Quentin Rodriguez – PHIER, université Clermont-Auvergne

« Universalité » et phénomènes émergents

Sur de nouvelles pratiques théoriques en physique statistique

Plan de l'intervention

- I/ Robert Batterman et ses critiques : *universalité* et *raisonnements asymptotiques* en question
- II/ Les phénomènes critiques : un exemple de phénomènes émergents ?
- III/ Tentative de clarification à partir de l'étude de trois « types idéaux » d'explication asymptotique

I/ Robert Batterman et ses critiques

Universalité et *raisonnements asymptotiques* en question

Les raisonnements asymptotiques

- Un type de raisonnements non déductifs, consistant à *éliminer certains traits considérés comme non pertinents pour l'explication*.

$$\lim_{x \to \infty} F = F'$$

Des propriétés d'« universalité »

- Les explications *asymptotiques* justifient alors une propriété d'*universalité* :

  1. The details of the system (those details that would feature in a complete causal-mechanical explanation of the system's behavior) are largely irrelevant for describing the behavior of interest.

  2. Many different systems with completely different "micro" details will exhibit the identical behavior.

Repenser la réduction pour repenser l'émergence

- Importance des raisonnements asymptotiques pour…
- 1. dégager la réduction d'une approche déductiviste (cas des raisonnements asymptotiques réductifs)
- 2. dégager l'explication de la réduction, et faire place à des explications *non réductives* (cas des raisonnements asymptotiques *singuliers*)

$$\lim_{x \to \infty} F \neq F(x = \infty)$$

Les critiques réductionnistes de Batterman

- Des limites asymptotiques éliminables au profit d'approximations (Palacios 2017, Ardourel 2018…) : *désidéaliser* les raisonnements asymptotiques permet de les rendre approximativement déductifs.

- Flou dans la définition de ces raisonnements asymptotiques et ce qu'ils relient.

Mon parti

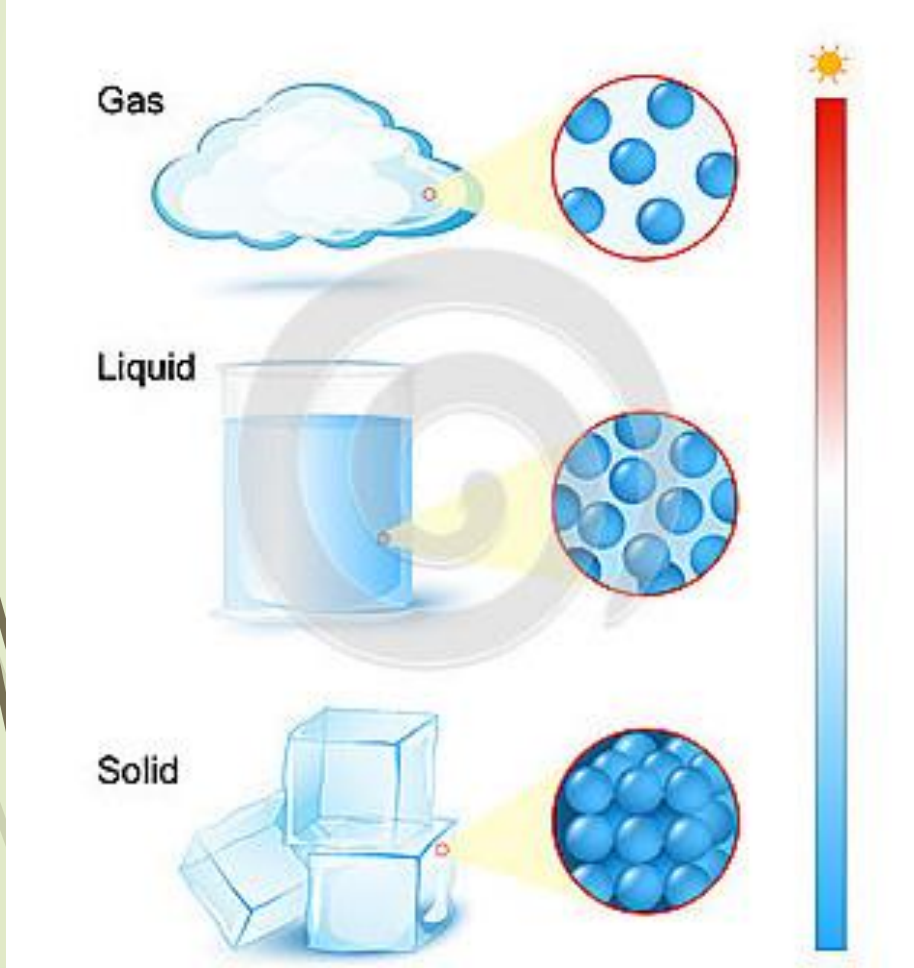
- Défendre l'intuition de Batterman, tout en donnant le point à ses critiques.
- Spécificité de certaines explications qui confèrent une forme d'autonomie aux phénomènes « émergents », à distinguer des idéalisations au sens large.

