



Laboratoire d'Étude du Rayonnement et de la Matière en Astrophysique



**REUNION INTERDISCIPLINAIRE SUR LE THEME
INTERACTION DE L'HYDROGENE AVEC DES
SURFACES**

Interaction et formation de l'hydrogène
moléculaire sur des surfaces de glace d'eau à très
basse température : expérience FORMOLISM .

Lionel Amiaud.

Observatoire de Paris.

Université de Cergy-Pontoise

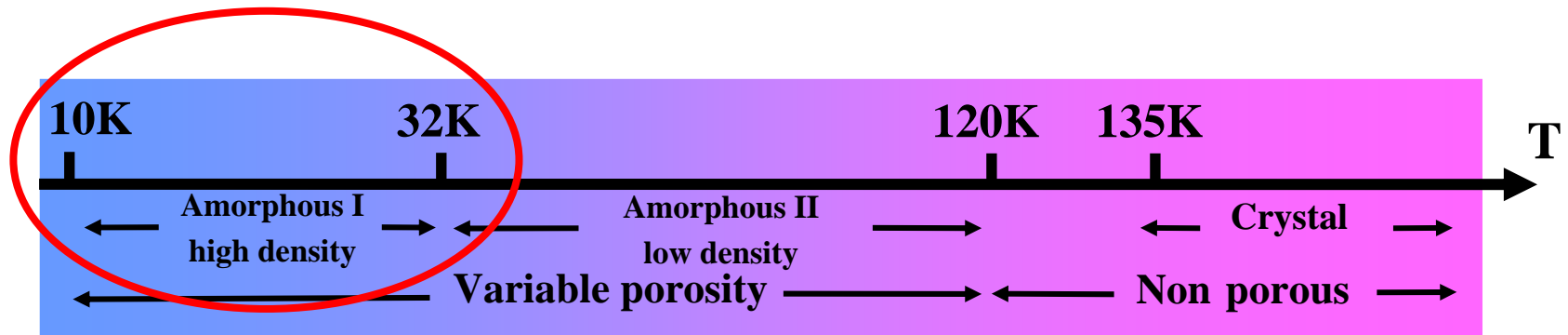
Interactions gaz-grain dans le milieu interstellaire

- **Formation d'hydrogène moléculaire** sur des surfaces d'intérêt astrophysique.
- Choix d'étudier la **glace d'eau**.
- Principe: Exposition de la **surface** à un **flux d'atomes H et D** puis mesure de la désorption de **molécules HD** (Vidali & al *J.PhConf.2005* et Hornekaer & al *Science 2003*)
- **Diversité** de la **morphologie** de la **glace d'eau** (Physisorption N_2 sur glace , Kimmel *J.Chem.Phys 2001*)
- La **morphologie** influence la **désorption** de l'hydrogène. La compréhension de cet effet permet de mieux contraindre le **taux de couverture en hydrogène** de la surface.
- Certaines interactions sur et/ou avec la surface peuvent dépendre du **taux de couverture** en hydrogène. (formation d'hydrogène moléculaire, temps de résidence, collage de certaines espèces, chimie...).

Le compréhension des processus **d'adsorption-désorption** peut améliorer notre interprétation des résultats d'études sur la **formation** et contraindre l'étude de certaines interactions de surface.

Glace d'eau

La morphologie de la glace d'eau formée par déposition depuis la phase gazeuse est déterminée par la température de la surface.

