

Enseigner l'entropie au premier cycle de l'enseignement supérieur dans la perspective du changement conceptuel : des conceptions alternatives à l'intervention didactique

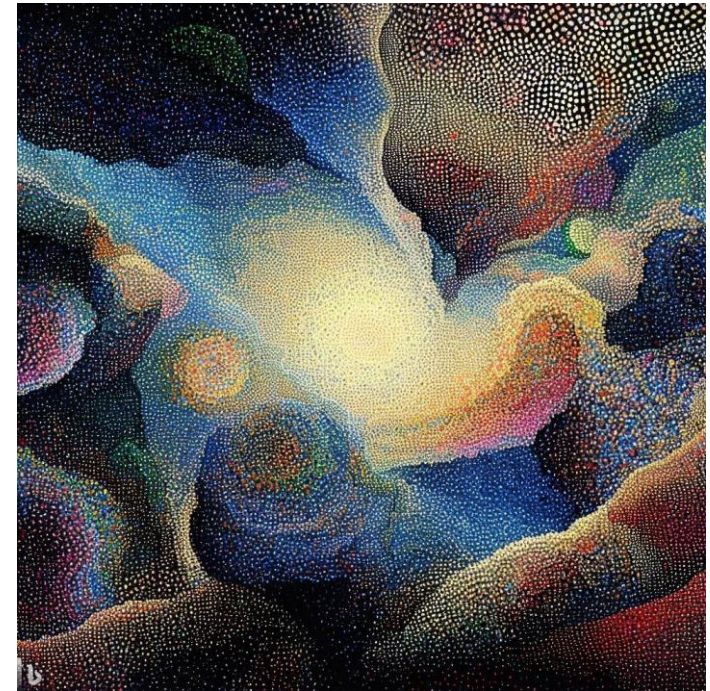
UR Didactifen

Séminaire des doctorants

Vincent Natalis

Bernard Leyh, Loïc Quinton

ULiège, Belgium



L'entropie S ?

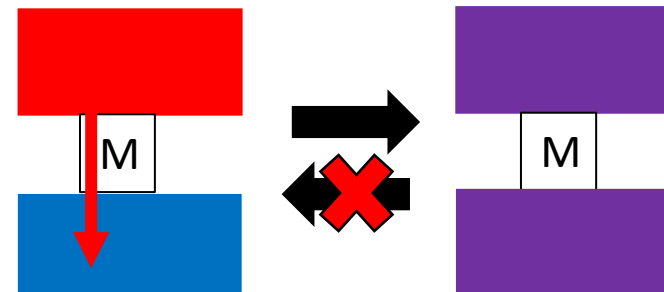


L'entropie S ?

