

---

# Mise en perspective didactique des travaux de recherche

*Romain Taureau*

---

# **Plan de la présentation**

---

## **I. Mon parcours**

## **II. Mon activité de recherche**

- **Présentation du sujet**
- **Mise en perspective didactique**

## **III. Missions d'enseignement**

## **IV. Question**

# I. Mon parcours

---

- 2014 – 2017 :** Licence de Physique, *Sorbonne Université (ex-UPMC)*
- 2017 – 2018 :** Master 1 de Physique Fondamentale, *Sorbonne Université*
- 2018 – 2019:** Master 2 "Sciences des matériaux et nano-objets", *Sorbonne Université*
- 2019 – 2023 :** Thèse intitulée "**Caractérisation de la symétrisation du proton dans le sulfure d'hydrogène supraconducteur**", *IMPMC, Sorbonne Université*
- 2023 – 2024 :** Préparation au concours de l'agrégation, *ENS Centre de préparation de Montronge*

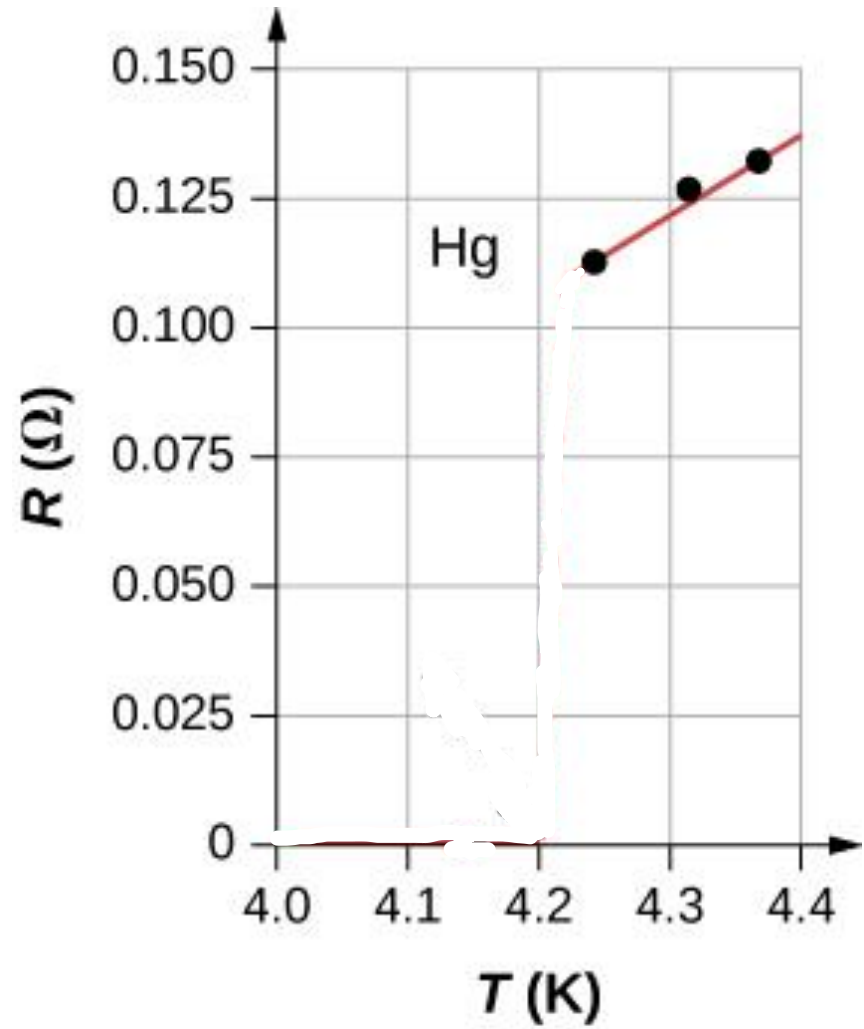
---

## **II. Mon activité de recherche**

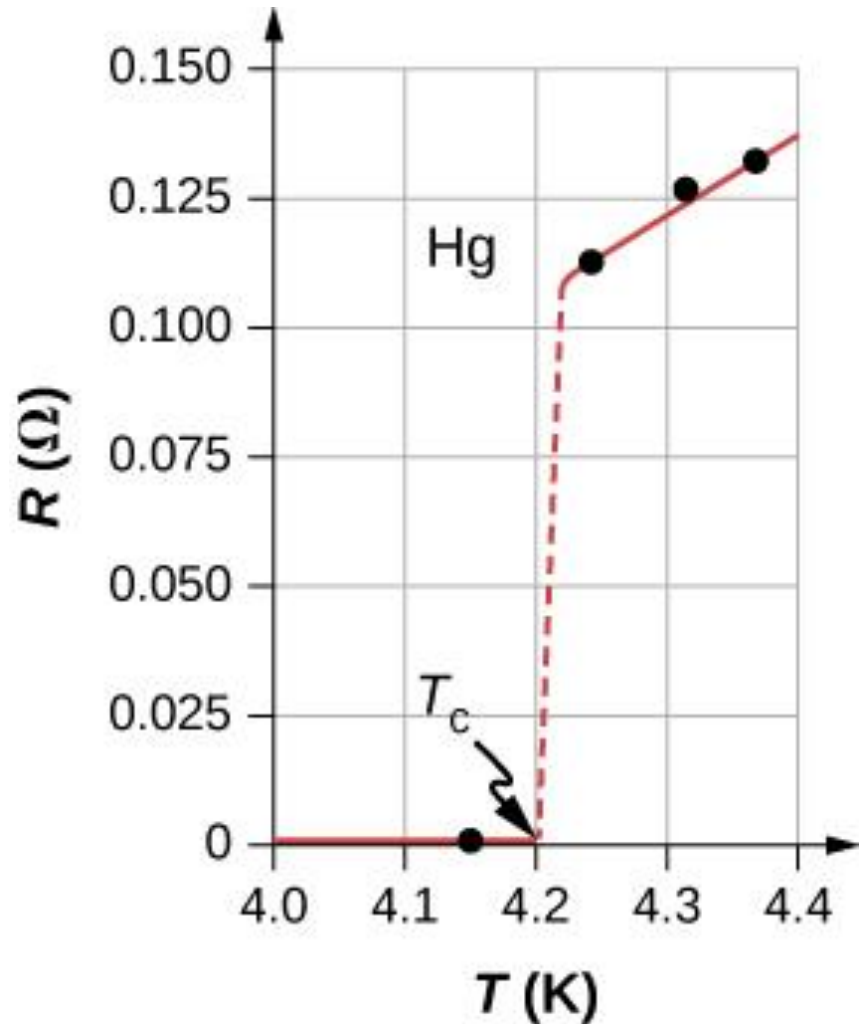
# La supraconductivité: découverte

---

# La supraconductivité: découverte



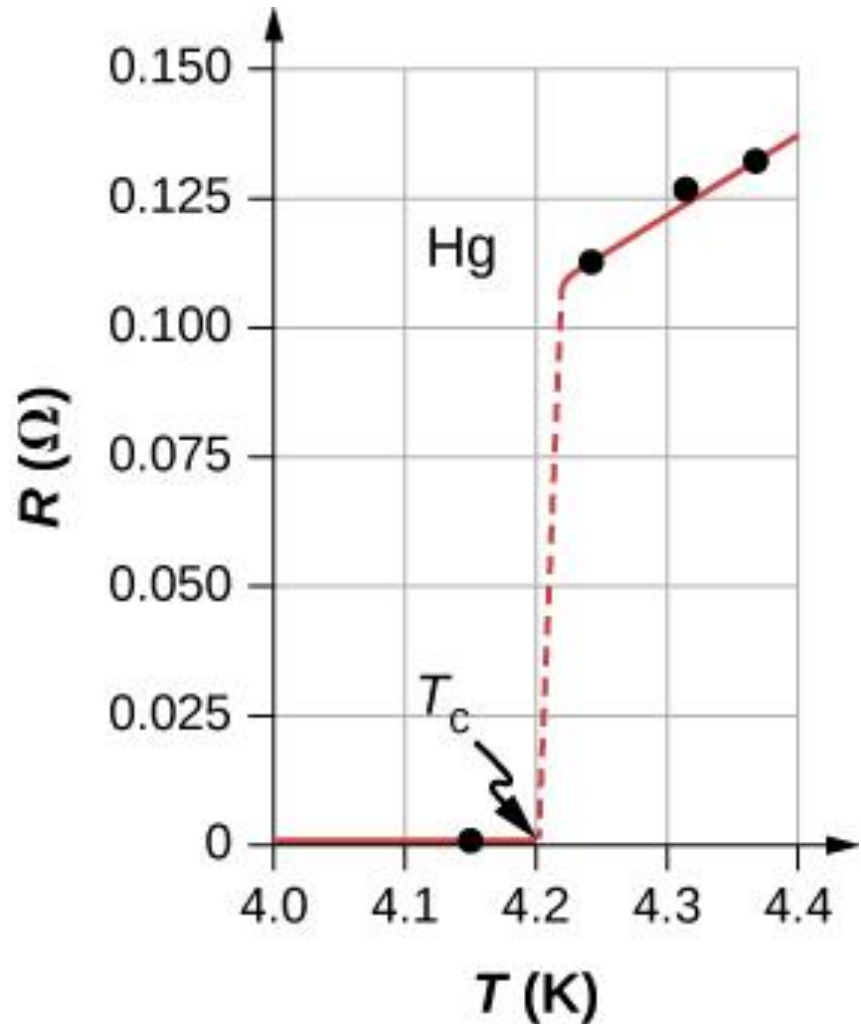
# La supraconductivité: découverte



**En dessous d'une certaine température critique ( $T_c$ ):**

- Annulation stricte de la résistance (Onnes, 1911)