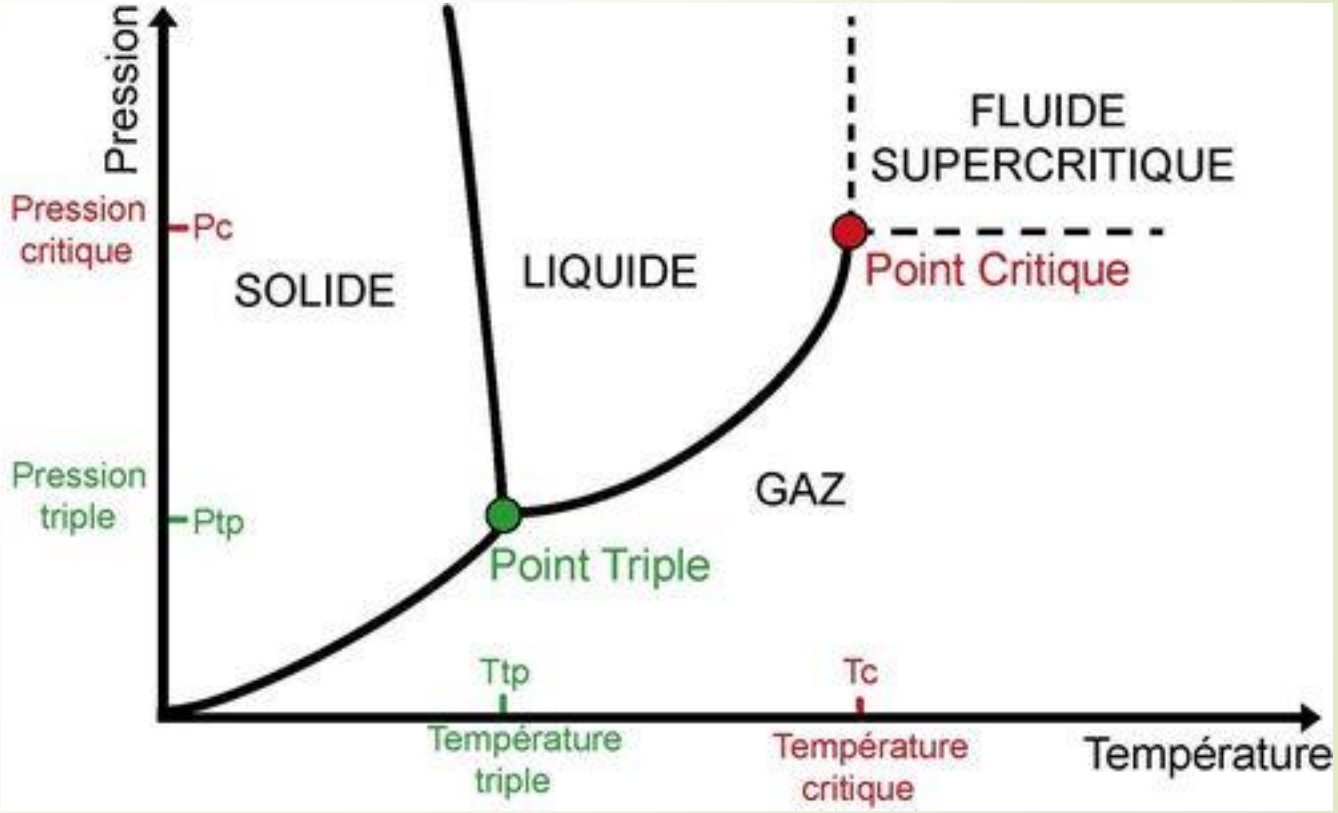
- À une forme particulière d'universalité doit correspondre un usage particulier des raisonnements asymptotiques, à replacer dans l'économie générale de l'explication (procédé de modélisation).

