# Simuler en classe : quand ? Comment ? Pour quoi ?



## À vous de jouer

- ▶ Choisir un type d'usage
- ▶ Donner un exemple : quand ? Comment ? Pour quoi ?
  - a. Jouer et se familiariser avec des modèles  
Jouer avec une grandeur, donner du sens, s'entraîner à utiliser une représentation
  - b. Faire ce qu'on ne peut pas faire sans
  - c. Le simulateur comme « manip »...
  - d. Tester l'usage d'un modèle ou aboutir à un nouveau modèle...
  - e. Simuler ET expérimenter

# Simuler en classe : quand ? Comment ? Pour quoi ?

## a. Jouer et se familiariser avec des modèles

### L'usage le plus courant : « faire vivre » un modèle

- ▶ pour **voir les conséquences** de la modification de la valeur d'une grandeur

Exemples :

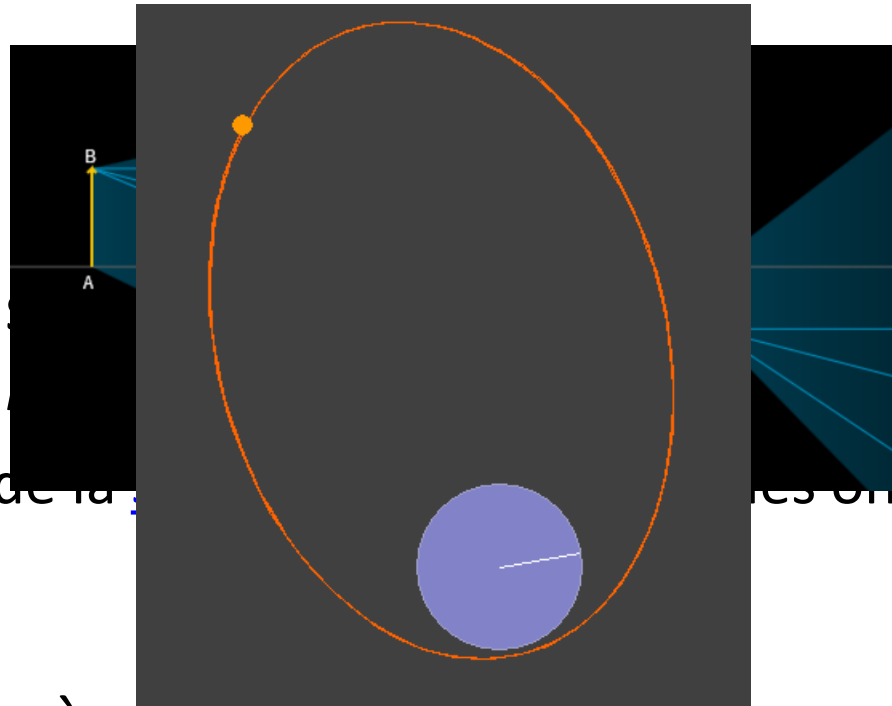
- SimulOPTIQUE
- Satellisation