# La supraconductivité: découverte

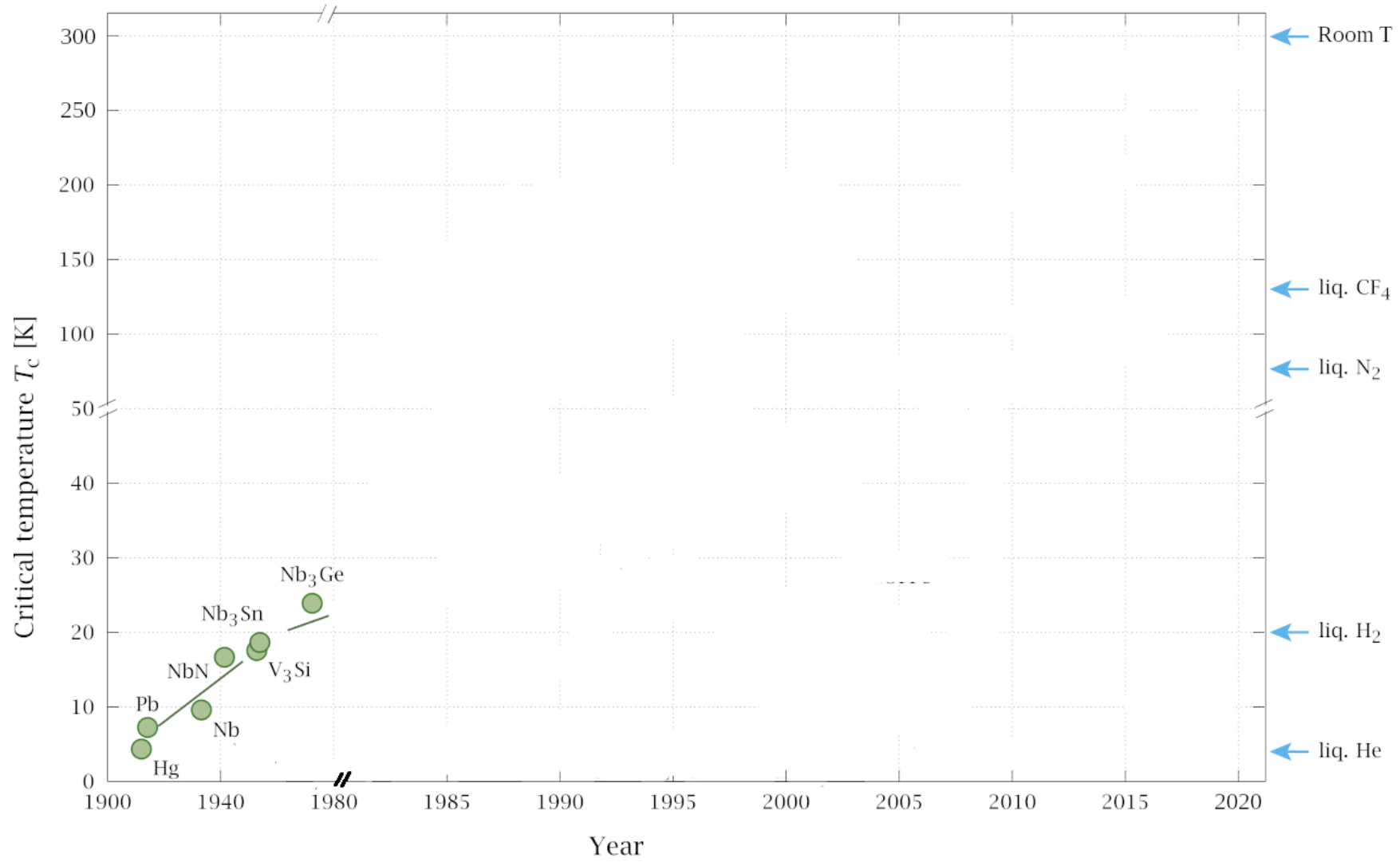


**En dessous d'une certaine température critique ( $T_c$ ):**

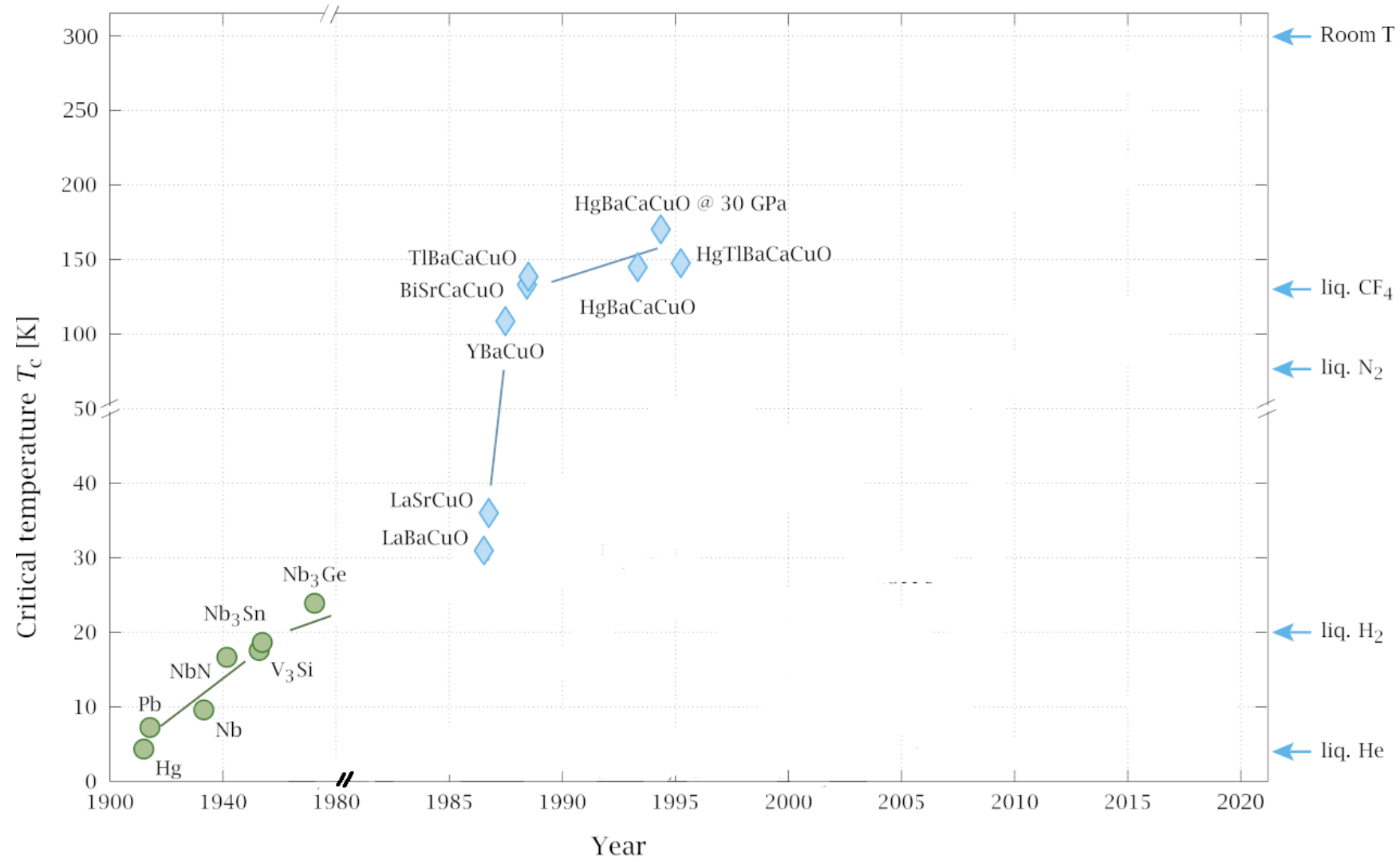
- Annulation stricte de la résistance (Onnes, 1911)
- Diamagnétisme parfait (Meissner, 1933)