II/ Les phénomènes critiques

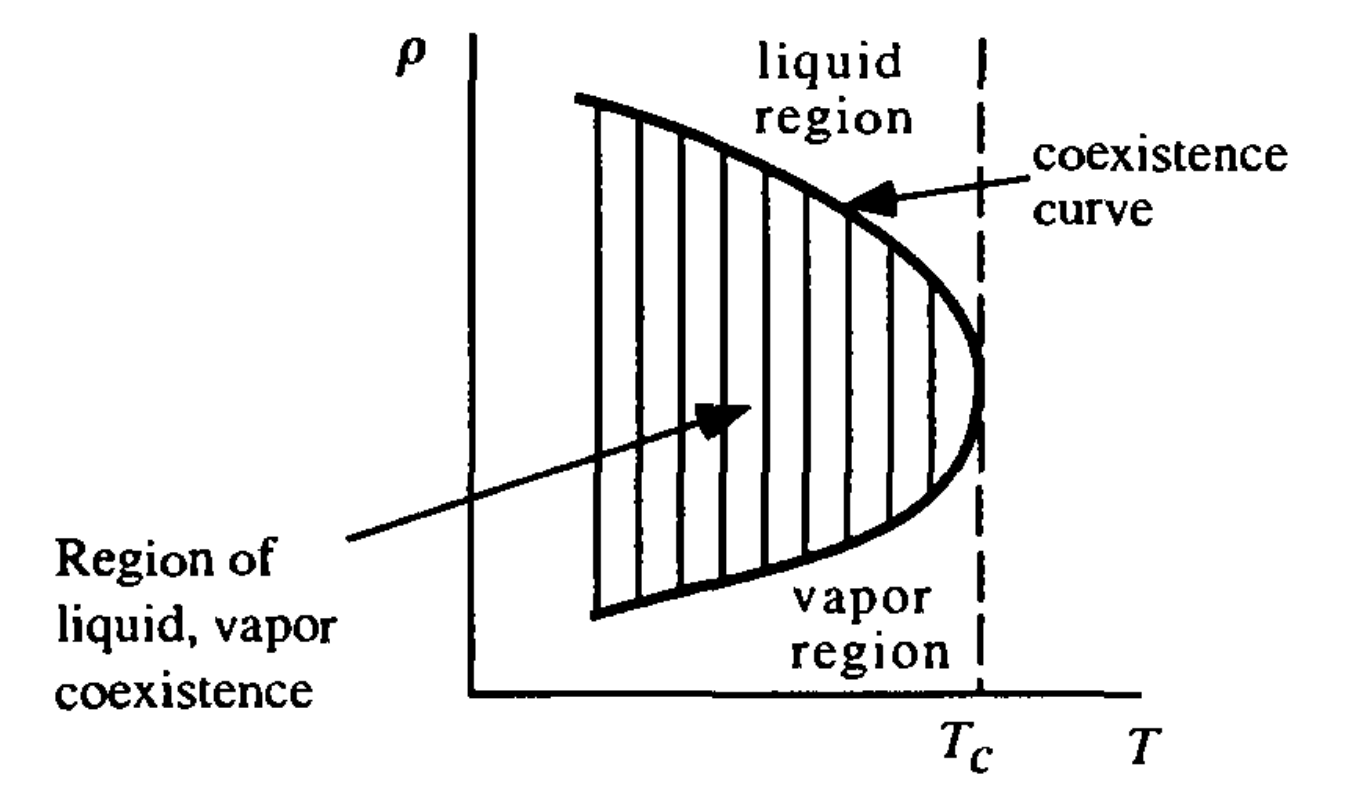
Un exemple de phénomènes émergents ?