Concept fondamental en thermodynamique, l'étude des transferts d'énergie

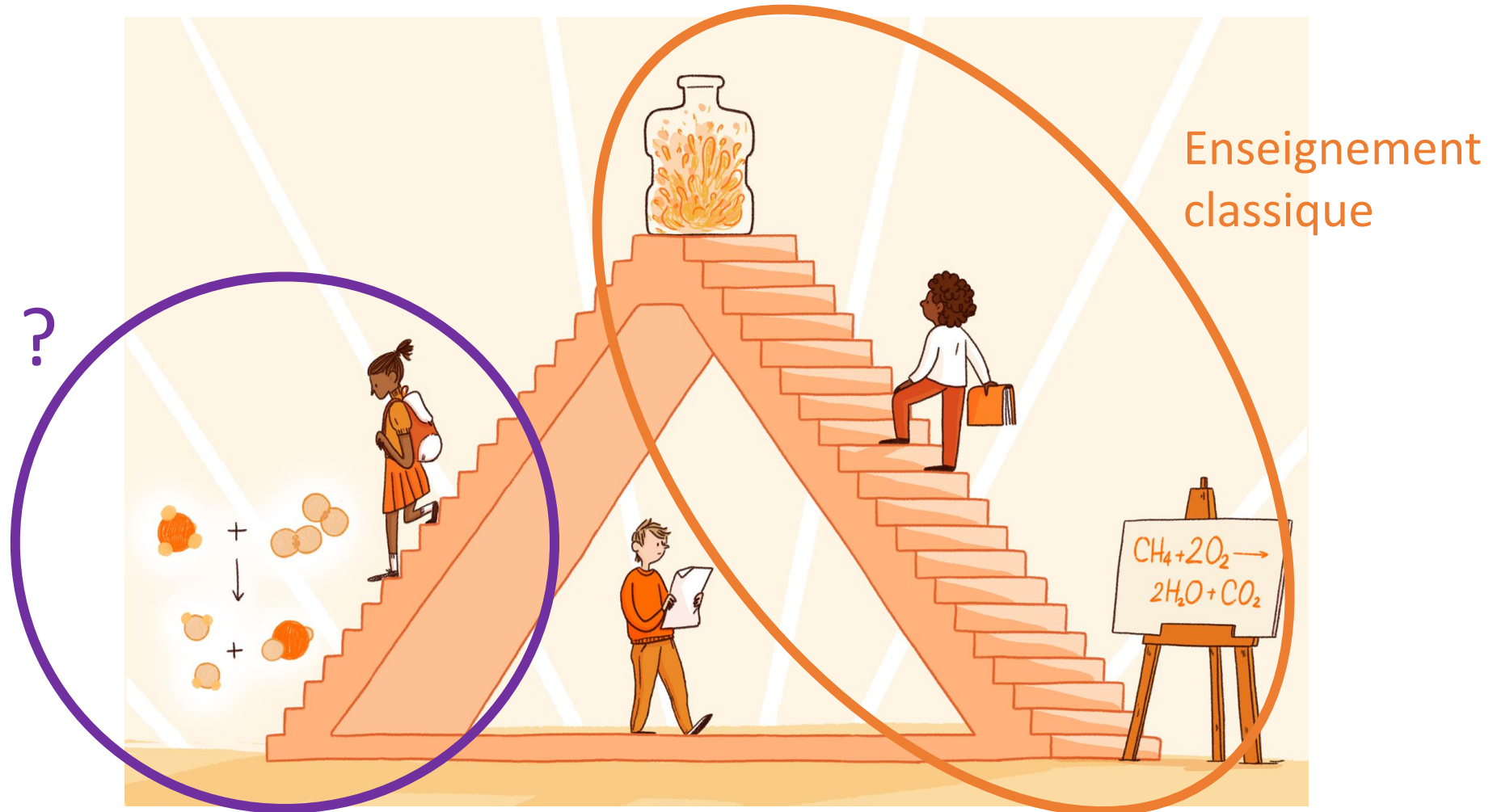


Étalement, dispersion
Qualité de l'énergie



Enseigner l'entropie : un problème de point de vue?

Triangle de Johnstone



Enseigner l'entropie : un problème historique?

Approche macroscopique (milieu du XIX^{ème} siècle)
S. Carnot (1824) – R. Clausius (1865)

Efficacité des machines thermiques
Pas de référence à l'existence des molécules/atomes
Introduit en 1^{er} dans le curriculum

$$\Delta S = \frac{Q_{\text{réversible}}}{T}$$

Approche microscopique (fin du XIX^{ème} siècle)
L. Boltzmann (1877) – J. W. Gibbs (1902)

Connexion avec l'existence des molécules/atomes:
structure discontinue de la matière
Introduit en 2^{ème} dans le curriculum

$$\Delta S = k_B \ln \left(\frac{\textit{Proba finale}}{\textit{Proba initiale}} \right)$$

Métaphore
du désordre

Pertinence?

Utilité?

Désordonné, ordonné?



Changement conceptuel ?

Conception

Un ensemble de connaissances ou de procédures hypothétiques que le chercheur (en didactique) attribue à l'élève dans le but de rendre compte des conduites de l'élève dans un ensemble de situations données. Cet ensemble de connaissances ou procédures hypothétiques doit aussi être trouvé chez plusieurs élèves pour constituer une conception. (Tiberghien & Vince, 2005)

Conception alternative

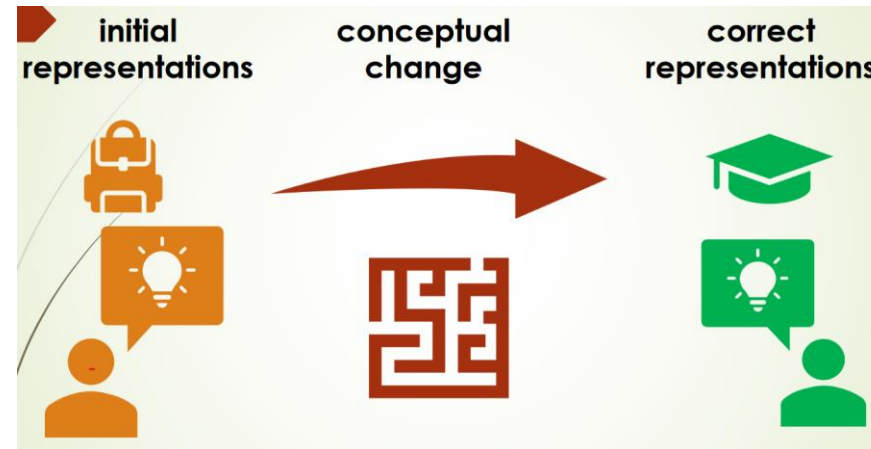
Toute conception mobilisée par l'étudiant qui n'est pas conforme à la conception scientifiquement admise

Naïf, incomplet, ou faux

A ne pas confondre avec des erreurs, qui peuvent être de nature différente

Changement conceptuel ?

Le procédé par lequel les idées initiales des étudiants se développent en des notions plus scientifiques (Duit, 1999)



Cours de thermodynamique macroscopique

- Concepts : chaleur, température, ...
- Calculs, algèbre
- Absence de visualisation microscopique

Cours avec ajout d'un PDV microscopique

- Concepts : probabilités, micro-états, ...
- Probabilités
- Visualisation microscopique

Chronologie de thèse

Diagnostic



Proposition de solution(s)



Analyses de questionnaire et interviews de B1/B2/B3

Partie I

Revue des solutions de la littérature

Partie II

Développement et test de notre méthode propre par l'ajout d'un PDV microscopique

Partie III

Questions de recherche

Partie I (diagnostic)

Q1a) **Quelles sont les conceptions alternatives (CA)** des étudiants en B1/B2 à l'université de Liège, telles qu'identifiées par des questionnaires et des interviews ?

Q1b) **Comment évoluent ces CA** suite à un cours de thermodynamique macroscopique ?

Partie II (solutions)

Q2a) **Que préconise une revue systématique** (type PRISMA) de la littérature pour mieux enseigner l'entropie en B1/B2 ?

Q2b) Quelles méthodes ont déjà été **testées** avec des étudiants et quelle est leur efficacité ?

Partie III (solutions)

Q3a) Comment évoluent les **CA** des étudiants après **l'ajout d'un point de vue microscopique** (= atomique et moléculaire) à un cours de thermodynamique macroscopique ?

Q3b) Quels sont les **apports didactiques d'un ajout d'un point de vue microscopique** à un cours de thermodynamique macroscopique ?