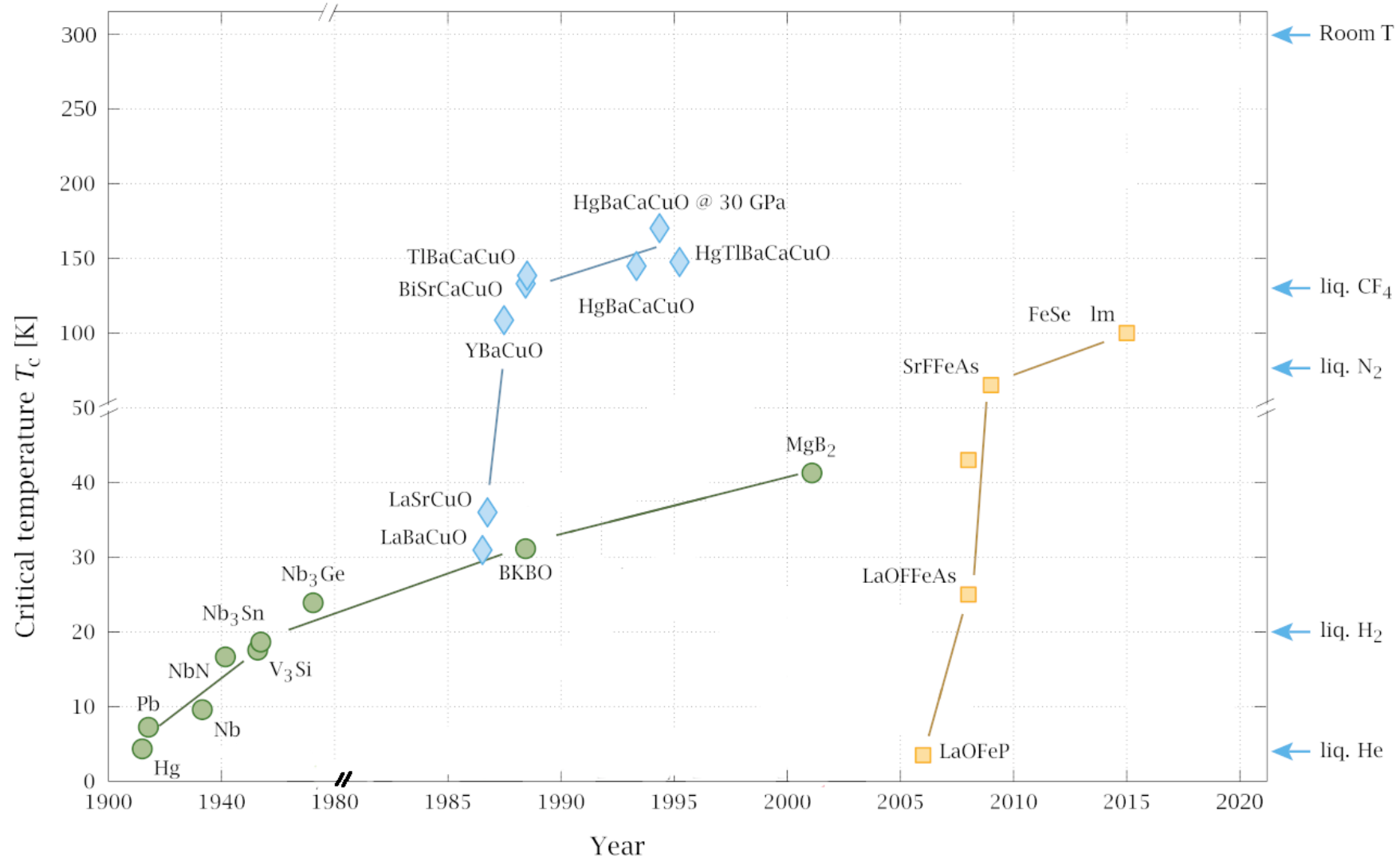
# La supraconductivité: température critique



# La supraconductivité: température critique



# La supraconductivité: température critique



# Hydrogène supraconducteur ?

**Selon BCS:**  $T_c \propto \frac{1}{\sqrt{M}}$

# Hydrogène supraconducteur ?

Selon BCS:  $T_c \propto \frac{1}{\sqrt{M}}$

PHYSICAL REVIEW LETTERS

Highlights Recent Accepted Collections Authors Referees Search Press About Editorial Team

Access by E.N.S. Laboratory de Physique [Go Mobile »](#)

## Metallic Hydrogen: A High-Temperature Superconductor?

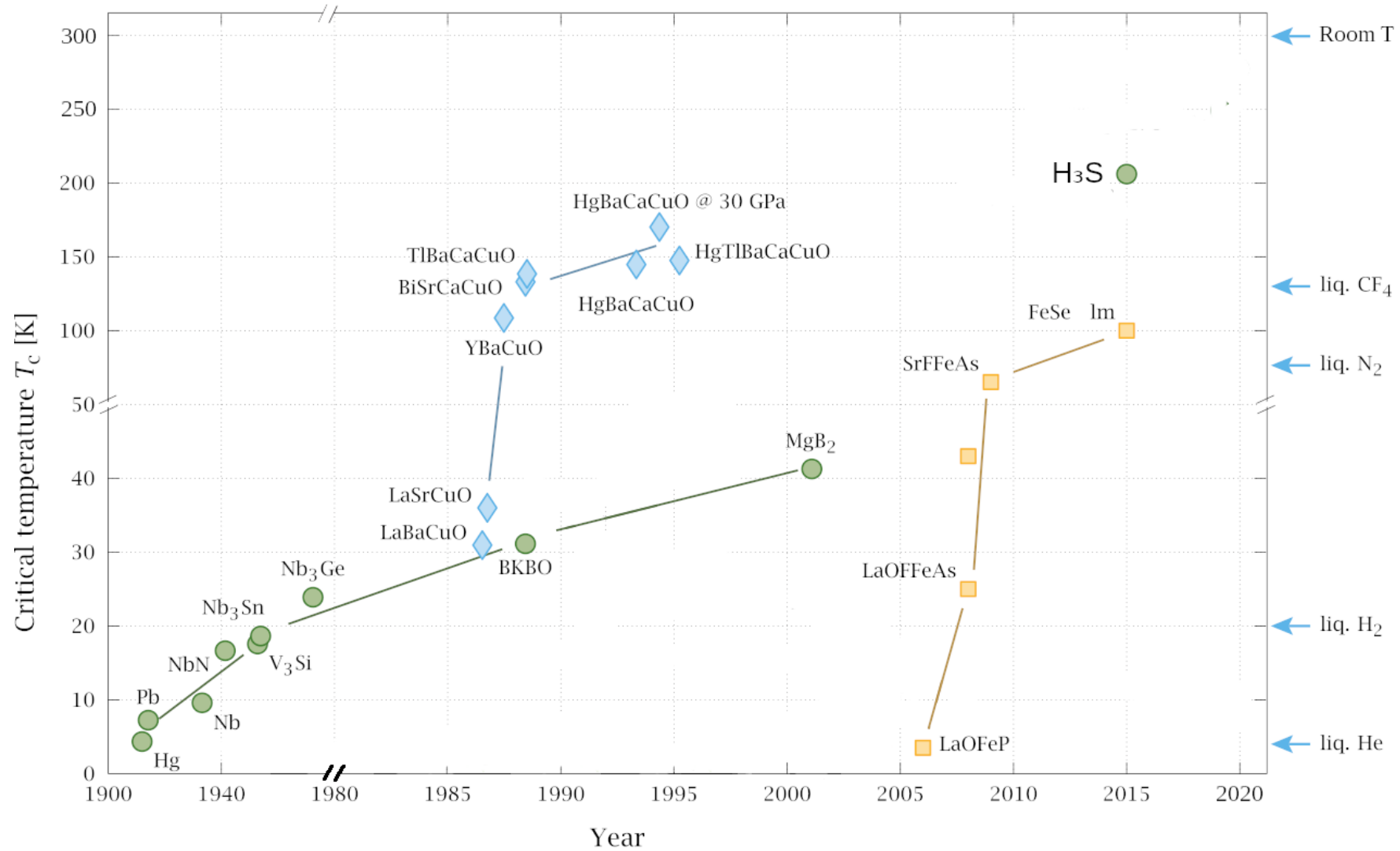
N. W. Ashcroft  
Phys. Rev. Lett. **21**, 1748 – Published 23 December 1968

152

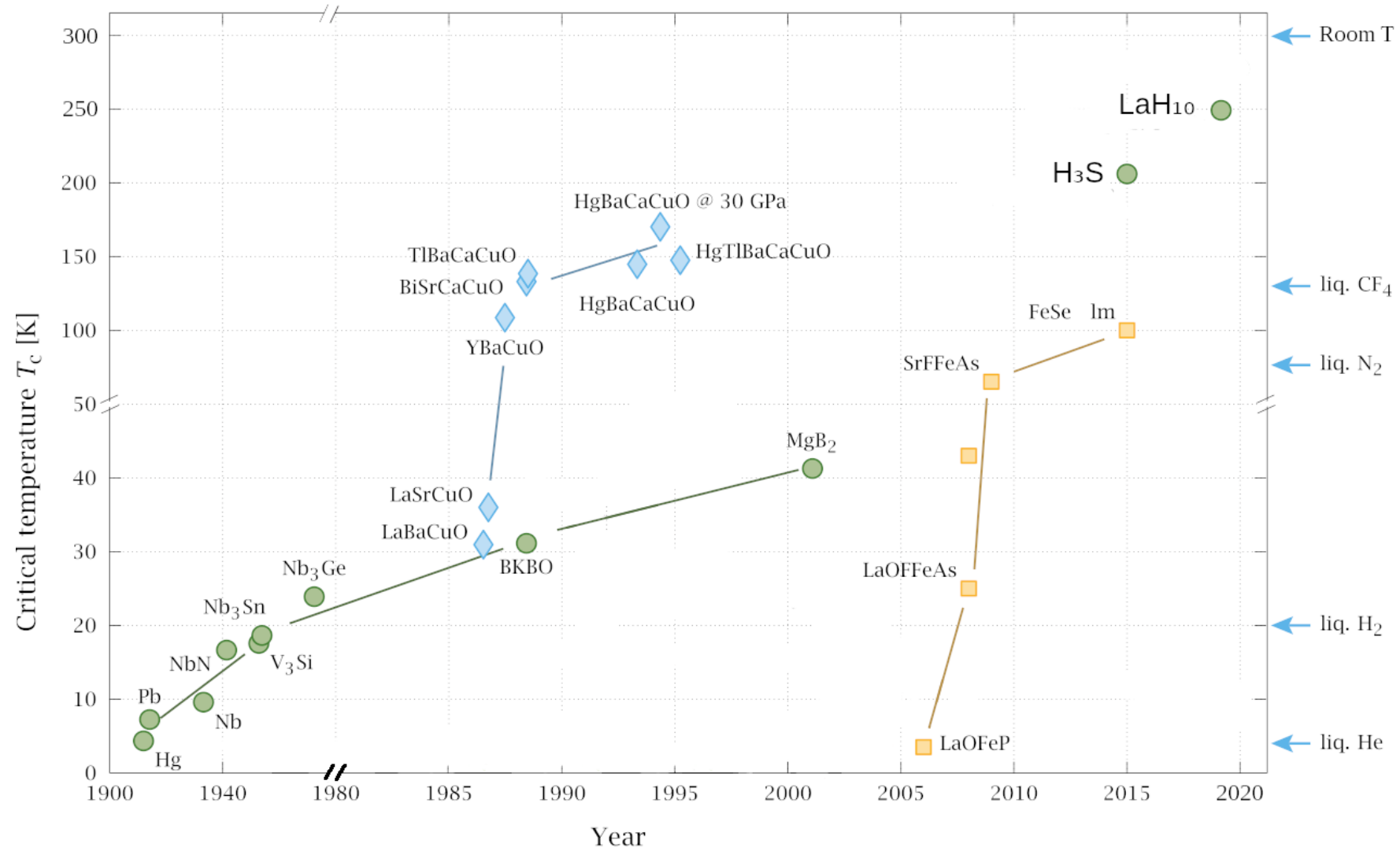
[Twitter](#) [Facebook](#) [Share](#) More