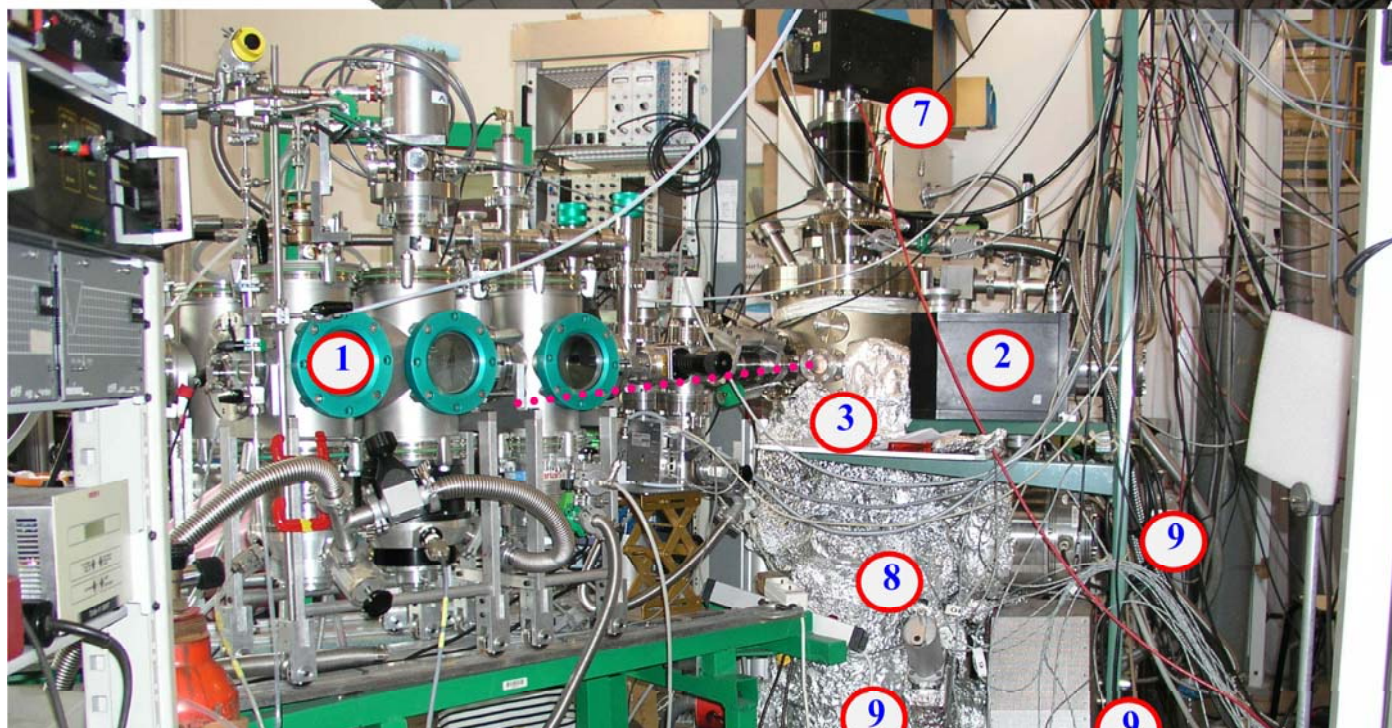
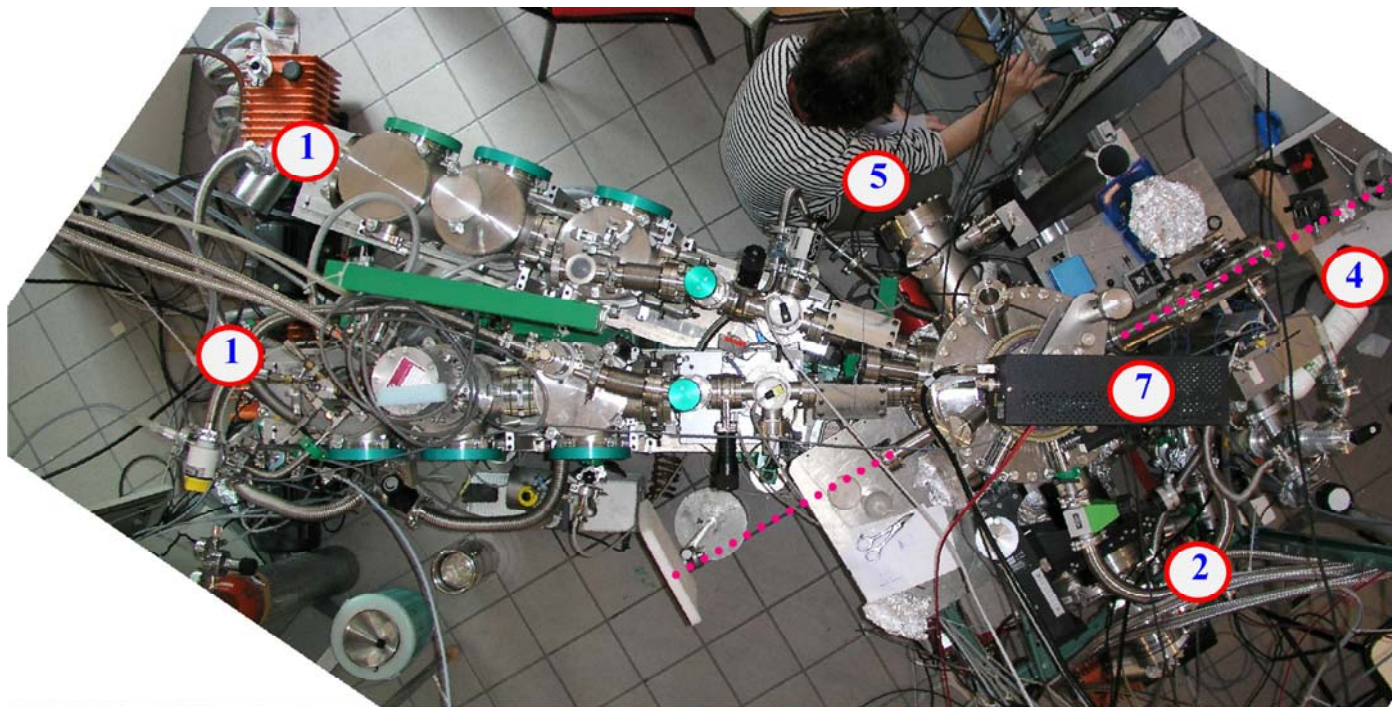