Un cas particulier de transitions de phases

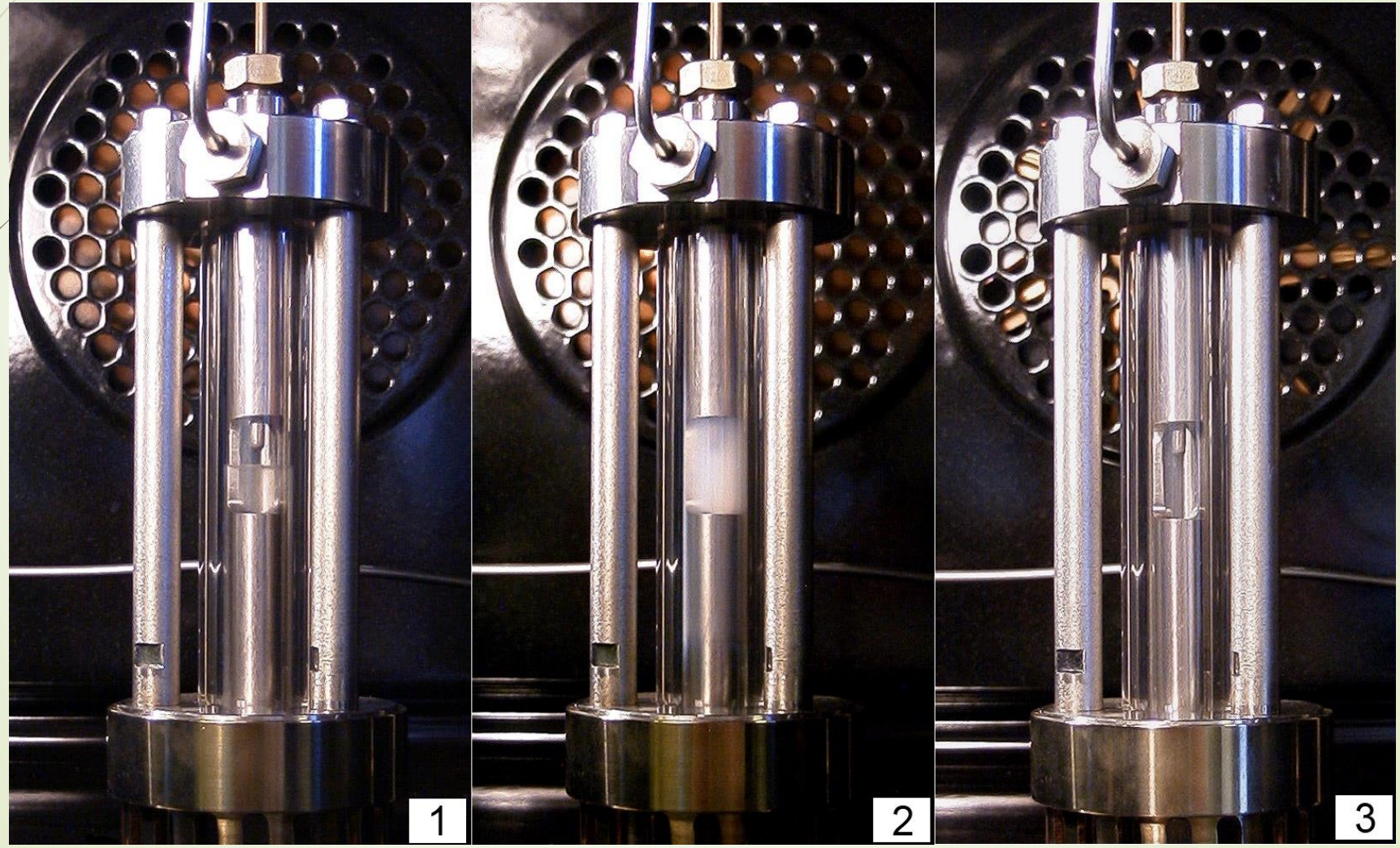




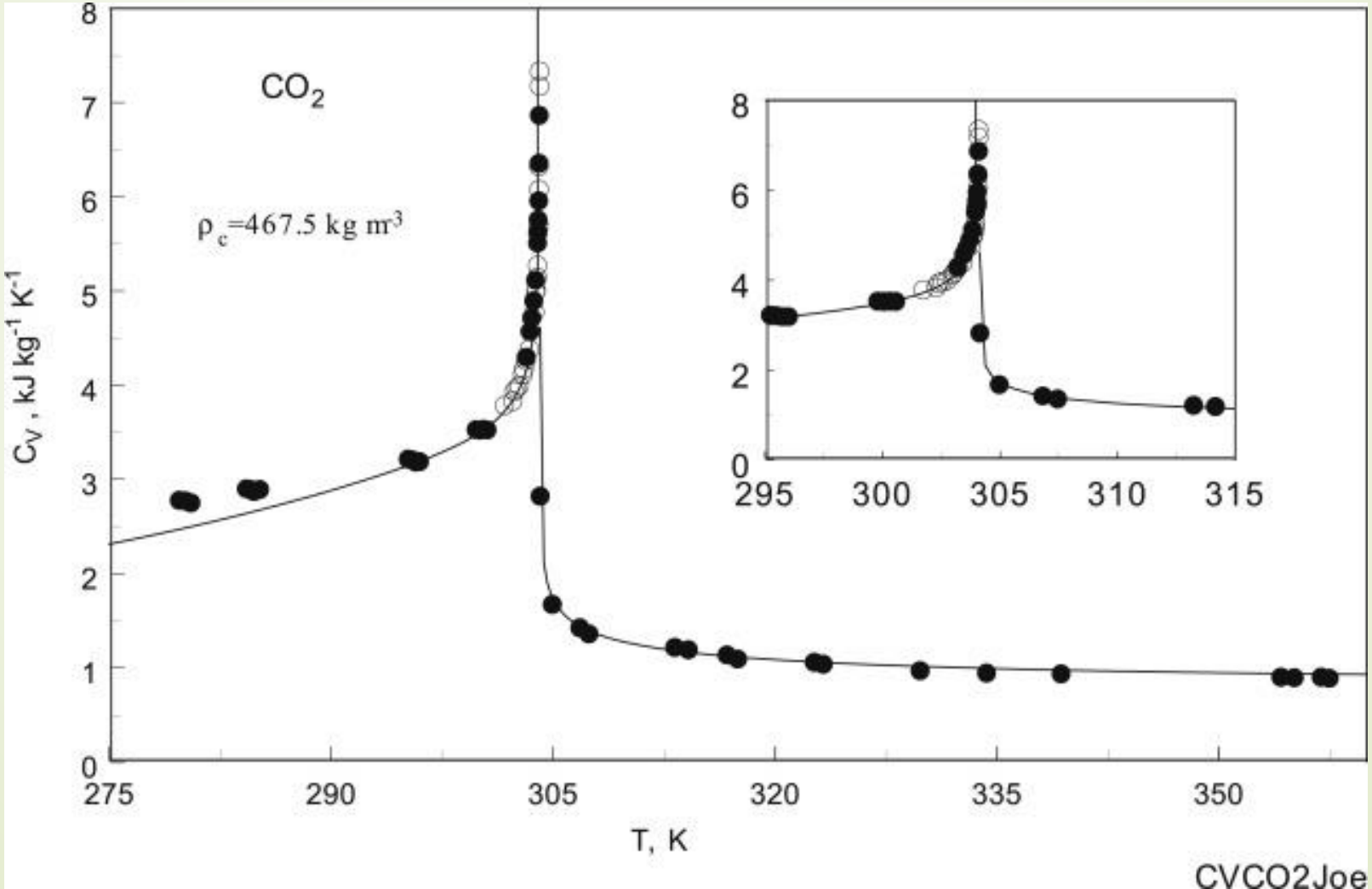
Une instabilité produisant un mélange intime entre les deux phases



Une instabilité produisant un mélange intime entre les deux phases



Une divergence de certaines grandeurs physiques



Exposants critiques

- Quel que soit le fluide, les courbes possèdent autour du point critique la même forme en loi de puissance

$$\rho - \rho_c \sim \left| \frac{T - T_c}{T_c} \right|^{\beta}$$

- avec le même exposant $\beta \approx 0{,}32\ldots$

Classes d'universalité

- Résultat identique dans des systèmes radicalement différents (matériaux ferromagnétiques, alliages binaires).
- → *classe d'universalité* définie par un jeu d'exposants critiques.

L'universalité dans les phénomènes critiques : un exemple d'explication émergentiste ?