Article References Citing Articles (1,040) PDF Export Citation

# La supraconductivité: température critique



# La supraconductivité: température critique

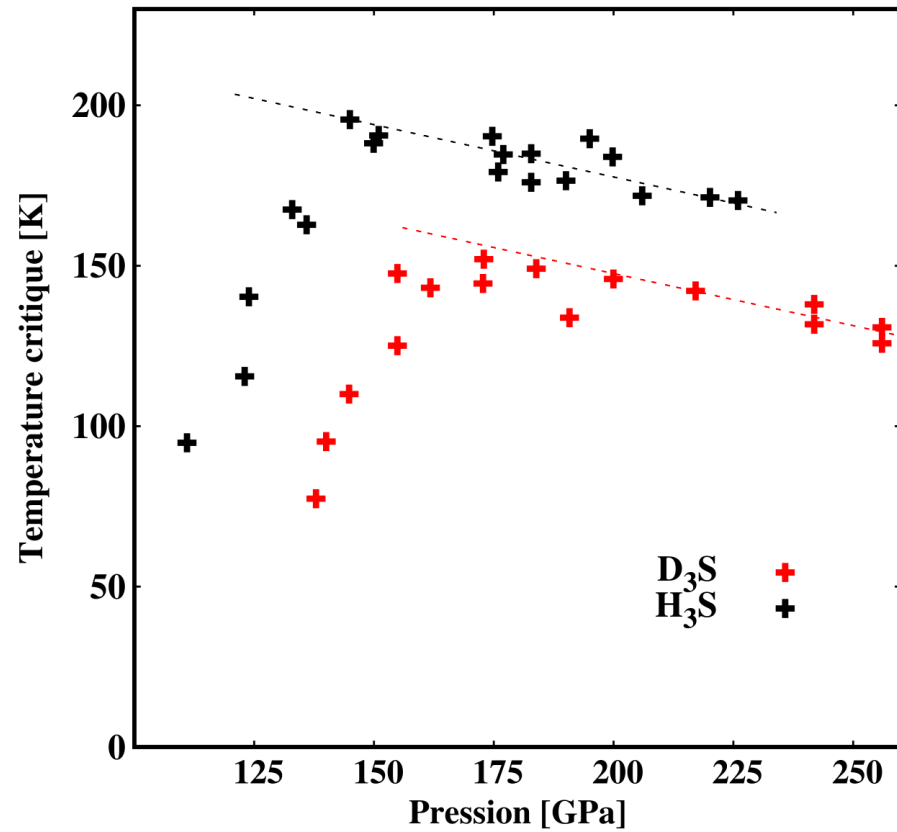


# Sulfure d'hydrogène ( $\text{H}_3\text{S}$ )

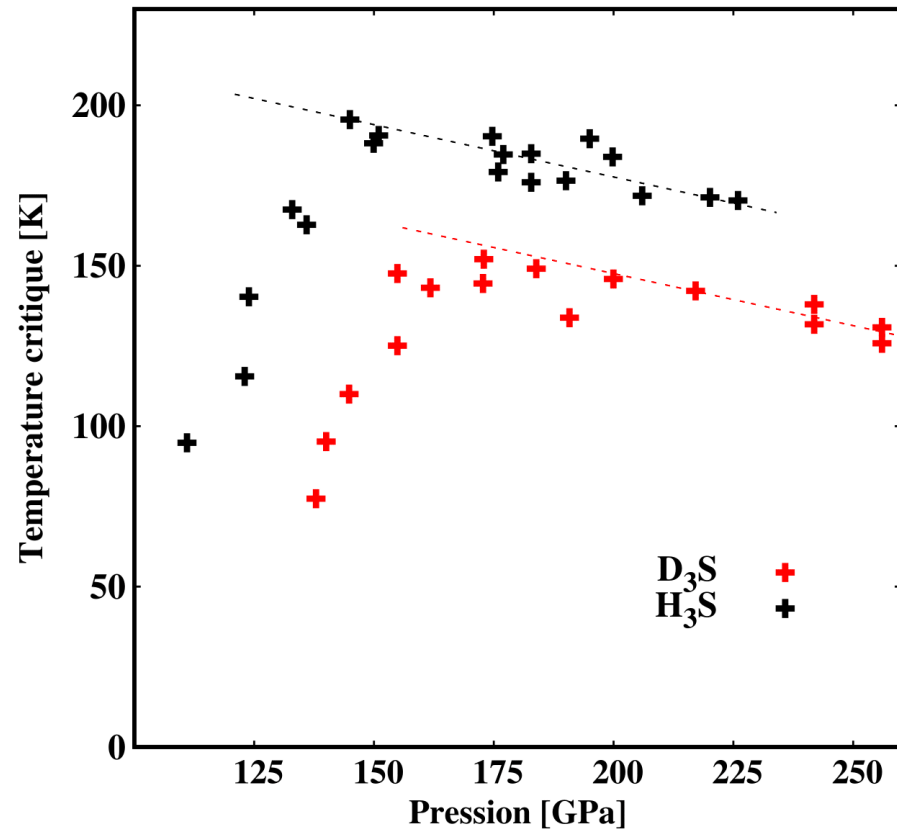
---



# Sulfure d'hydrogène ( $\text{H}_3\text{S}$ )

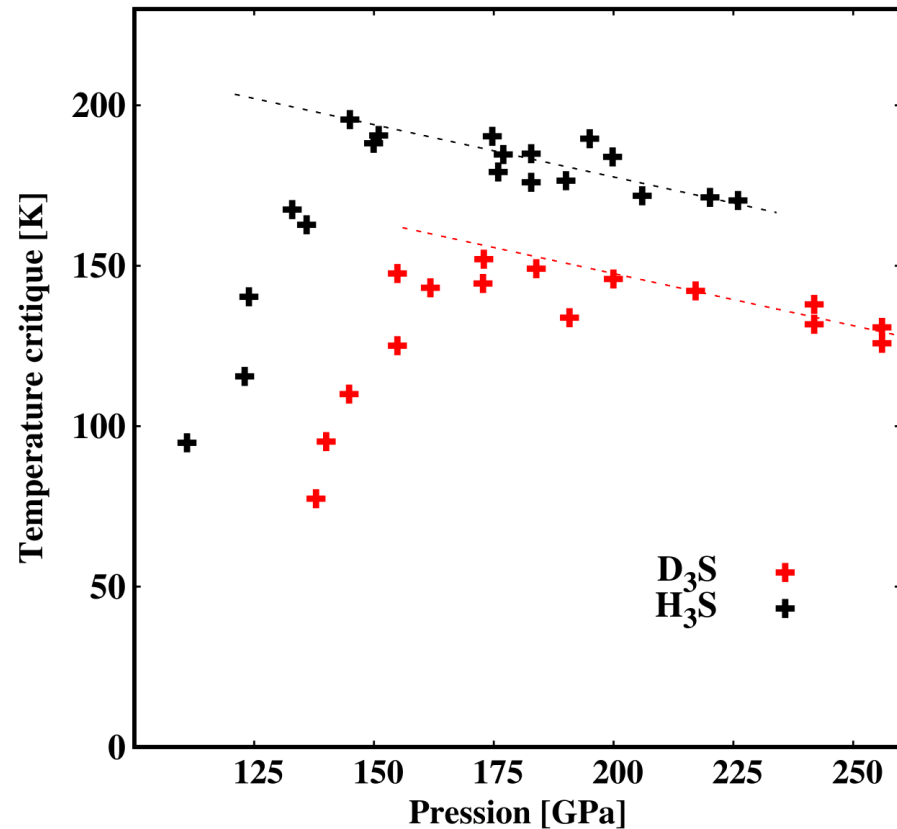


# Sulfure d'hydrogène ( $\text{H}_3\text{S}$ )



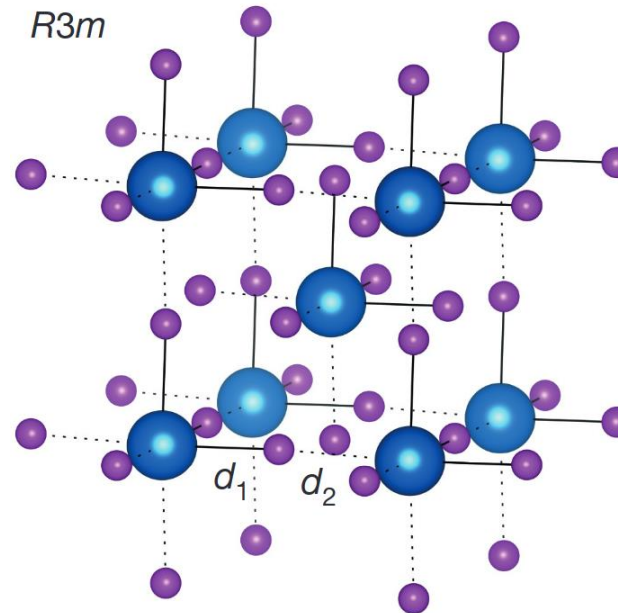
**Hypothèse** : Le maximum de  $T_c$  est la signature d'une transition de phase