Physisorption de
l'hydrogène

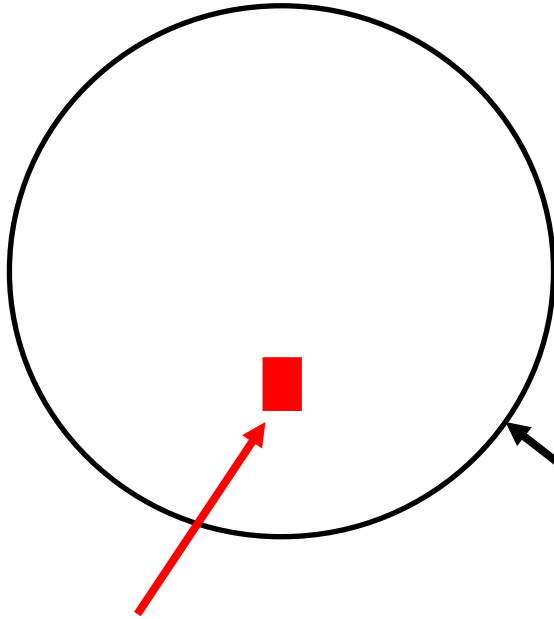
Schematic summary:

Kimmel JCP 2001, Jenniskens ApJ.1995

L'étude de la désorption de l'hydrogène permet de sonder des morphologies inaccessible avec d'autres espèces.