Méthode partie I

A. Questionnaire écrit

- Groupes
 - Pharmaciens, chimistes, géologues B1 (N=182, 2019 et N =169, 2020)
 - Ingénieurs B2 (N = 167)
- 11 questions
 - 5 QCM congruentes
 - 6 QCM avec justification incongruentes
- Pré-test et post-test

B. Interviews semi-dirigées

- 27 étudiants B2/B3

Exemple

L'entropie, c'est (plusieurs réponses possibles) :

- Une température
- Une énergie
- Une grandeur thermodynamique
- Une fonction d'état
- Une vitesse de réaction
- Une propriété d'un système
- Un processus
- Autre :

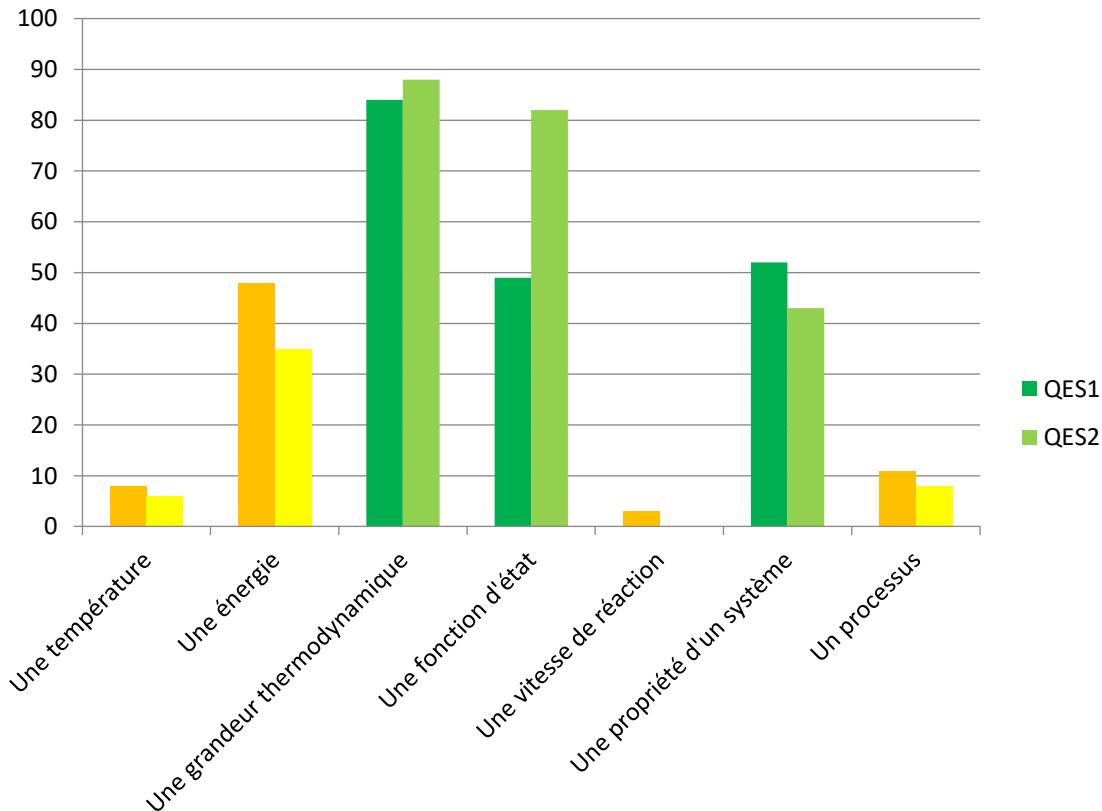
Résultats partie I

- CA répertoriées confirmées, et nouvelles CA identifiées
- Un cours macroscopique favorise peu le changement conceptuel sur la notion d'entropie
- Métaphore du désordre peu féconde car nombreuses conceptions du désordre
- Dans cette présentation, exemples d'une question fermée et d'une question ouverte

Résultats partie I

D'après vous, l'entropie est...

Pourcentage d'étudiants ayant coché la réponse



- Améliorations

Energie

Grandeur thermodynamique

Fonction d'état

- A noter

Propriété d'un système

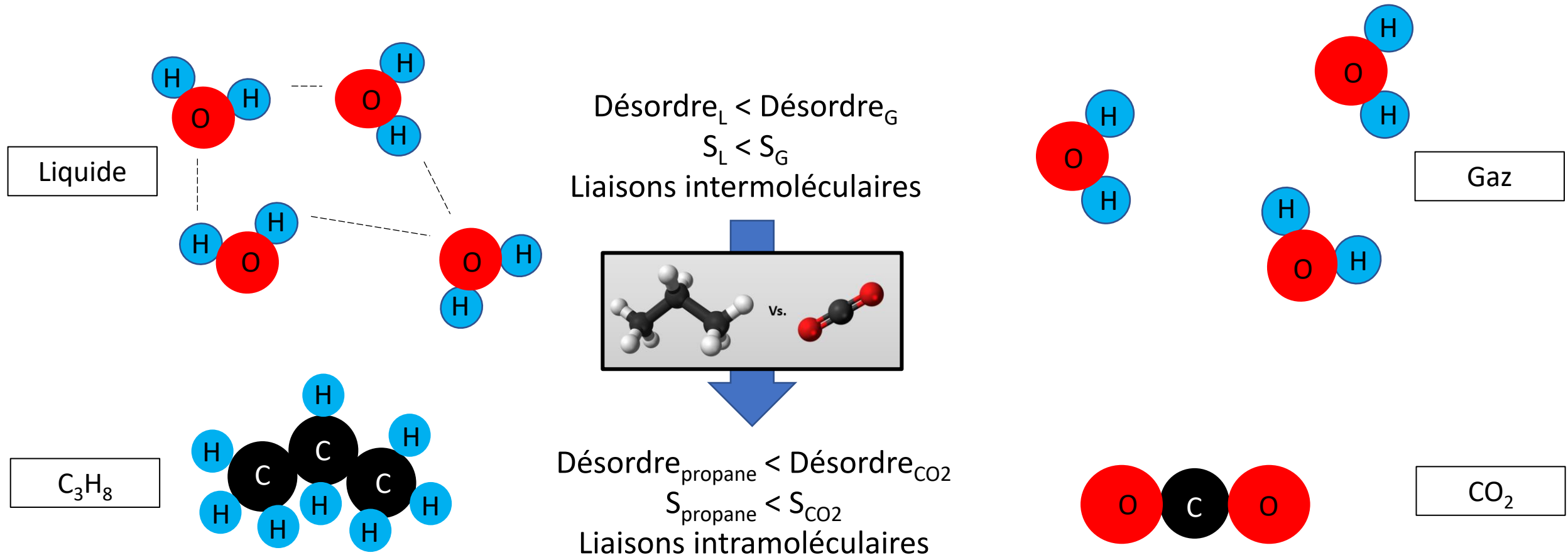
Energie, erreur toujours prévalente

↔ Interviews : unités (J et J/K)