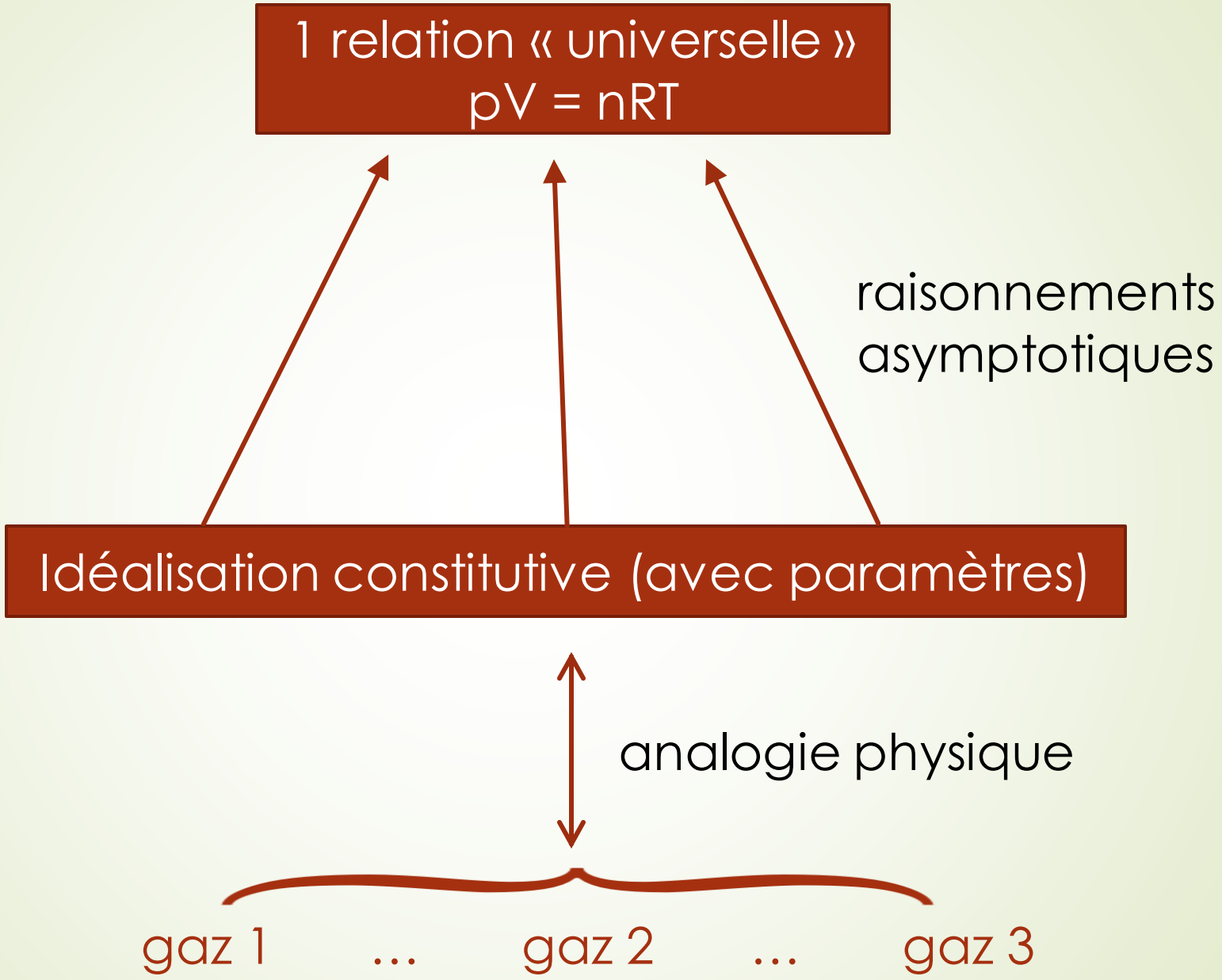
- Quelle explication ?
  Invariance d'échelle et méthodes de renormalisation.
- → les classes d'universalité sont indépendantes des interactions locales, et définies uniquement par la dimension *d* de l'espace, et la dimension *n* du paramètre d'ordre (ici : d=3,n=1).
- Un exemple de raisonnement asymptotique qui produit une explication bloquant la réductibilité.