- ▶ pour donner du sens

Exemple : la période et



Présentation de la



RDE

es ondes en TS

- ▶ pour donner du sens à un concept

Exemples : le rayon de lumière avec Optikos de Serge Lagier

*l'avancement d'une réaction chimique avec ReaChim de Serge Lagier*

# Simuler en classe : quand ? Comment ? Pour quoi ?

## a. Jouer et se familiariser avec des modèles

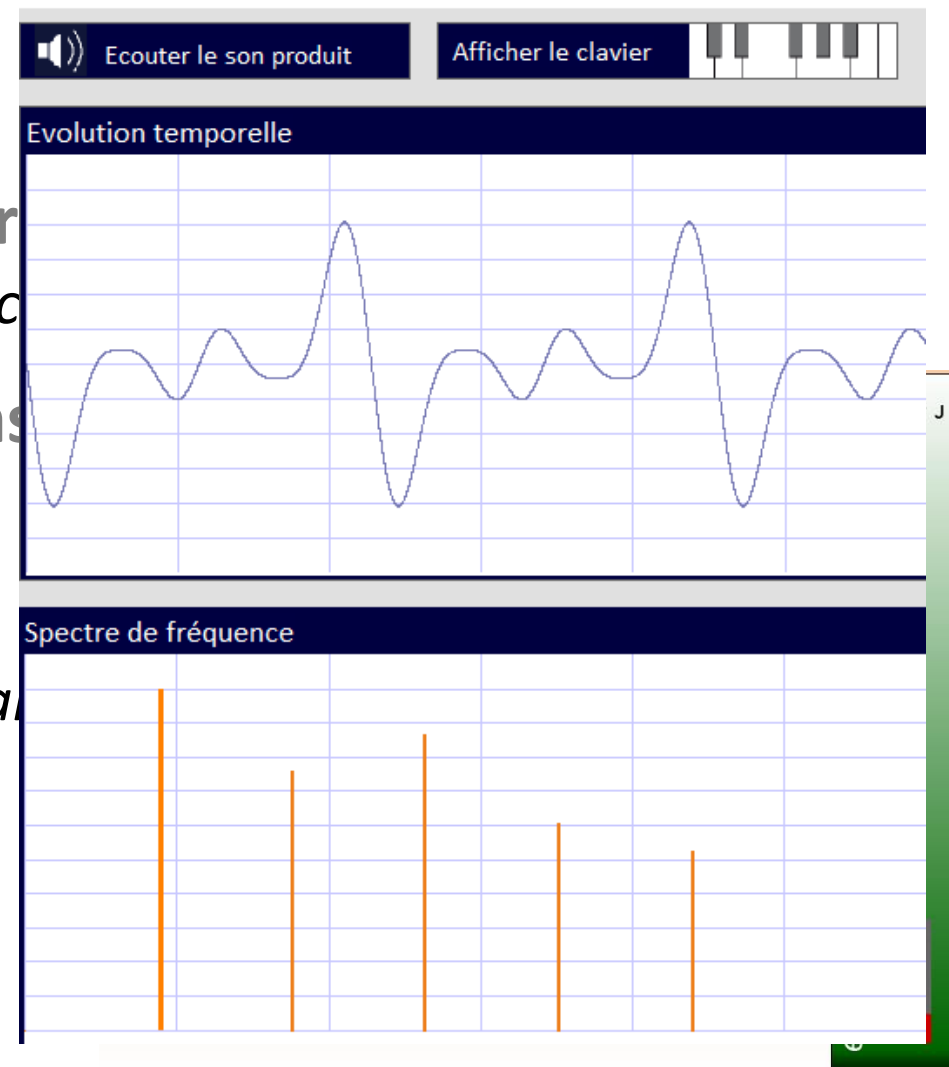
- pour se familiariser avec **un forme**

*Exemple : chaînes énergétiques avec*

- pour faire appel à **d'autres sens**  
différentes perceptions...

*Exemple :*

*synthèse d'un son complexe avec Ha*





# Simuler en classe : quand ? Comment ? Pour quoi ?

b. Faire ce qu'on ne peut pas faire sans...

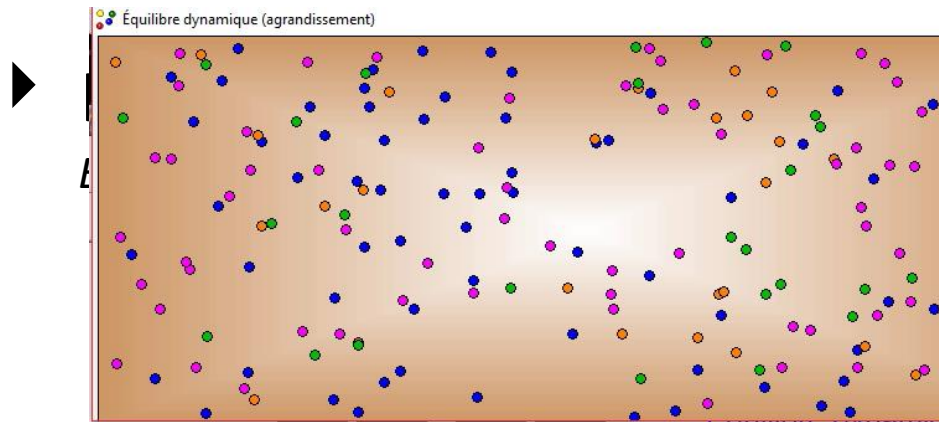
## L'usage le plus courant : « faire vivre » un modèle