Cours de thermodynamique macroscopique

Résultats partie I : exemple d'une CA

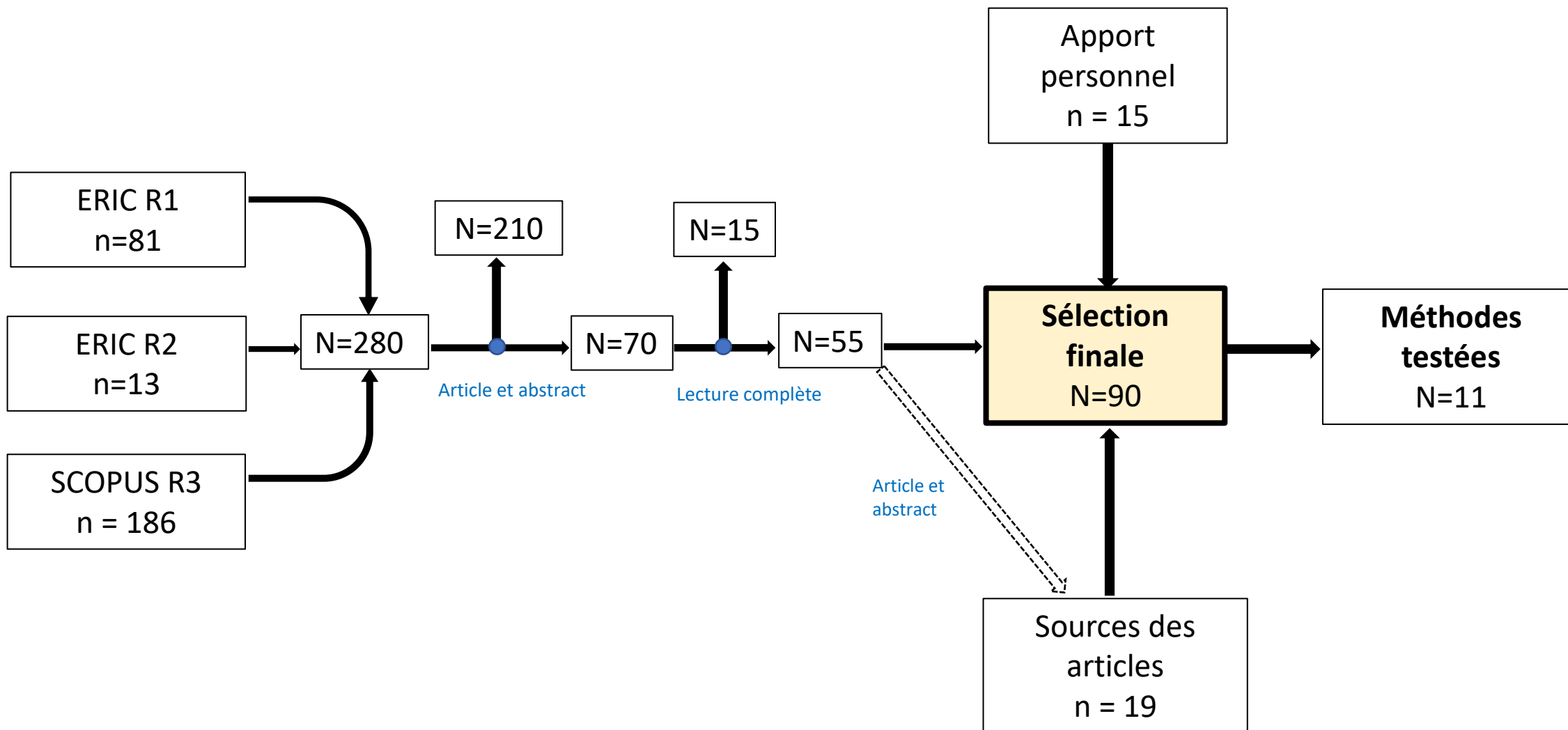
Si des molécules ont plus d'atomes, elles ont plus de liaisons, moins de désordre, et donc moins d'entropie