III/ Tentative de clarification

à partir de l'étude de trois « types idéaux » d'explication

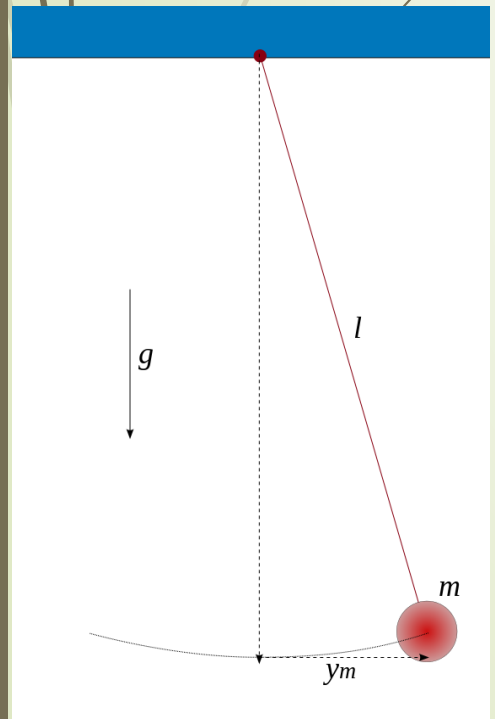
Un archétype de réduction : le modèle du gaz parfait

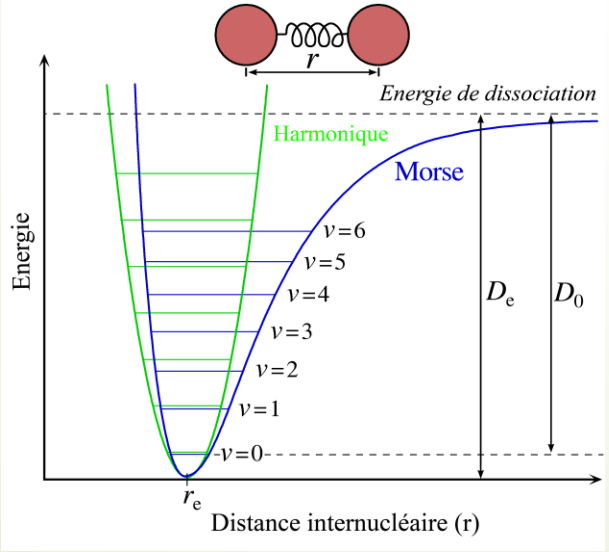
- Loi des gaz parfaits : pV = nRT (thermodynamique).
- Valable pour tous les gaz, dans la limite des grandes dilutions → « universalité ».
- Explication par la physique statistique au moyen de la construction d'un modèle (idéalisation) partant de l'hypothèse atomique (analogie physique).
- Raisonnements asymptotiques réductifs → la contribution des constituants atomiques (micro) peut être isolée dans le résultat final (macro).

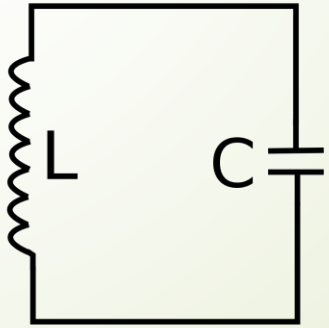

1 relation « universelle »
pV = nRT
raisonnements
asymptotiques
Idéalisation constitutive (avec paramètres)
analogie physique
gaz 1
…
gaz 2
…
gaz 3

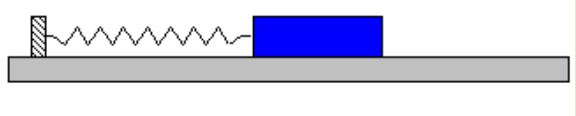
Une « universalité » neutre vis-à-vis de la réduction : l'oscillateur harmonique

- Dans la limite des petites variations autour d'un état d'équilibre, tous les systèmes physiques conservatifs peuvent être décrits par une même équation.
- Idéalisation portée ici par une analogie formelle, pas par l'hypothèse d'une constitution partagée.









1 relation « universelle »

$$\frac{d^2x}{dt^2} + {\omega_0}^2 x = 0$$

analogie formelle

éq. diff. ⟷ éq. diff. ⟷ éq. diff. ⟷ éq. diff.