- ▶ pour voir des représentation conceptuelles  
... et leur donner du sens

Exemple : le simulateur simulOPTIQUE

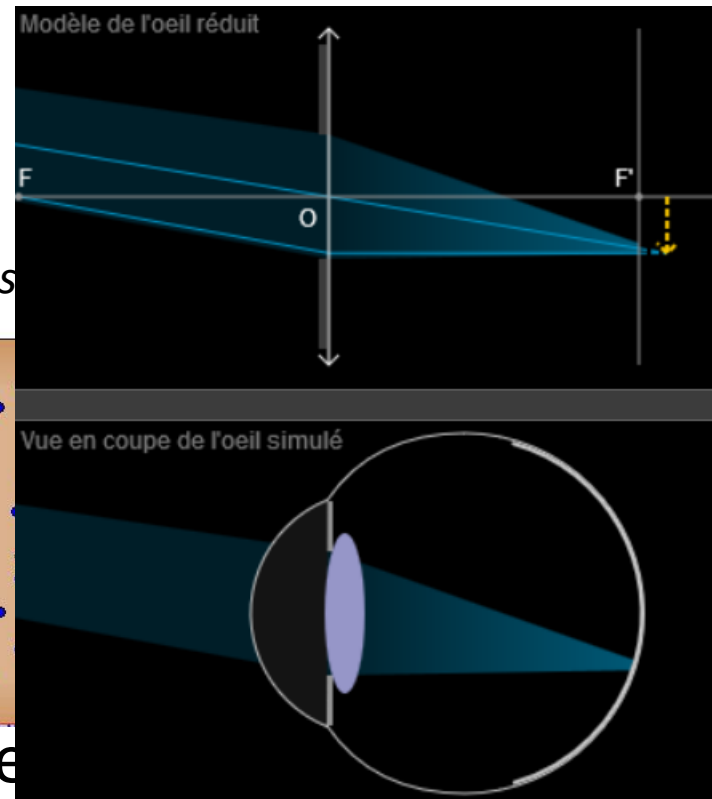
- ▶ pour voir l'invisible

Exemple : les représentation microscopiques



- ▶ pour réaliser l'irréalisable : e

Exemple : faire disparaître la Terre avec Satellites



La Terre  
disparaît !



## A cartoon illustration of a man with a large nose, wearing a red shirt and blue pants, holding a giant yellow pencil over his shoulder. The pencil is as tall as he is. The drawing is simple and colorful, with a yellow background.

## Une activité possible avec des élèves de seconde

*De motu corporum in gyrum.*

Vim centripetam appello qua corpus impellitur vel attrahitur  
ad punctum quod ut centrum spectatur.


Et vim corporis seu corpori insitam qua id conatur perse-  
movere suo secundum lineam rectam.

~~Resistantiam que est mediæ impedientiæ nec alijs causis externis~~  
~~Resistentiam autem alijque celestibus et medijs densitatibus conjunctionibus in proximi, novem~~  
~~causis impeditur et centripeta exiguè resistit.~~

2. Corpus omne sola vi insita uniformiter secundum  
eam in infinitum progredi nisi aliquid extrinsecus impediat.  
~~Resistentia in proximi novem proportionibus nullam partem in æqualibus ipse et corpori celestibus~~  
rema 1. Gyraha omnia radij ad centrum ducti areas  
proportionales describere.

tunc tempus in partes æquales, et  
in parte describat corpus vi insita  
Idem secunda temporis parte si  
1<sup>a</sup> recta pergerit ad Cc describens  
æqualem ipsi AB adeo ut radij  
D centrum actis confecta forent  
æ ASB, BSc. Verum ubi corpus  
agat vis centripeta impulsu unico  
faciatq; corpus Ca recta Bc deflectere et pergere in

2 Hyp. 1.



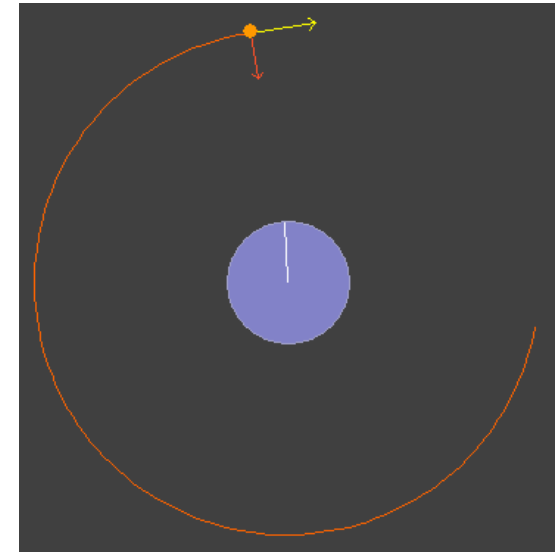
2 Hyp. 1.