Dispositif expérimental



Porte échantillon

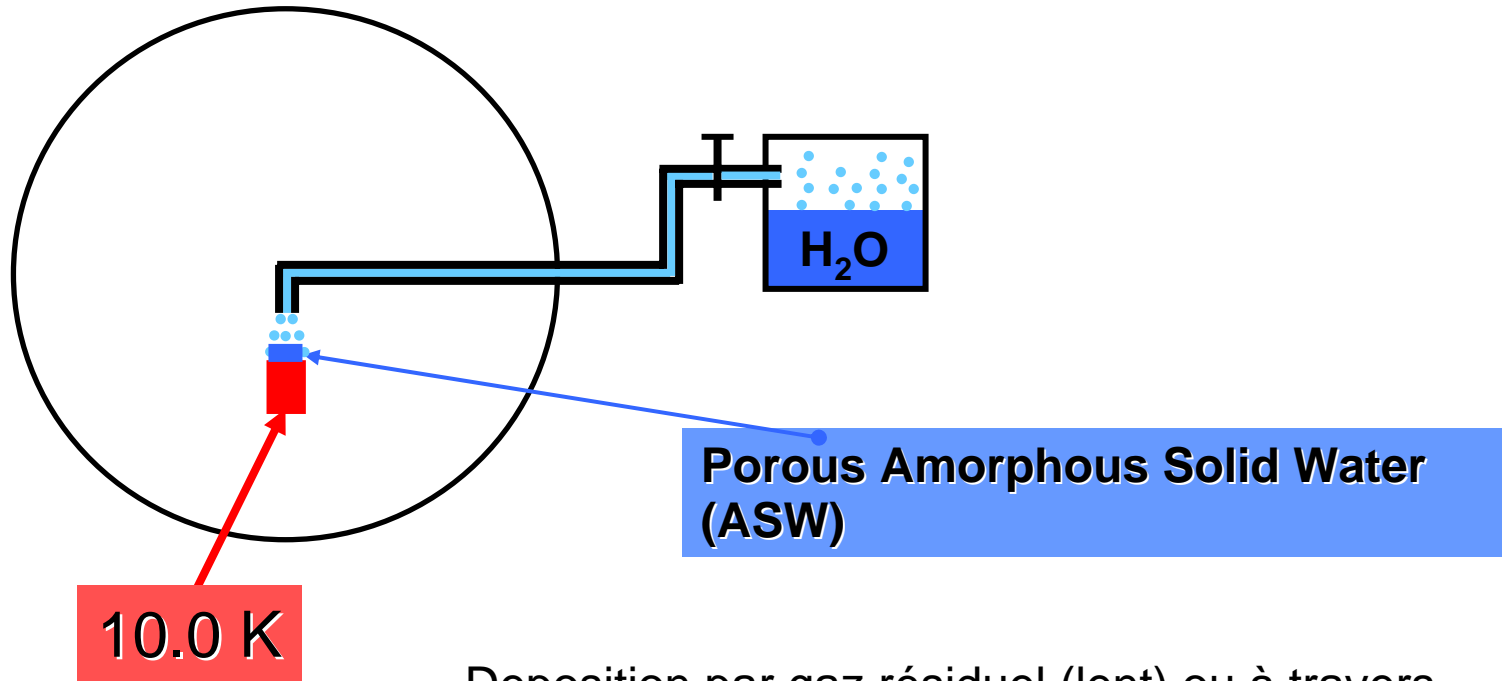
$T_s = 8-800\text{K}$

Nettoyage: 800 K

Chambre Ultra High Vacuum

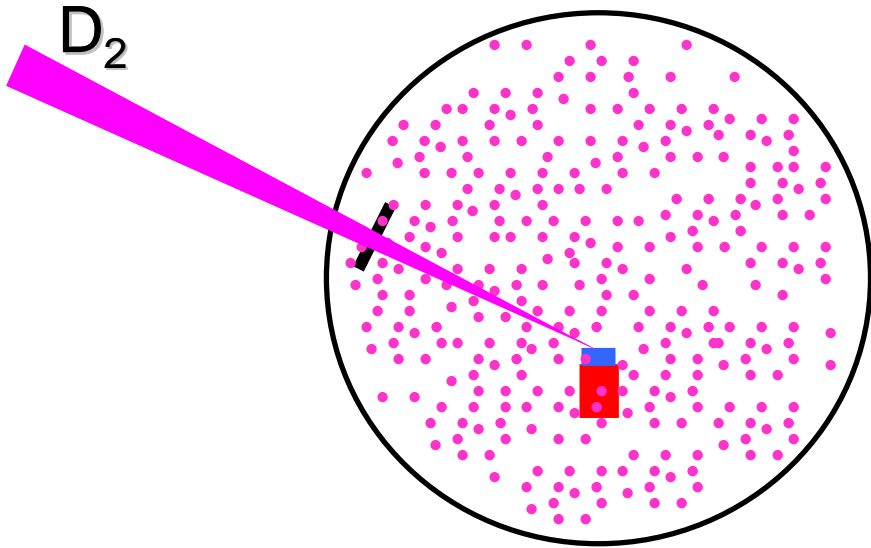
($<10^{-10}$ mbar, $n \sim 10^6 \text{ cm}^{-3}$)

Formation de la glace



Deposition par gaz résiduel (lent) ou à travers les micro-capillaire (rapide) 0.003-0.4 bicouches/sec (BL/s) à 10 K

Thermaly Programmed Desorption Experiments (TPD)