# Sulfure d'hydrogène ( $\text{H}_3\text{S}$ )

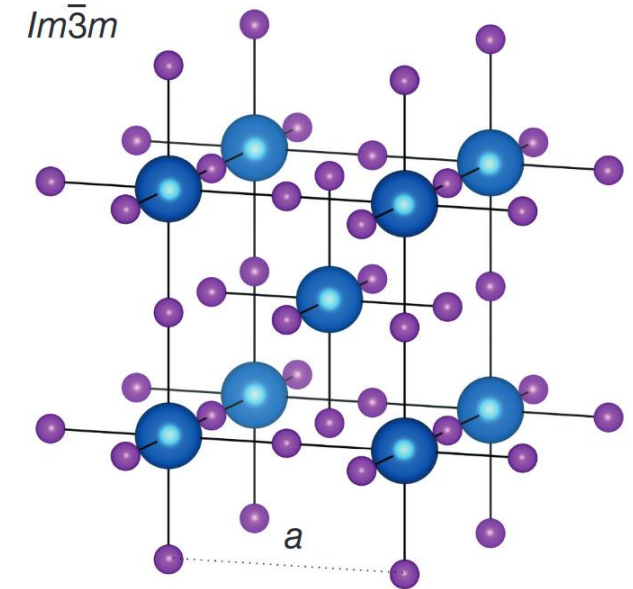


**Hypothèse** : Le maximum de  $T_c$  est la signature d'une transition de phase

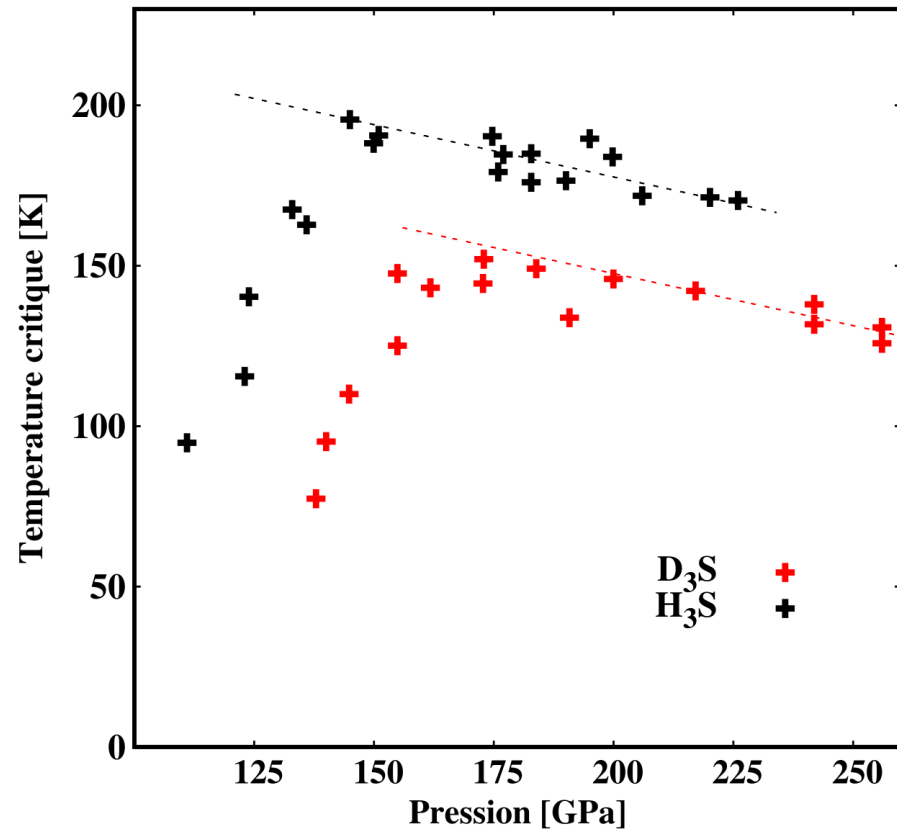
**Asymétrique**



**Symétrique**



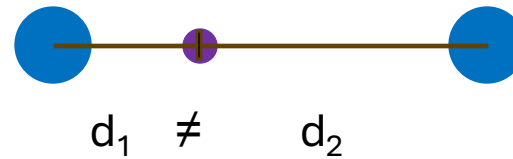
# Sulfure d'hydrogène ( $\text{H}_3\text{S}$ )



**Hypothèse** : Le maximum de  $T_c$  est la signature d'une transition de phase

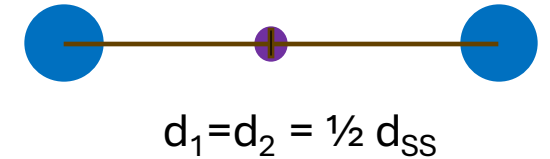
## Asymétrique

$R3m$



## Symétrique

$Im\bar{3}m$



# Un problème très quantique

---

# Un problème très quantique

$$H\Psi(\mathbf{r}_1 \dots, \mathbf{r}_N, \mathbf{q}_1, \dots, \mathbf{q}_M) = E\Psi(\mathbf{r}_1 \dots, \mathbf{r}_N, \mathbf{q}_1, \dots, \mathbf{q}_M),$$

# Un problème très quantique

$$H\Psi(\mathbf{r}_1 \dots, \mathbf{r}_N, \mathbf{q}_1, \dots, \mathbf{q}_M) = E\Psi(\mathbf{r}_1 \dots, \mathbf{r}_N, \mathbf{q}_1, \dots, \mathbf{q}_M),$$

$$\text{Avec } H = - \sum_i^N \frac{\hbar^2}{2m_e} \nabla_i^2 - \sum_I^M \frac{\hbar^2}{2M_I} \nabla_I^2 \\ + \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \left[ - \sum_i^N \sum_I^M \frac{Z_I}{|\mathbf{r}_i - \mathbf{q}_I|} + \frac{1}{2} \sum_i^N \sum_{j \neq i}^N \frac{1}{|\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j|} + \frac{1}{2} \sum_I^M \sum_{I \neq J}^M \frac{Z_I Z_J}{|\mathbf{q}_I - \mathbf{q}_J|} \right].$$

# Un problème très quantique

$$H\Psi(\mathbf{r}_1 \dots, \mathbf{r}_N, \mathbf{q}_1, \dots, \mathbf{q}_M) = E\Psi(\mathbf{r}_1 \dots, \mathbf{r}_N, \mathbf{q}_1, \dots, \mathbf{q}_M),$$

$$\text{Avec } H = - \sum_i^N \frac{\hbar^2}{2m_e} \nabla_i^2 - \sum_I^M \frac{\hbar^2}{2M_I} \nabla_I^2 \\ + \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \left[ - \sum_i^N \sum_I^M \frac{Z_I}{|\mathbf{r}_i - \mathbf{q}_I|} + \frac{1}{2} \sum_i^N \sum_{j \neq i}^N \frac{1}{|\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j|} + \frac{1}{2} \sum_I^M \sum_{I \neq J}^M \frac{Z_I Z_J}{|\mathbf{q}_I - \mathbf{q}_J|} \right].$$

Approximation de Born-Oppenheimer:

$$\Psi(\mathbf{R}, \mathbf{Q}) = \psi_{\mathbf{Q}}(\mathbf{R})\chi(\mathbf{Q})$$



# Contribution électronique

# Contribution électronique

---

Qualité de la description électronique très importante. Plusieurs approches:

# Contribution électronique

---

Qualité de la description électronique très importante. Plusieurs approches:

- ***Density Functional Theory (DFT)*** : Peu coûteuse mais comprend beaucoup d'approximations.

# Contribution électronique

---

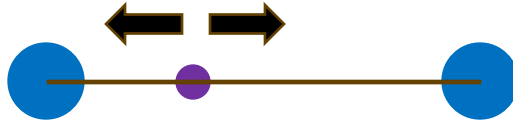
Qualité de la description électronique très importante. Plusieurs approches:

- ***Density Functional Theory (DFT)*** : Peu coûteuse mais comprend beaucoup d'approximations.
- ***Approche explicite Quantum Monte Carlo (QMC)***: Coûteuse mais précise.