# Simuler en classe : quand ? Comment ? Pour quoi ?

b. Faire ce qu'on ne peut pas faire sans...

- ▶ pour faire **figurer des éléments théoriques** dans la représentation modélisée d'une situation

*Exemple : représenter les vecteurs  $\vec{v}$  et  $\vec{a}$  lors du lancer d'un projectile ou lors du mouvement d'un satellite*



**Un usage risqué mais parfois utile** : simuler au lieu d'expérimenter  
*des usages plutôt pour le prof...*

- ▶ pour produire de faux mais utiles « **résultats expérimentaux** »

*Exemples :*

*« réaliser des spectres » avec Specamp*

*« réaliser des titrages » avec dosA*

*« obtenir de belles courbes » (oscillations, paraboles, chronophotos...)*

- ▶ pour pallier l'impossibilité de faire une expérience au lycée ou au collège

*Exemple : « réaliser » un spectre RMN*

**ATTENTION** : pour les élèves, l'animation ne doit pas avoir le statut d'expérience mais de reproduction simulée d'une expérience !

# Simuler en classe : quand ? Comment ? Pour quoi ?

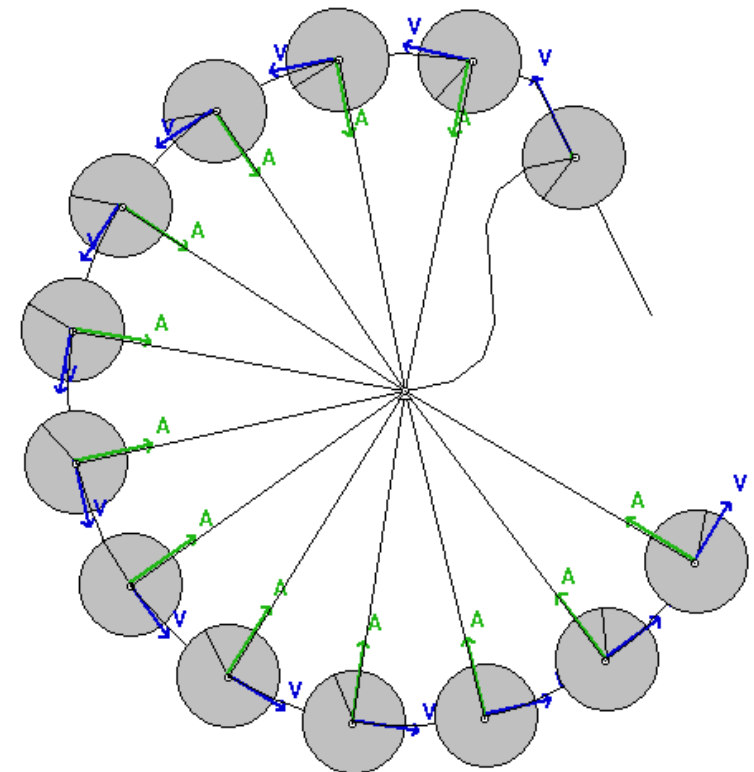
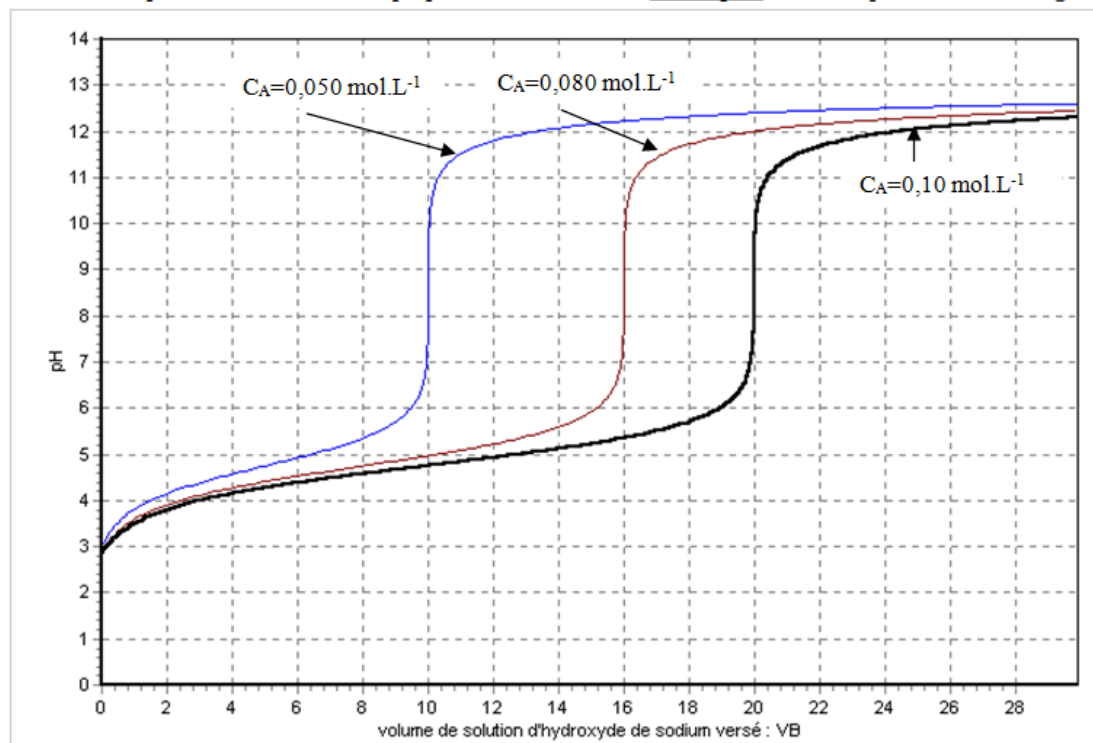
## c. Le simulateur comme « manip »