Méthode et résultats partie II

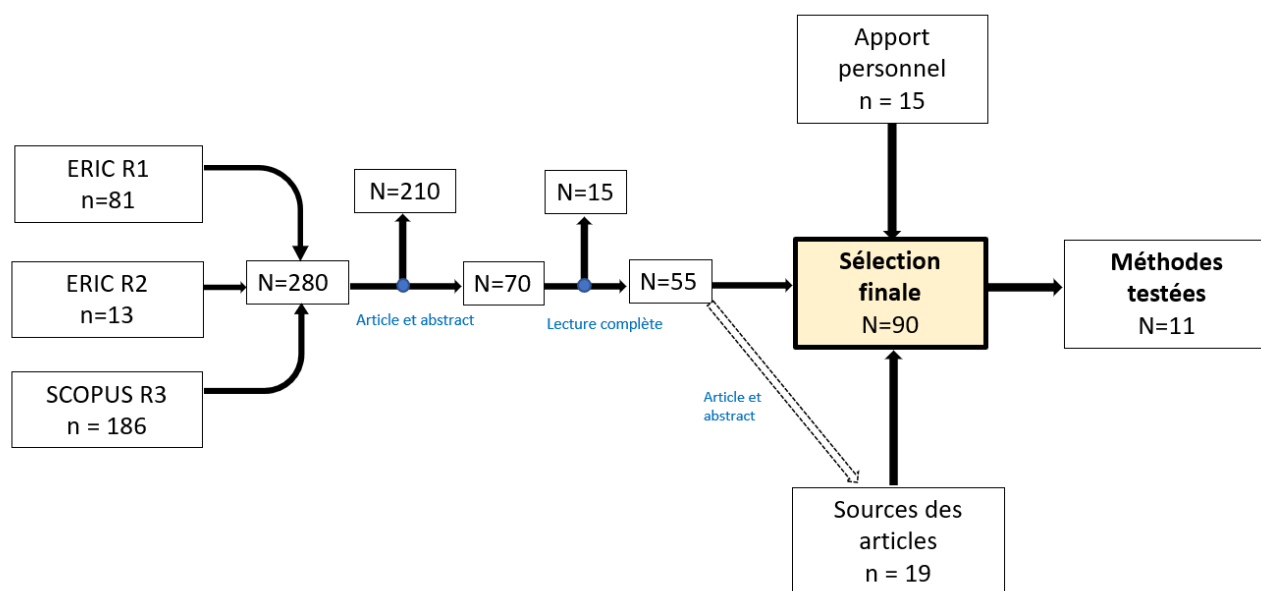
- Méthode PRISMA de revue systématique
 - Transparence des choix
 - Q2b : 11 articles

Méthode et résultats partie II



Méthode et résultats partie II

- Méthode PRISMA de revue systématique
 - Transparence des choix
 - Q2b : 11 articles



- Résultats préliminaires
 - 69 % proposent une approche au moins mixte (micro-macro) ou micro pure
 - 82% visent spécifiquement le niveau bachelier
 - Principalement des axes théoriques, quelques labos/exercices
 - Seuls 12% testent leur dispositif

Méthode partie III : généralités

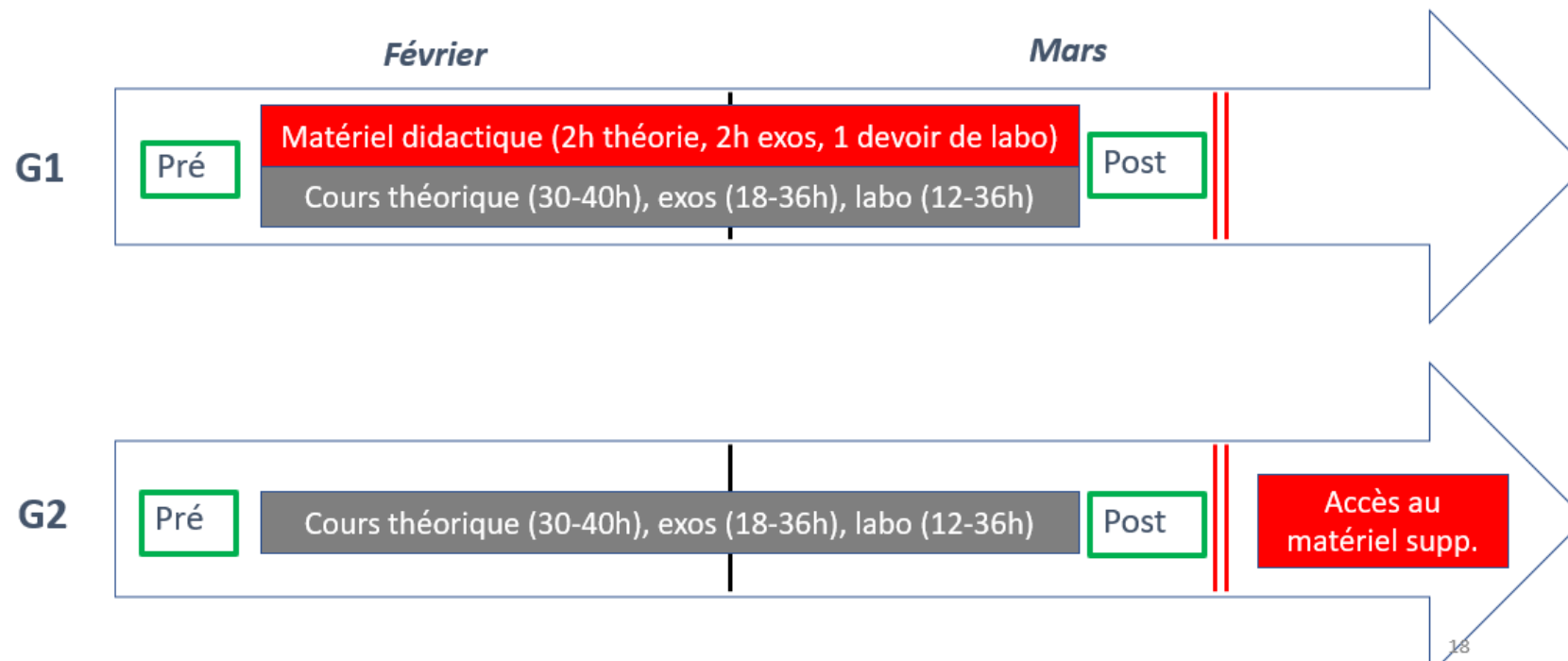
- Dispositif ajoutant un point de vue microscopique (= atomique et moléculaire) (identifié comme manque dans parties I et II)
- Séparation d'une cohorte (286 pharmaciens, 41 chimistes, 31 géologues) en un groupe-test (G1) et un groupe-contrôle (G2)
- Vérification échantillonnage alphabétique G1/G2
 - Données SSE (diplômes parents, école)
 - Doublant en secondaire, dans le supérieur
- Où les élèves ont-ils déjà vu la notion d'entropie?