r. asymptot. abstraction

r. asymptot. abstraction

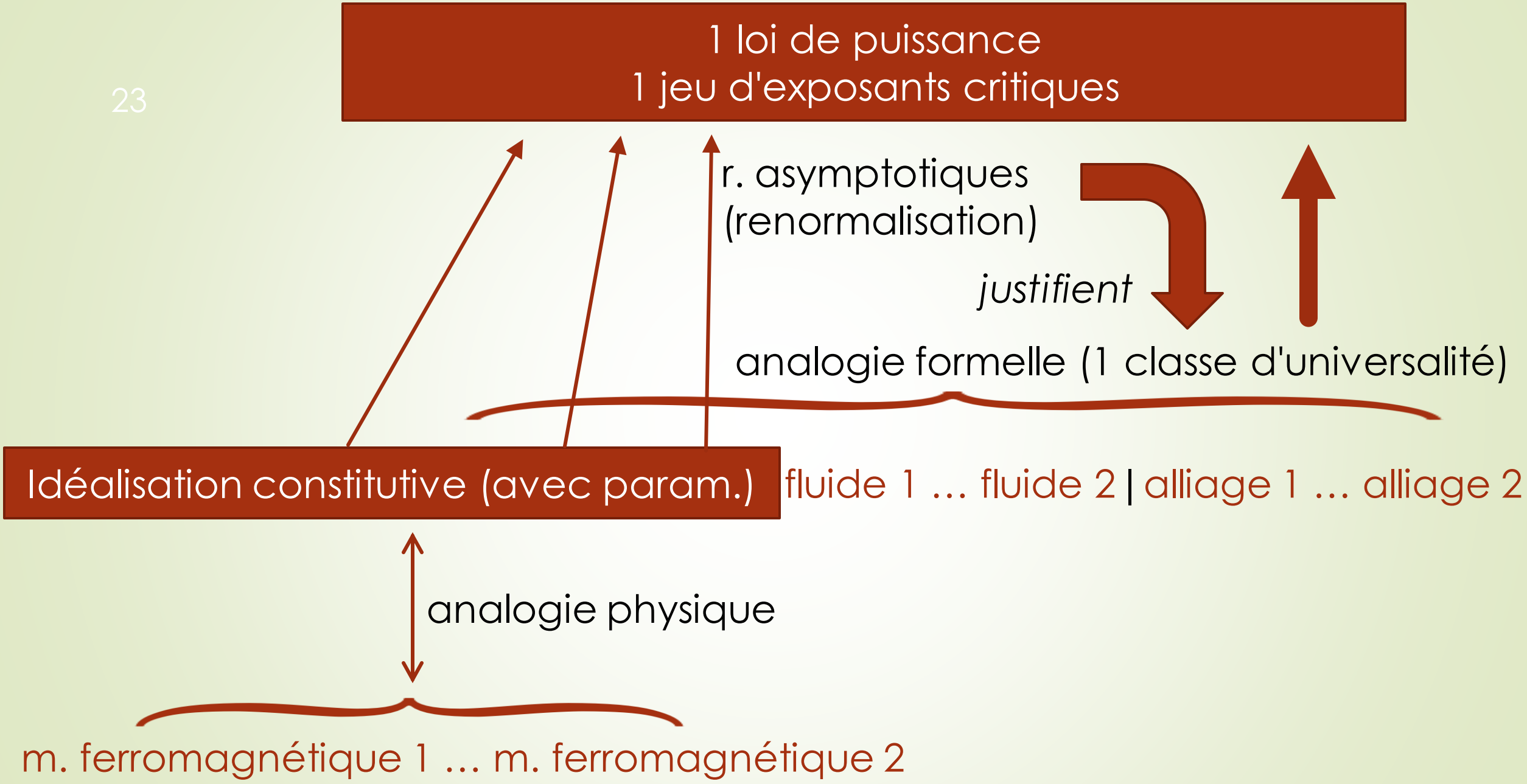
r. asymptot. abstraction

r. asymptot. abstraction

circuit électrique LC | pendule | masse-ressort | vibrations moléculaires

Phénomènes critiques et renormalisation : une « universalité » explicativement autonome

- Une explication qui *s'appuie* sur une idéalisation constitutive (analogie physique)…
- … mais *justifiant* à posteriori une analogie formelle entre systèmes de constitutions radicalement différentes.
- → emprunte à la fois au type idéal réductif du modèle du gaz parfait, et au type idéal autonome de l'oscillateur harmonique.


1 loi de puissance
1 jeu d'exposants critiques
r. asymptotiques
(renormalisation)
justifient
analogie formelle (1 classe d'universalité)
Idéalisation constitutive (avec param.)
fluide 1 … fluide 2 | alliage 1 … alliage 2
analogie physique
m. ferromagnétique 1 … m. ferromagnétique 2

Merci de votre attention !

quentin.rodriguez@uca.fr