Produire de fausses (car théorisées) mais utiles

« observations expérimentales »

Il faut assumer que ce ne sont pas des observations, mais celles qu'on pourrait faire si... Elles sont utiles comme supports pour le prof.

TS3 - Chapitre 2 – Activité 4 : superposition des courbes théoriques obtenues par les différents groupes.



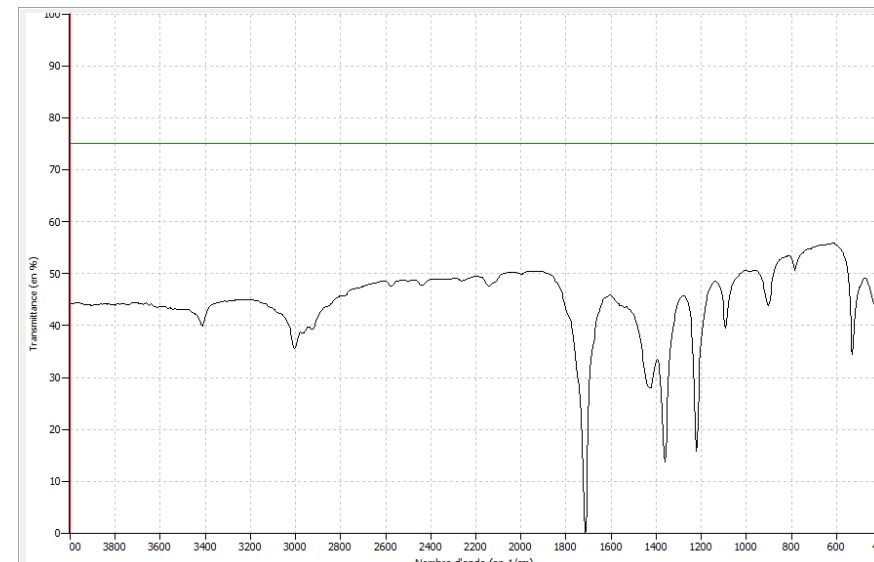
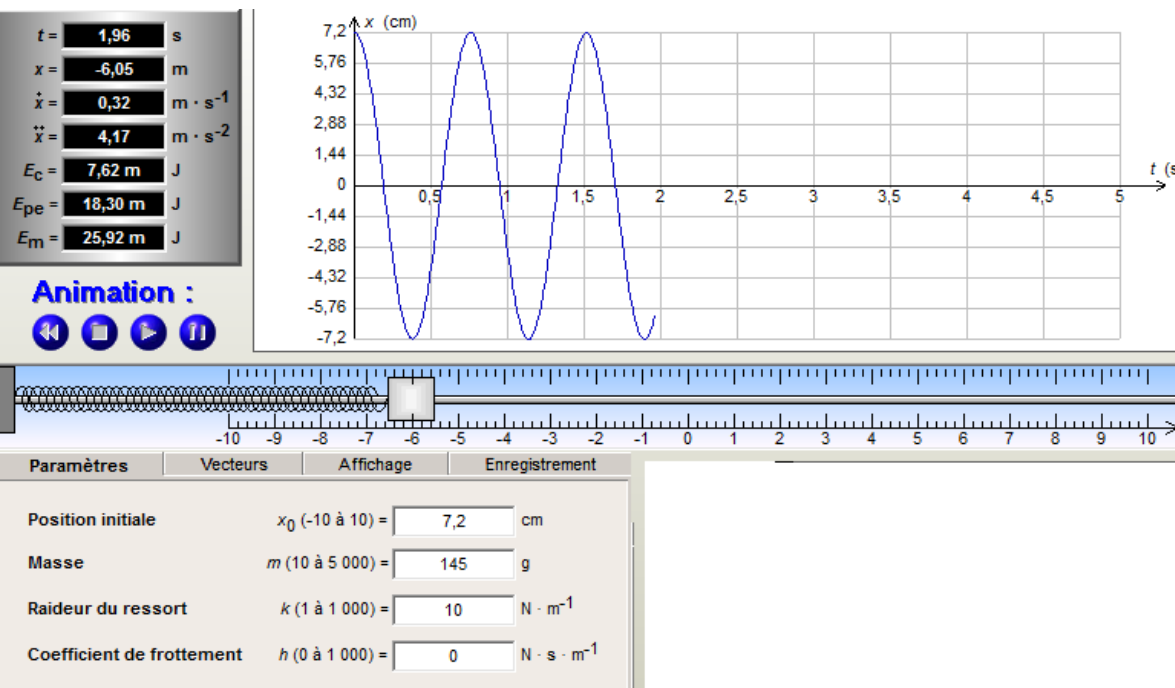
# Simuler en classe : quand ? Comment ? Pour quoi ?

## c. Le simulateur comme « manip »

Produire de fausses (car théorisées) mais utiles

« observations expérimentales »

Il faut assumer que ce ne sont pas des observations, mais celles qu'on pourrait faire si... Elles sont utiles comme supports pour le prof.