Secondaire
1x50'
Interdiction de parler d'entropie
➔ **Désordre**

Pharmas	Chimistes	Géologues
Phys Q1 Deux dias	Phys Q1 <i>Pas abordé</i>	Phys Q1 <i>Pas abordé</i>
Chimie, Bio Q1 <i>Pas abordé</i>		
/	Orga Q2 Notions	/

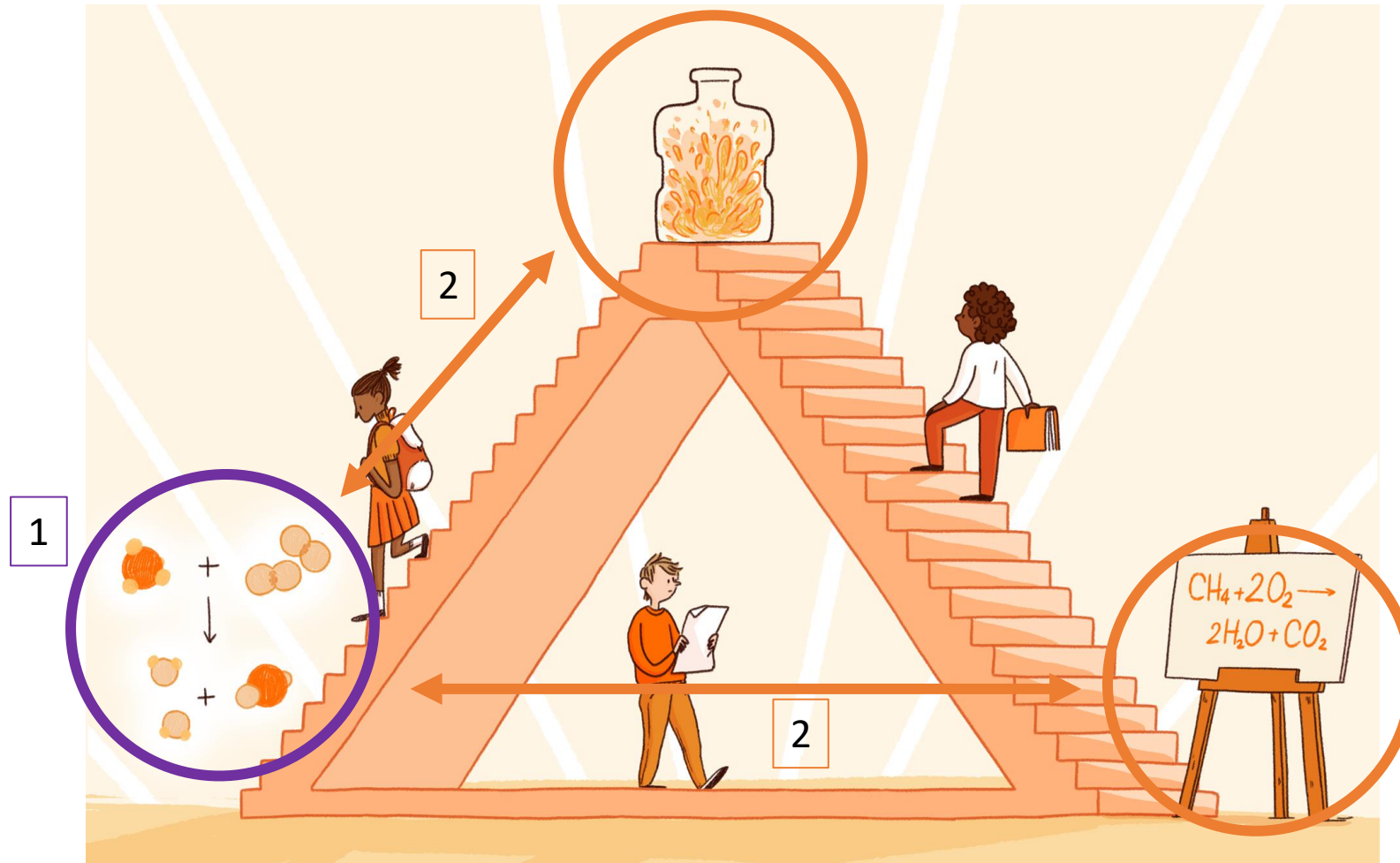
Méthode partie III : généralités

Pour groupe-test (G1) : un cours théorique, une répétition et un devoir de laboratoire en plus du cours habituel



Méthode partie III : microscopique

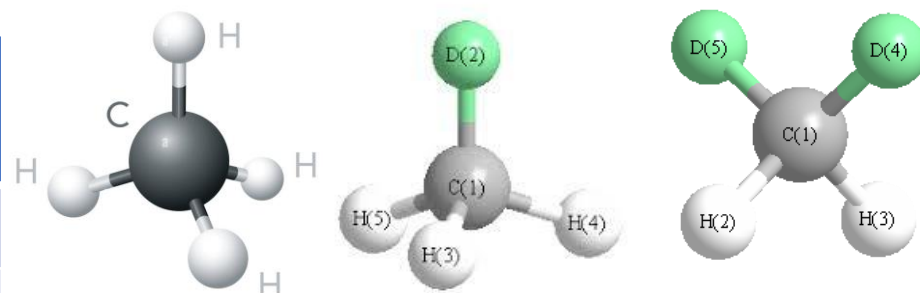
Dispositif ajoutant un point de vue microscopique