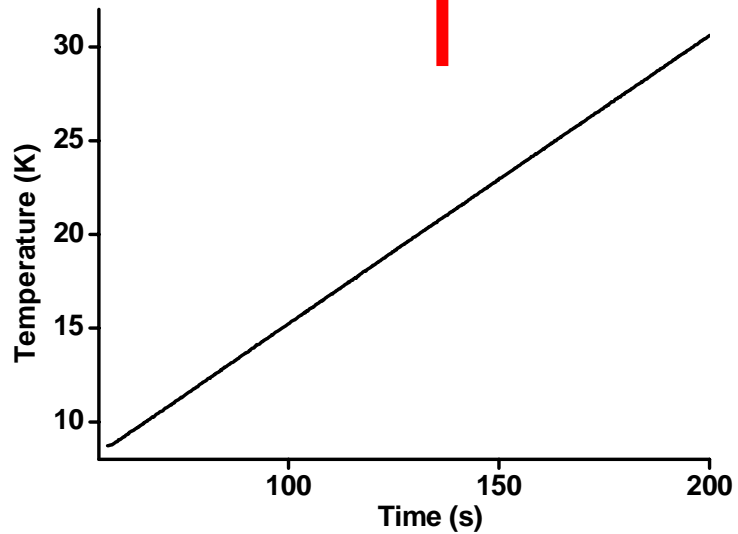
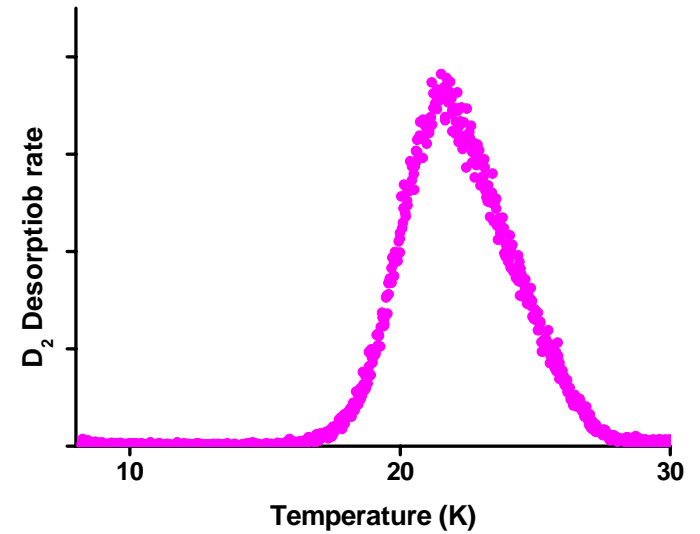
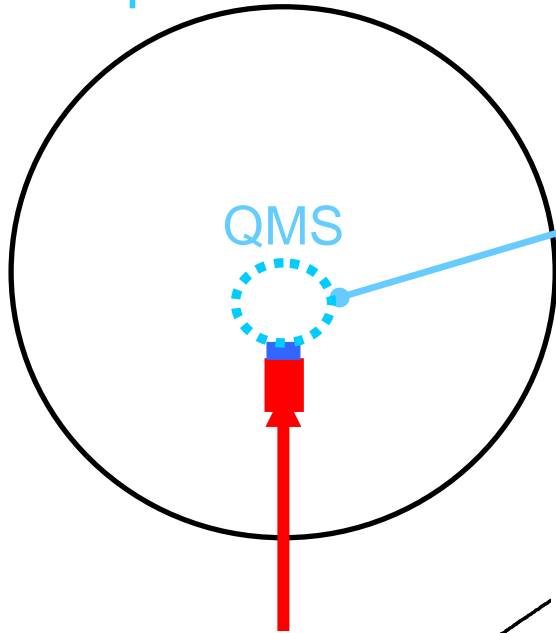


Adsorption du gaz:

- $H_2(D_2)$ 0.001-0.15 monolayers/sec (ML/s)