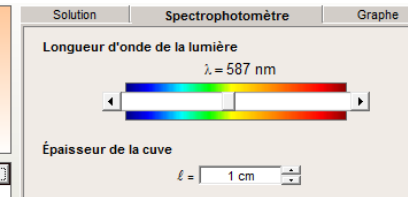
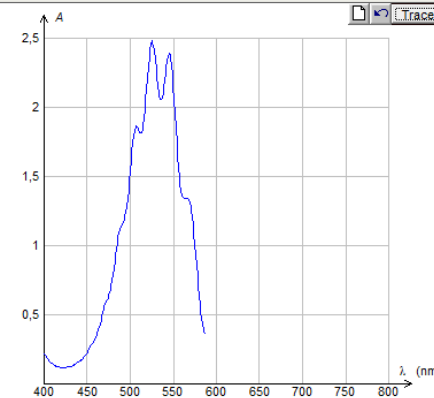
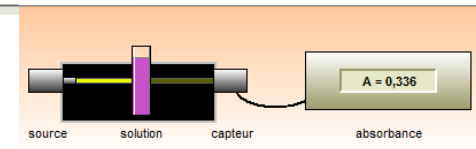
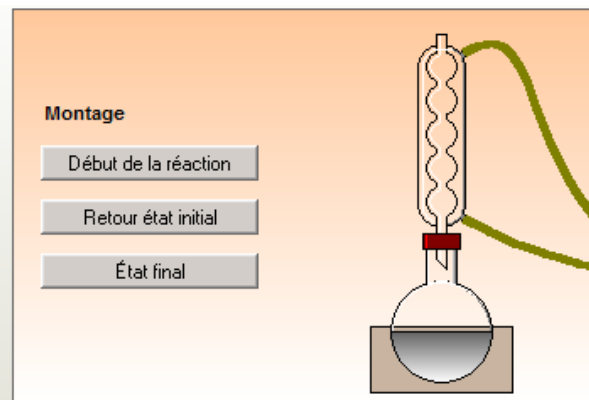
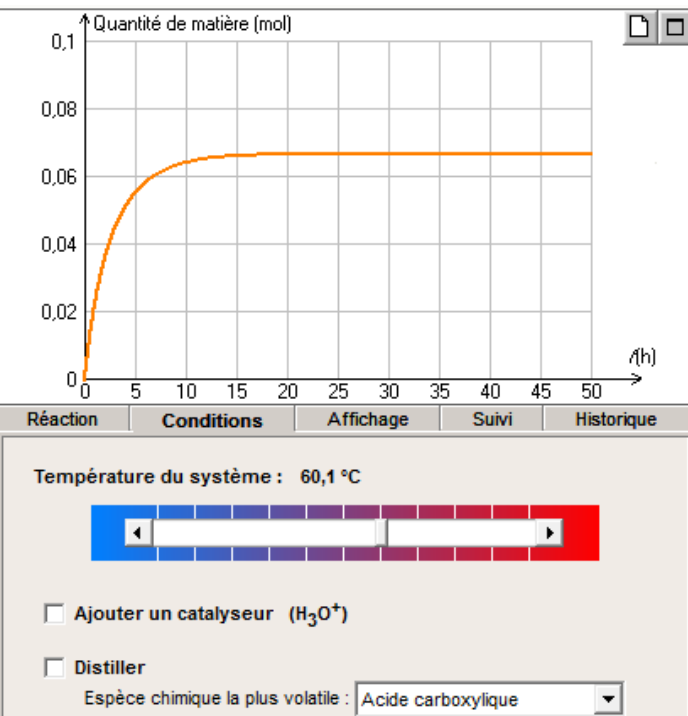


# Simuler en classe : quand ? Comment ? Pour quoi ?

## c. Le simulateur comme « manip »

Produire de fausses (car théorisées) mais utiles  
« observations expérimentales »

Si on pouvait...



# Simuler en classe : quand ? Comment ? Pour quoi ?

## c. Le simulateur comme « manip »

**Un usage risqué mais parfois utile** : simuler au lieu d'expérimenter  
*des usages plutôt pour les élèves...*

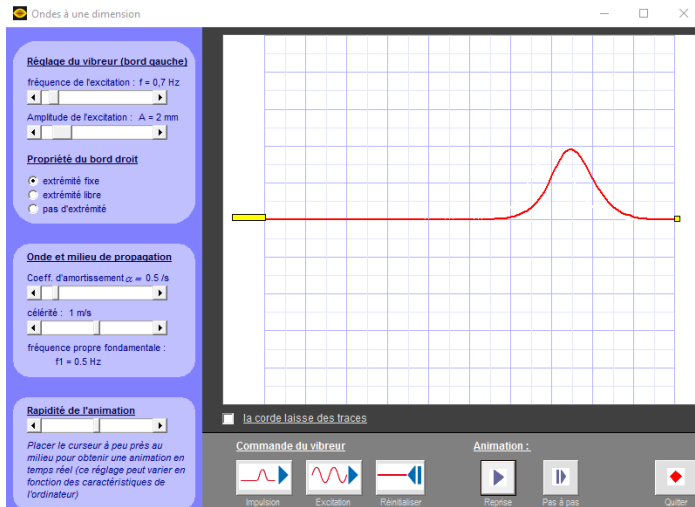
- ▶ pour vérifier une prévision intuitive  
*Exemple : choisir l'angle de tir pour le lancer d'un projectile*
- ▶ pour « voir » ce qui se passerait si...  
*Exemple : très nombreux, dont expérience de pensée...*

**ATTENTION** : pour les élèves, l'animation ne doit pas avoir le statut d'expérience mais de reproduction simulée d'une expérience !