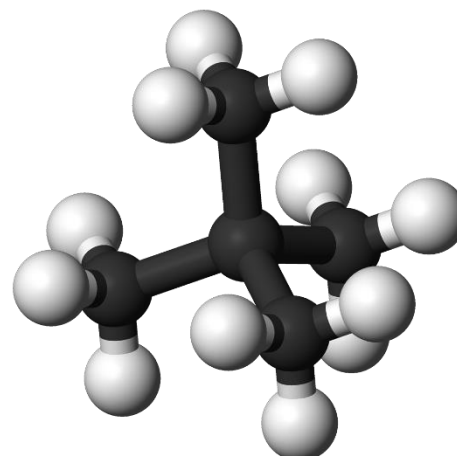
(1) Cours théorique : Point de vue microscopique

Symétrie des molécules

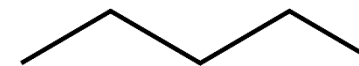
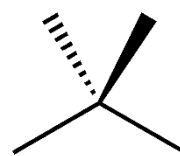
Quand la symétrie moléculaire augmente, seuls certains états de rotation restent accessibles. Pour CH_4 , par exemple, seuls 1/12 des états de rotation sont accessibles $\Rightarrow S \searrow$



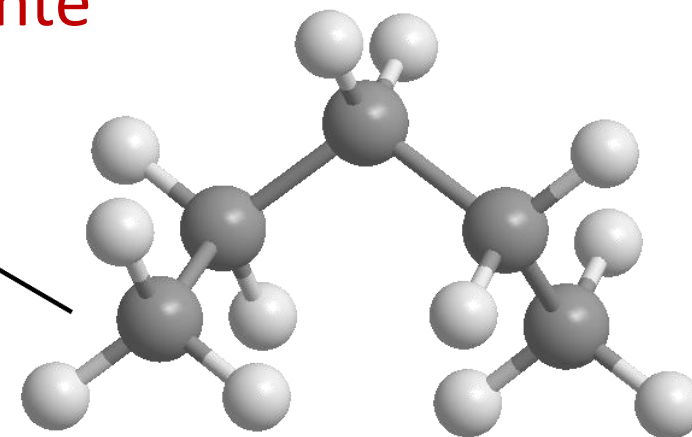
Symétrie augmente



néopentane



n-pentane

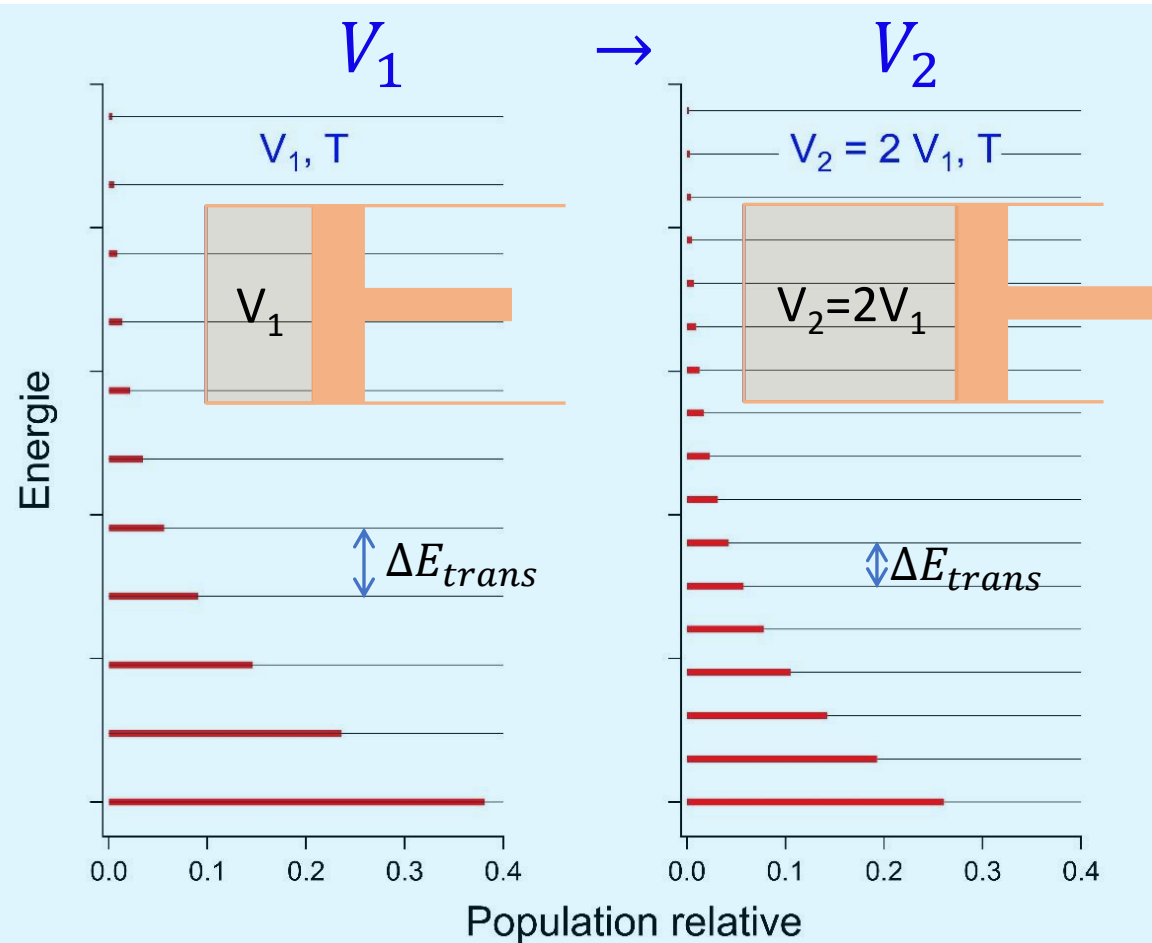


Substance	$S^0(298K)$ ($J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$)
CH_4 (g)	186
CH_3D (g)	201
CH_2D_2 (g)	203
néopentane (l)	217
n-pentane (l)	263