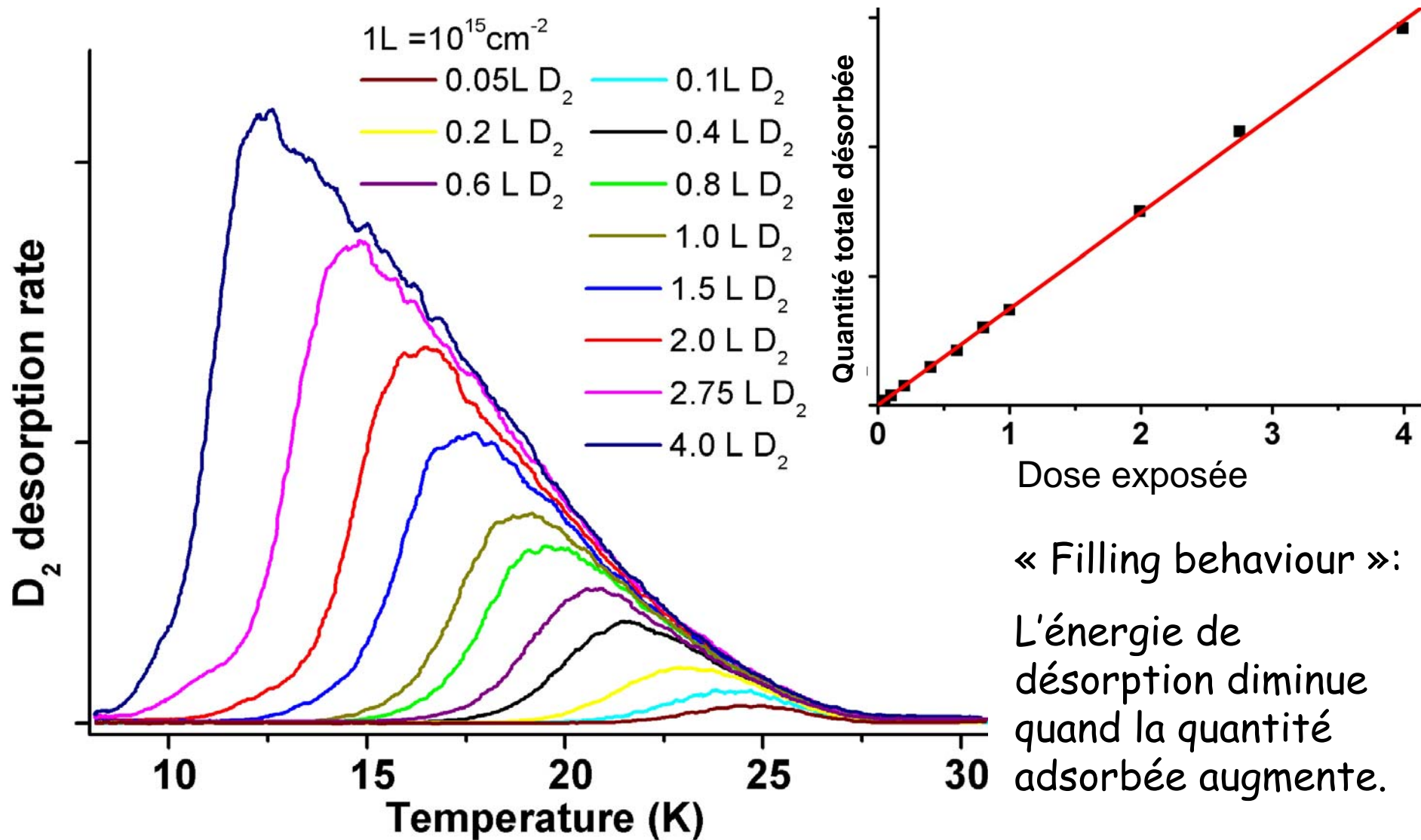
TPD

Quadrupole Mass Spectrometer



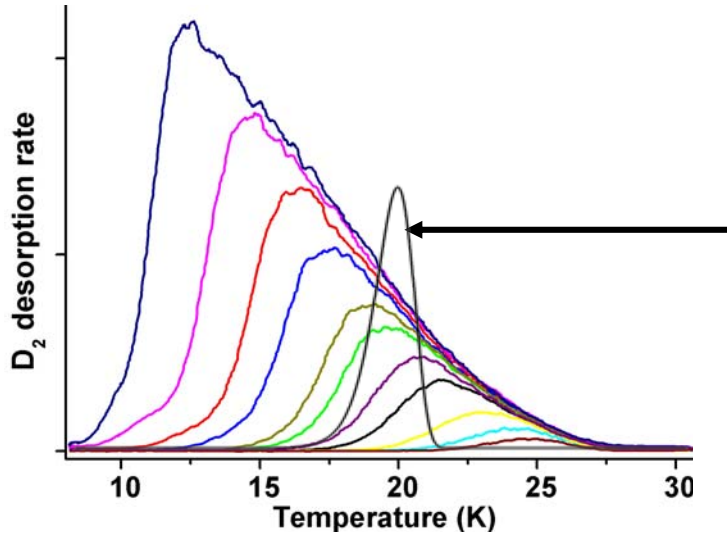
Rampe de chauffage: 10K/min

Résultats sur la glace amorphe poreuse ($T < 32\text{K}$)



A partir de ces TPD, nous cherchons à accéder à la distribution des énergies de désorption.

Interprétation