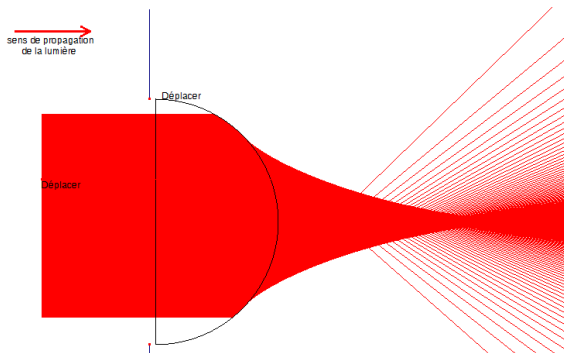


# Simuler en classe : quand ? Comment ? Pour quoi ?

## d. Tester l'usage d'un modèle ou aboutir à un nouveau modèle...



*Simuler la réflexion d'une onde progressive pour justifier le modèle de l'onde stationnaire*



*Simuler la réfraction dans une lentille pour justifier le modèle des lentilles minces*

# Simuler en classe : quand ? Comment ? Pour quoi ?

## e. Simuler ET expérimenter

### Un usage approfondi : pour finir en beauté

- ▶ pour comparer les résultats d'un modèle à des résultats expérimentaux

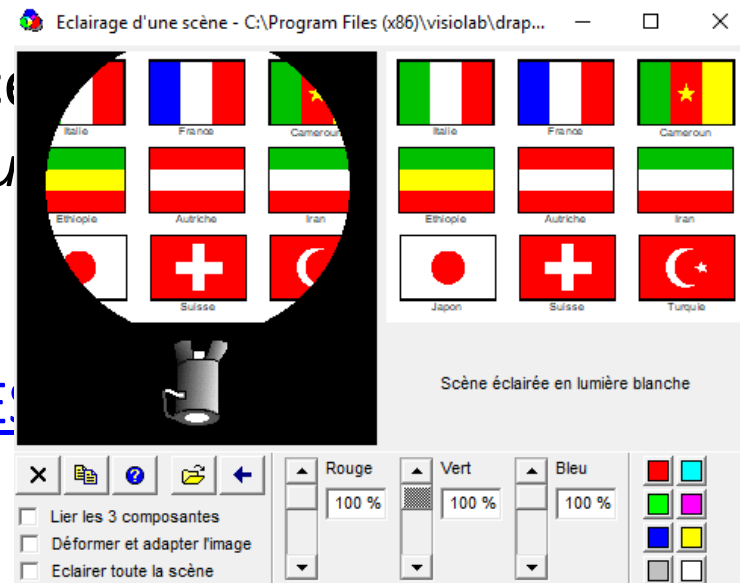
*Exemple : synthèse des couleurs,*

*comparaison mouvement pointé/mouvement simulé...*

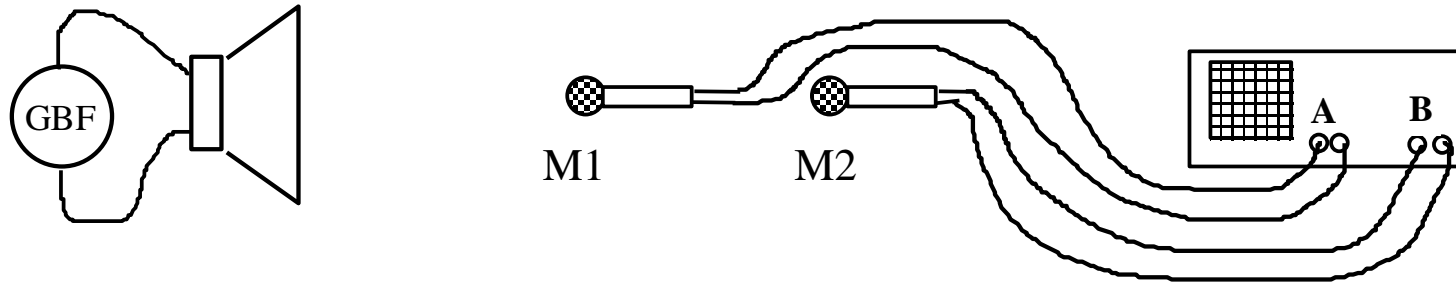
- ▶ pour mieux interpréter une expérience

*Exemple : comprendre l'expérience « des deux »  
simulaSON*

Présentation de l'activité [SESAME](#)



### Présentation de l'activité [SESAMES](#)



Après lecture et test de la partie « simulation » de l'activité Sesames...

#### **Petit débat :**

- est-ce que cela vaut le coup de réserver un temps de simulation au détriment de l'expérimentation ?
- qu'apporte la simulation ?

### Présentation de l'activité [SESAMES](#)