(2) Cours théorique : connexion symbolique \Leftrightarrow micro et symbolique \Leftrightarrow macro

Effet du volume à température constante

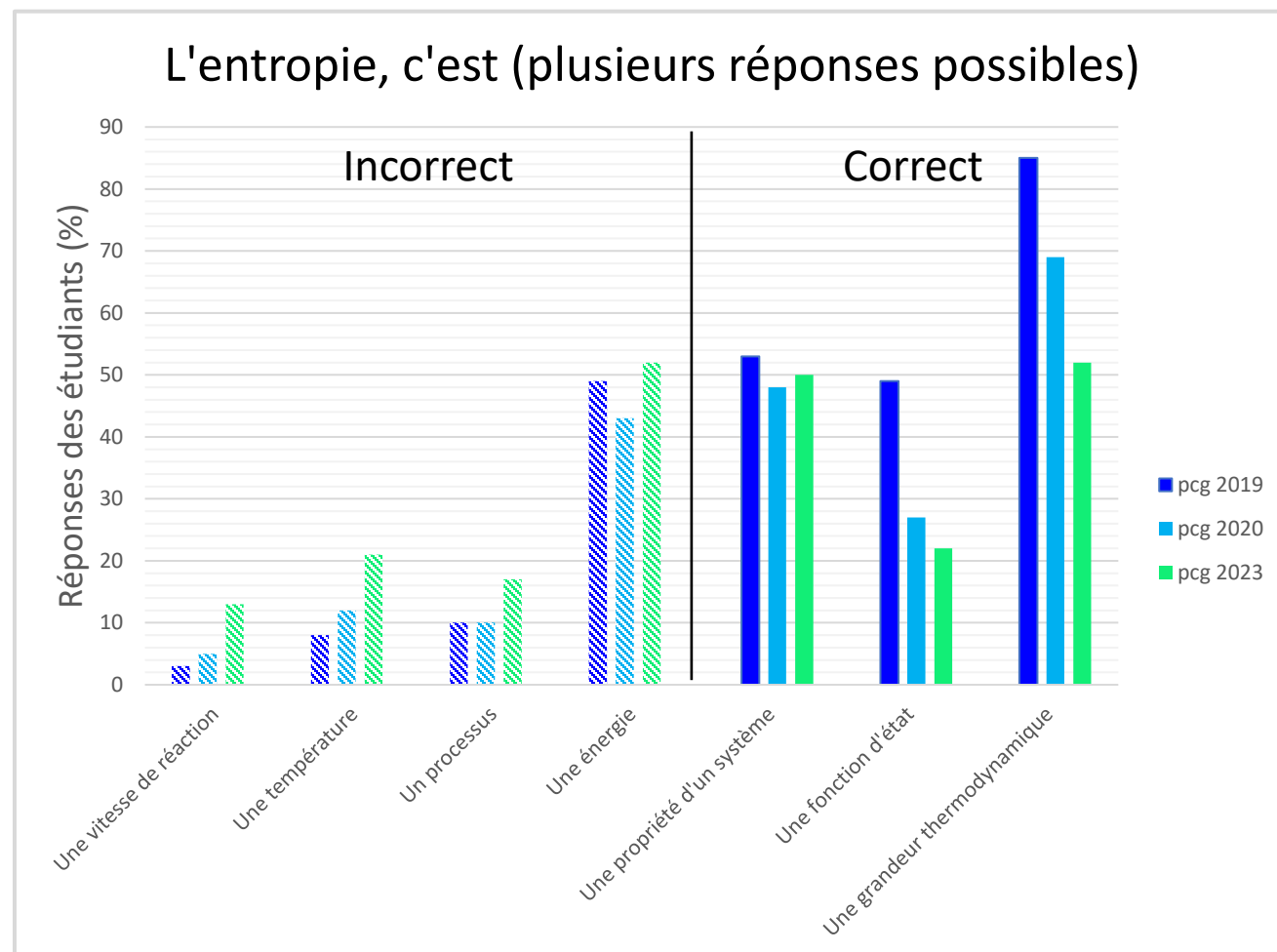


- $V \nearrow \Rightarrow \Delta E_{trans} \searrow \Rightarrow S = k \cdot \ln(W) \nearrow$
- n mol de **gaz parfait**: $W \propto V^{nN_A}$
- $\Rightarrow \Delta S = k[\ln(W_2) - \ln(W_1)] = k \ln\left(\frac{W_2}{W_1}\right)$
- $= k \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{nN_A} = nkN_A \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = nR \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$

- Augmentation réversible du volume à T constante :
- $\Delta U = 0 \Leftrightarrow dq_{rév} = -dw_{rév} = PdV = \frac{nRT}{V} dV$
- $\Rightarrow \Delta S = \int_{V_1}^{V_2} \frac{dq_{rév}}{T} = nR \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = nR \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$

Résultats préliminaires partie III

- Reproductibilité des données de 2019 et 2020 pour le pré-test
 - Stabilité des CA (critère)
 - Evolution de la population étudiante
 - Evolution participants (N~200 à N~300)
 - Evolution mode d'enquête
- Attente des résultats qualitatifs et quantitatifs



Conclusion, perspectives

- Thèse en trois parties
 1. Questionnaires et interviews révèlent des CA non-corrigées par un cours classique de thermodynamique
 2. La littérature propose beaucoup de solutions (dont microscopique) mais en teste peu
 3. Un dispositif innovant ajoutant un point de vue microscopique pourrait améliorer le changement conceptuel des étudiants
- Nécessité de
 - Tester de nouveaux dispositifs pédagogiques en thermodynamique
 - Poursuivre cette recherche pour la connecter avec la suite des cours traditionnels (enthalpie libre, équilibre, réaction chimique, ...)

Merci pour votre attention !



Qu'en pense une IA?

Image générée par Dall-E

« Augmentation entropie de l'univers peinture »