# Contribution électronique

Qualité de la description électronique très importante. Plusieurs approches:

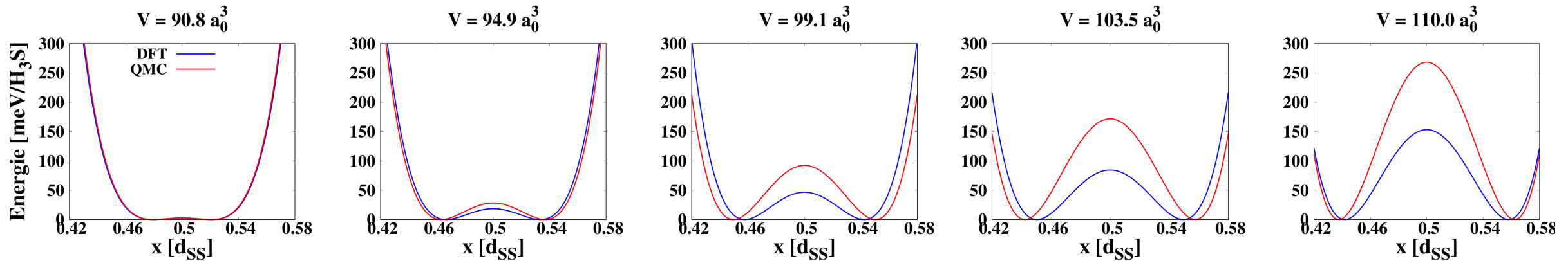
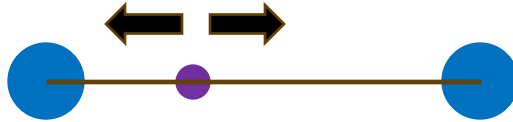
- ***Density Functional Theory (DFT)*** : Peu coûteuse mais comprend beaucoup d'approximations.
- ***Approche explicite Quantum Monte Carlo (QMC)***: Coûteuse mais précise.



# Contribution électronique

Qualité de la description électronique très importante. Plusieurs approches:

- **Density Functional Theory (DFT)** : Peu coûteuse mais comprend beaucoup d'approximations.
- **Approche explicite Quantum Monte Carlo (QMC)**: Coûteuse mais précise.



# Contribution du noyau

---

- **Pourquoi tenir compte de l'aspect quantique du noyau?**

# Contribution du noyau

- **Pourquoi tenir compte de l'aspect quantique du noyau?**  $\lambda = \sqrt{\frac{2\pi\hbar^2}{mk_B T}} \approx \text{quelques } \text{\AA}$



# Contribution du noyau

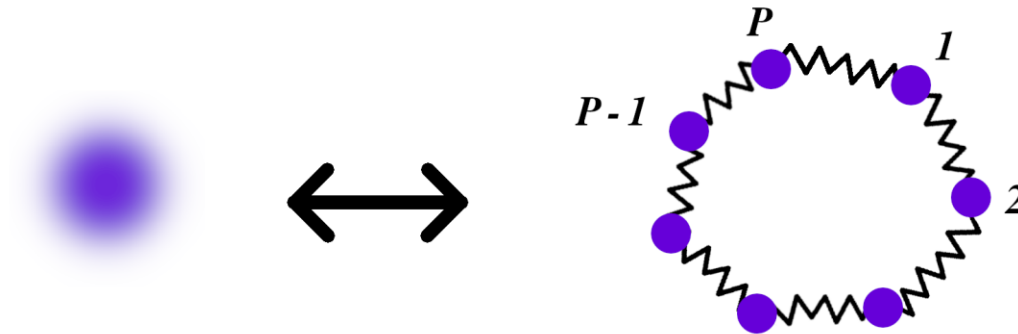
- Pourquoi tenir compte de l'aspect quantique du noyau?  $\lambda = \sqrt{\frac{2\pi\hbar^2}{mk_B T}} \approx \text{quelques } \text{\AA}$

→ *Path Integral Molecular Dynamics*

# Contribution du noyau

- Pourquoi tenir compte de l'aspect quantique du noyau?  $\lambda = \sqrt{\frac{2\pi\hbar^2}{mk_B T}} \approx \text{quelques } \text{\AA}$

→ *Path Integral Molecular Dynamics*



# Contribution du noyau

- Pourquoi tenir compte de l'aspect quantique du noyau?  $\lambda = \sqrt{\frac{2\pi\hbar^2}{mk_B T}} \approx$  quelques Å

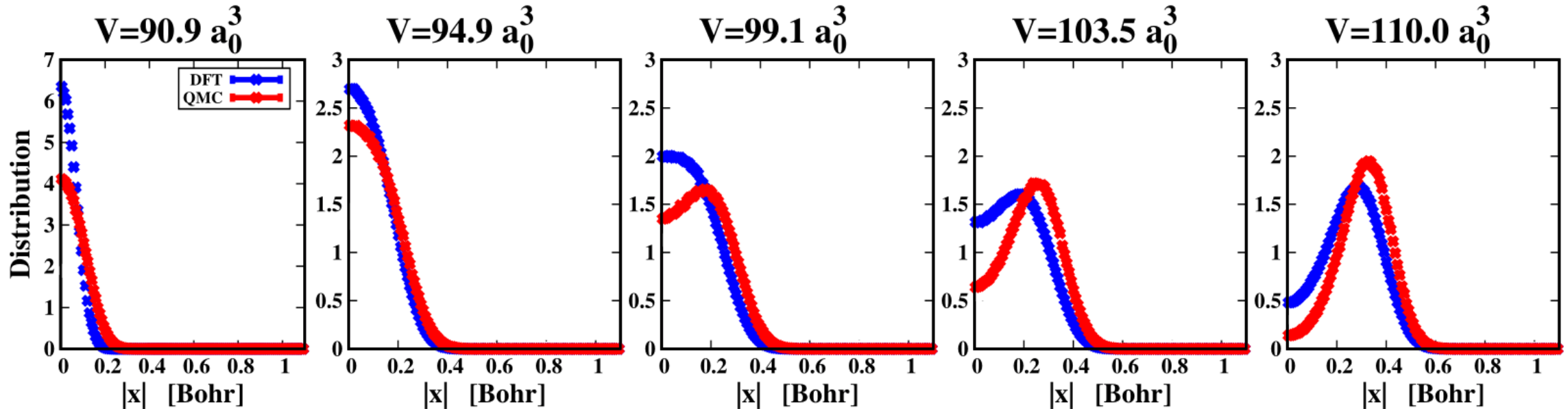
→ *Path Integral Molecular Dynamics*



# Contribution du noyau

- Pourquoi tenir compte de l'aspect quantique du noyau?  $\lambda = \sqrt{\frac{2\pi\hbar^2}{mk_B T}} \approx$  quelques Å

→ *Path Integral Molecular Dynamics*



# Principaux résultats

---

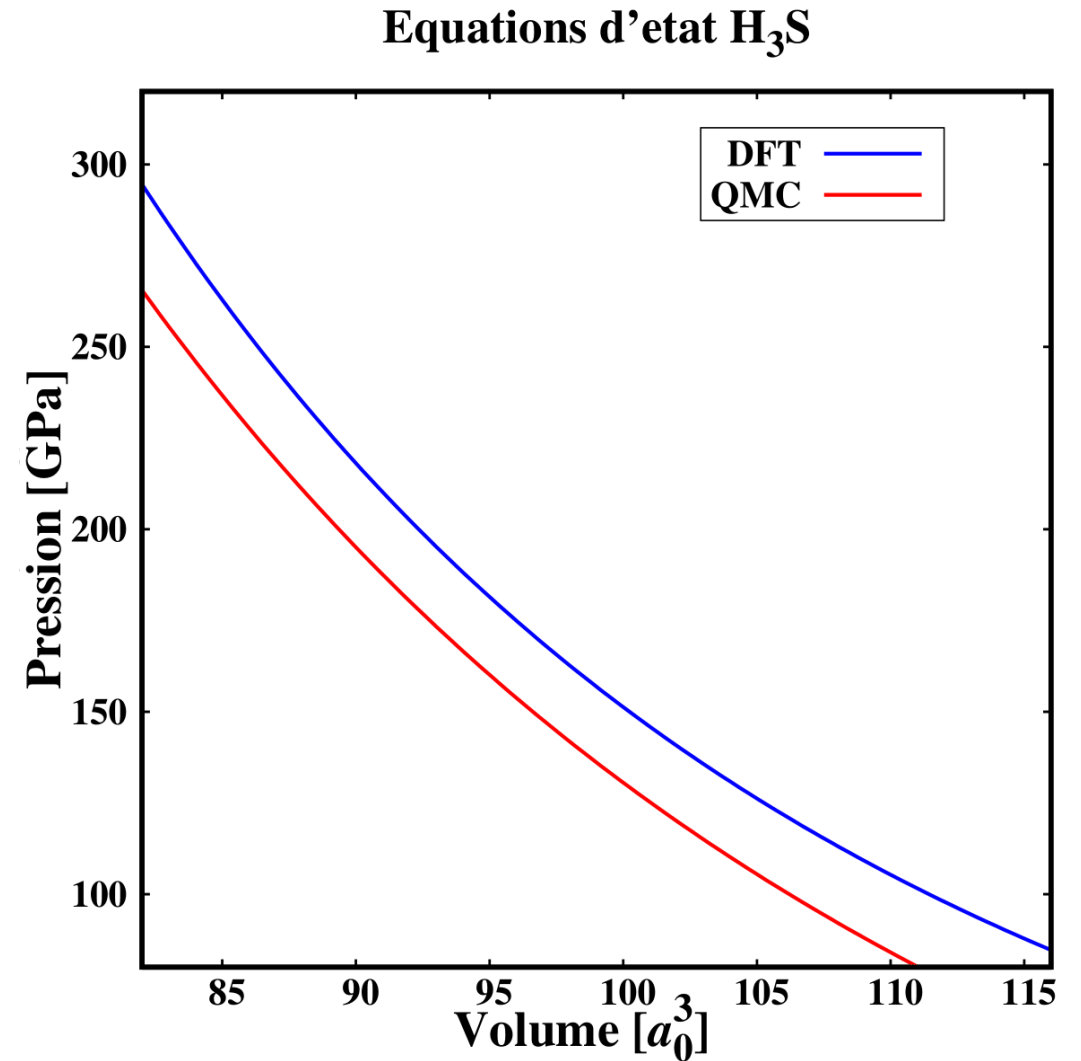
# Principaux résultats

---

- En utilisant l'équation d'état  $P(V)$ , il est possible de calculer la pression de transition

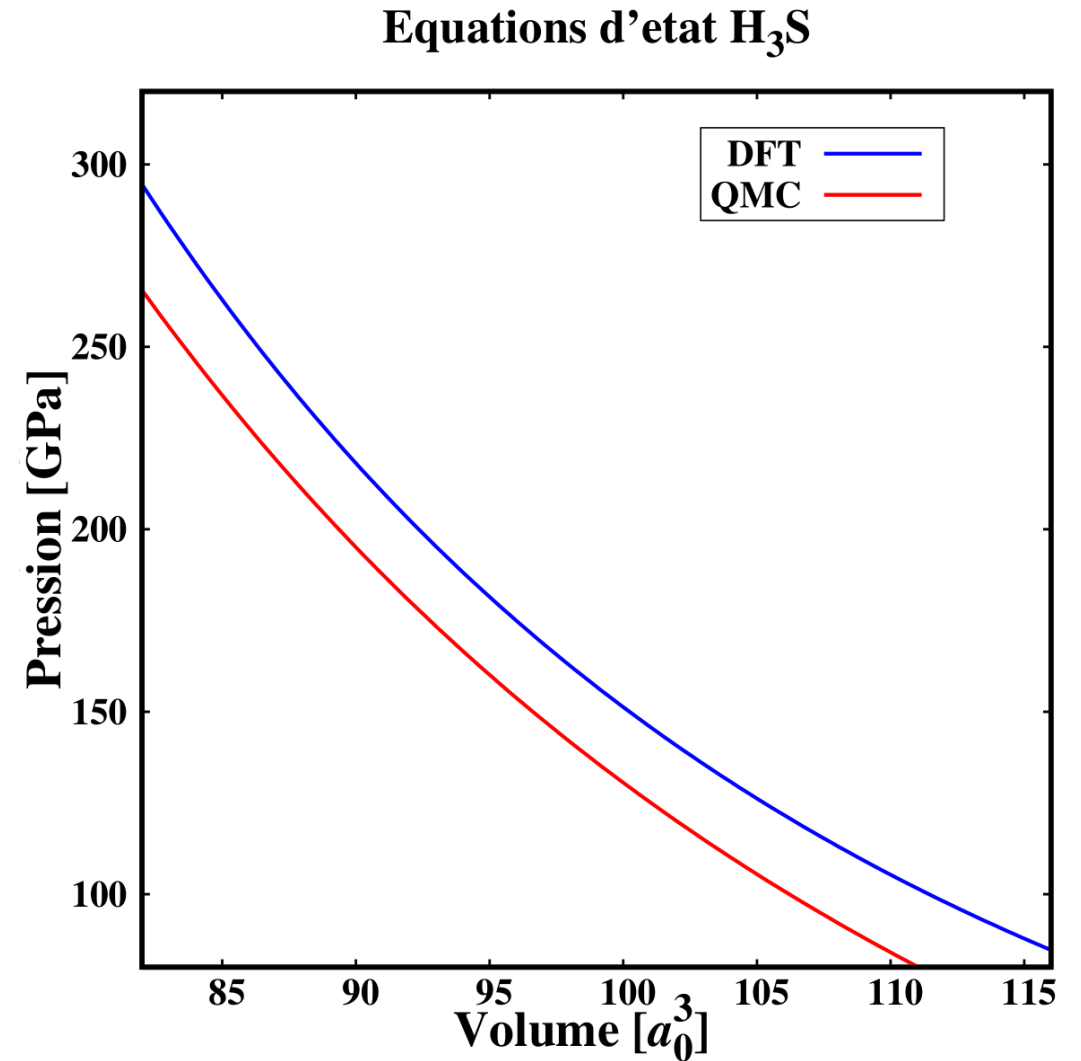
# Principaux résultats

- En utilisant l'équation d'état  $P(V)$ , il est possible de calculer la pression de transition



# Principaux résultats

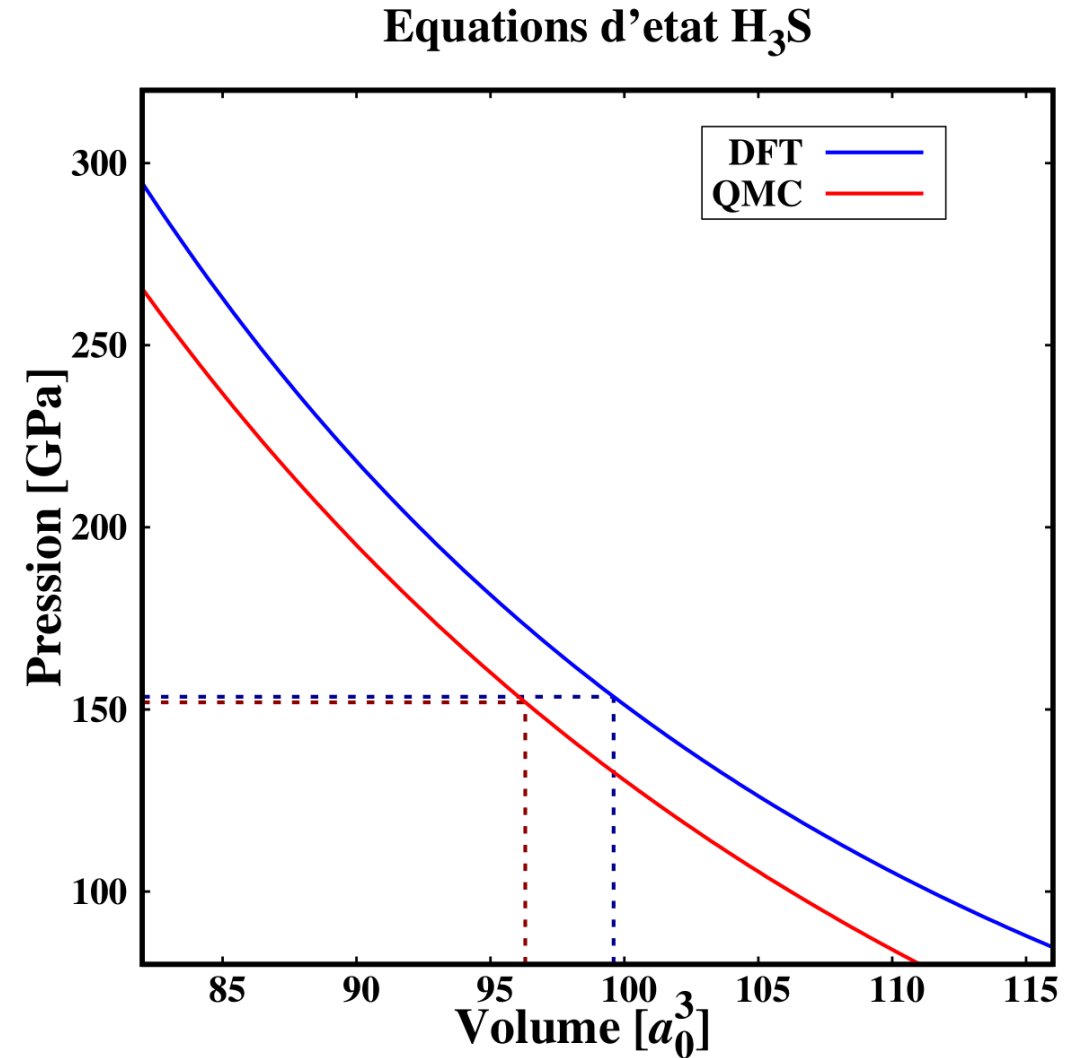
- En utilisant l'équation d'état  $P(V)$ , il est possible de calculer la pression de transition
- Pression de transition indépendante de la méthode électronique (DFT ou QMC)





# Principaux résultats

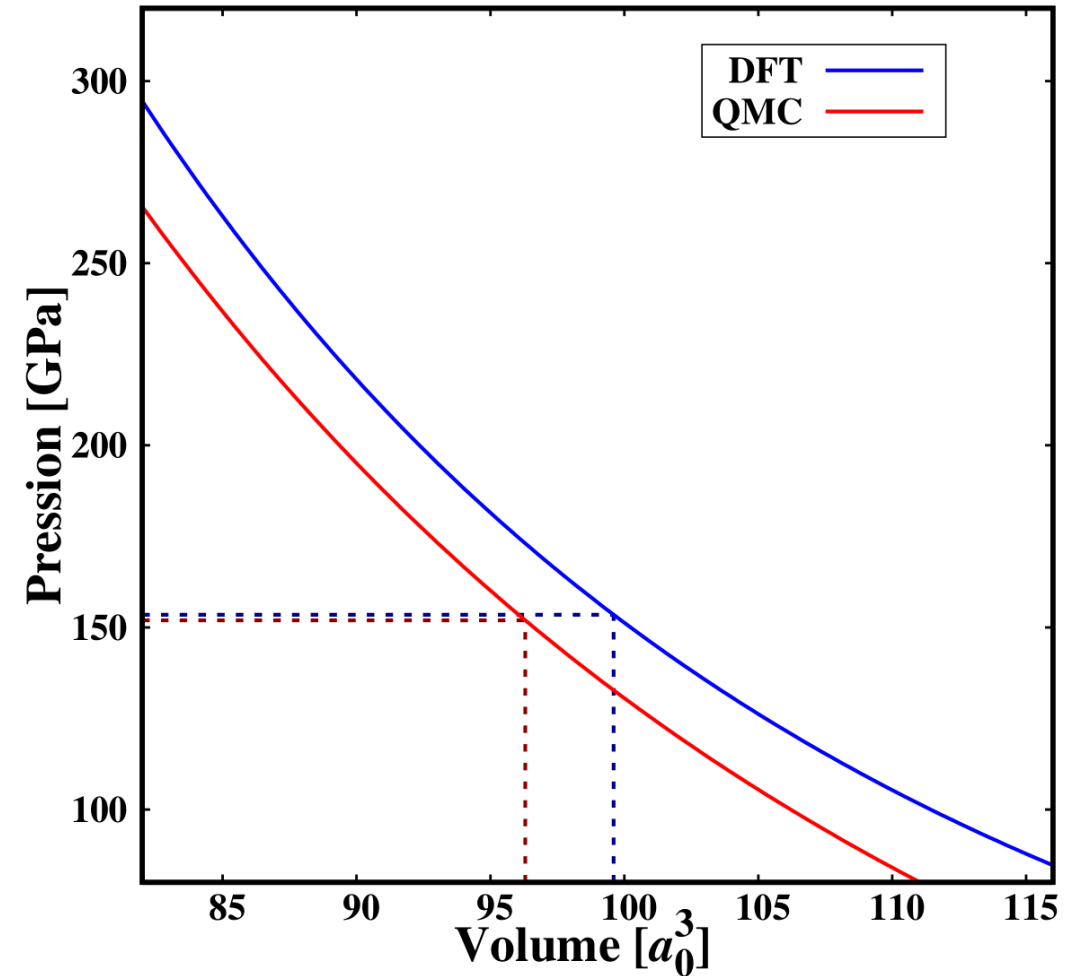
- En utilisant l'équation d'état  $P(V)$ , il est possible de calculer la pression de transition
- Pression de transition indépendante de la méthode électronique (DFT ou QMC)



# Principaux résultats

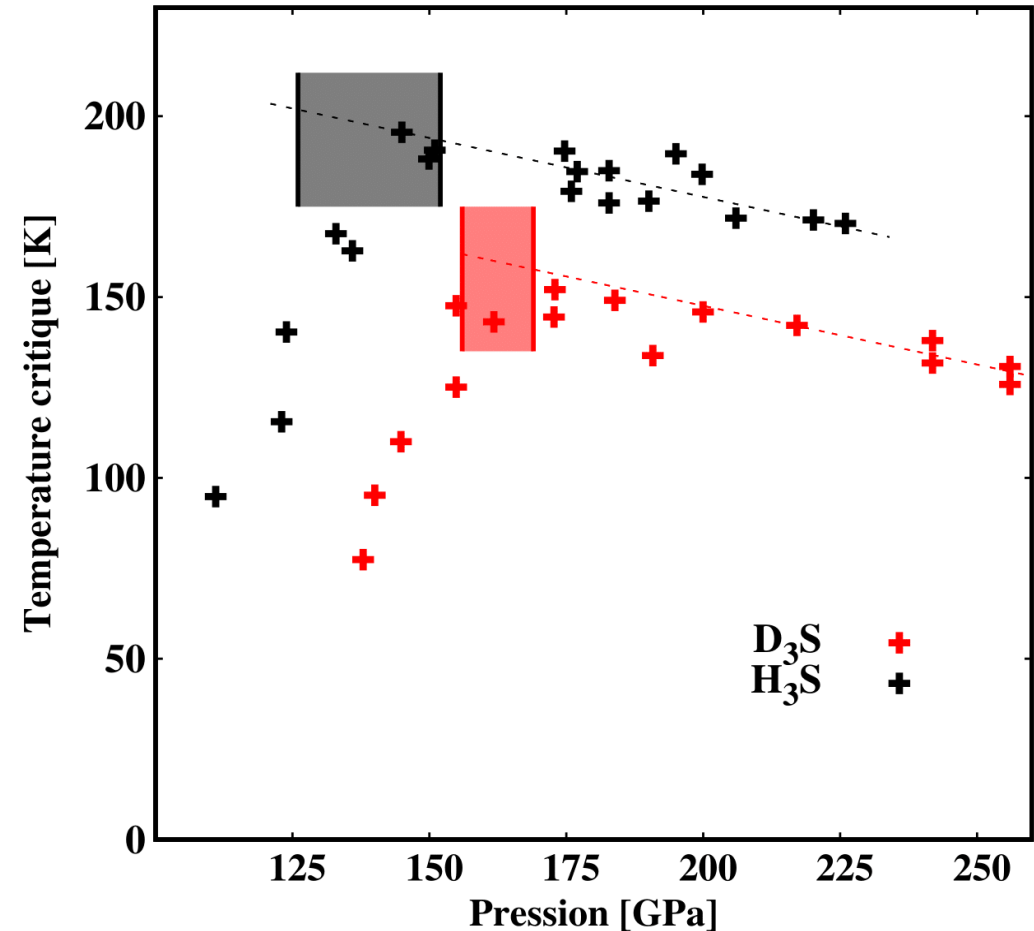
- En utilisant l'équation d'état  $P(V)$ , il est possible de calculer la pression de transition
- Pression de transition indépendante de la méthode électronique (DFT ou QMC)
- Avec la PIMD, on retrouve la pression de transition correspondant au maximum de  $T_c$  pour  $H_3S$  et  $D_3S$

Equations d'état  $H_3S$



# Principaux résultats

- En utilisant l'équation d'état  $P(V)$ , il est possible de calculer la pression de transition
- Pression de transition indépendante de la méthode électronique (DFT ou QMC)
- Avec la PIMD, on retrouve la pression de transition correspondant au maximum de  $T_c$  pour  $H_3S$  et  $D_3S$



---

## **II. Mise en perspective didactique**

# Activité: Energie, puissance et ordres de grandeur (2nde générale)

---

**Constat:** Les notions liées à l'énergie et ses ordres de grandeur sont très utilisées mais peu comprises

**Objectif:** Différencier énergie et puissance, comprendre leur origine, le sens physique de ces quantités et savoir les comparer

# Activité: Energie, puissance et ordres de grandeur (2nde générale)

**Constat:** Les notions liées à l'énergie et ses ordres de grandeur sont très utilisées mais peu comprises

**Objectif:** Différencier énergie et puissance, comprendre leur origine, le sens physique de ces quantités et savoir les comparer



---

# **III. Missions d'enseignement et mise en perspective didactique**

---

# Projets expérimentaux (L3)

---

**Principe:** Recherche en semi-autonomie sur un thème précis (exemple: *ferrofluides, effet Pockels*) articulée entre expérience et travail bibliographique.

**Difficultés:** Orientation sur le choix des expériences, des références bibliographiques. Prise de recul et interprétation des résultats.



# Projets expérimentaux (L3)

---

**Principe:** Recherche en semi-autonomie sur un thème précis (exemple: *ferrofluides, effet Pockels*) articulée entre expérience et travail bibliographique.

**Difficultés:** Orientation sur le choix des expériences, des références bibliographiques. Prise de recul et interprétation des résultats.

## Ce que j'ai appris

---

- Demander aux élèves de trouver ou concevoir un protocole de TP
- Faire le lien entre le cours, parfois abstrait, et les expériences concrètes
- Être critique et engager des discussions sur les résultats

# Physique numérique (L3)

---

**Principe:** Enseigner les bases de la programmation orientée pour la recherche scientifique (C++) et mise en application.

**Difficultés:** Niveaux très différents entre les étudiants. Modélisation d'un problème physique.

# Physique numérique (L3)

---

**Principe:** Enseigner les bases de la programmation orientée pour la recherche scientifique (C++) et mise en application.

**Difficultés:** Niveaux très différents entre les étudiants. Modélisation d'un problème physique.

## Ce que j'ai appris

---

- Enseigner le code à des élèves (CPGE)
- Différenciation pédagogique
- Importance des modèles en physique

# Structure de la matière (L3)

---

**Principe:** TD et TP numérique en matière condensée

**Difficultés:** Mise en application des éléments de cours dans une situation plus proche des méthodes réels utilisées en recherche

# Structure de la matière (L3)

---

**Principe:** TD et TP numérique en matière condensée

**Difficultés:** Mise en application des éléments de cours dans une situation plus proche des méthodes réels utilisées en recherche

## Ce que j'ai appris

---

- Transmettre son expertise de manière intelligible
- Faire comprendre aux élèves l'importance des simulations en physique