Equation de Polanyi-Wigner

$$\frac{dN}{dt} = - A(N)N \exp\left(-\frac{E(N)}{kT}\right)$$

N: taux de couverture (cm⁻²)

A: Facteur d'efficacité E: énergie de désorption

Méthode graphe d'Arrhenius:

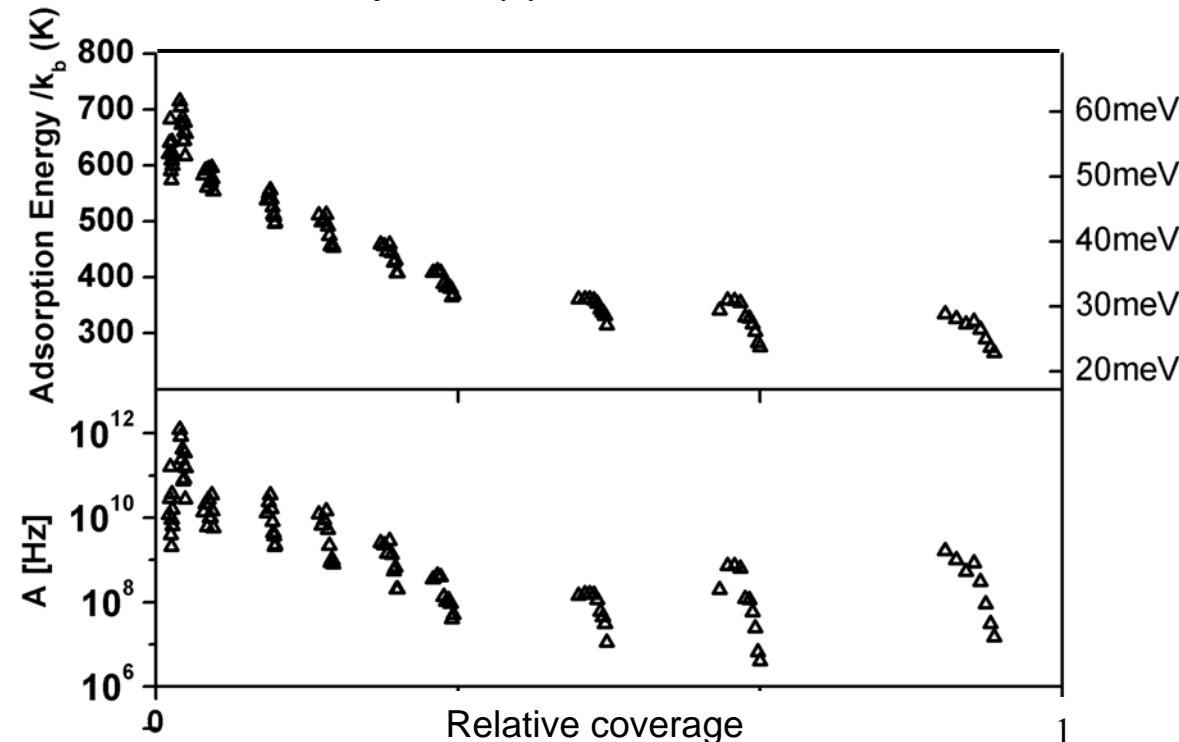
• **Principe:**

Comparer les taux de désorption de différentes courbes à même taux de couverture

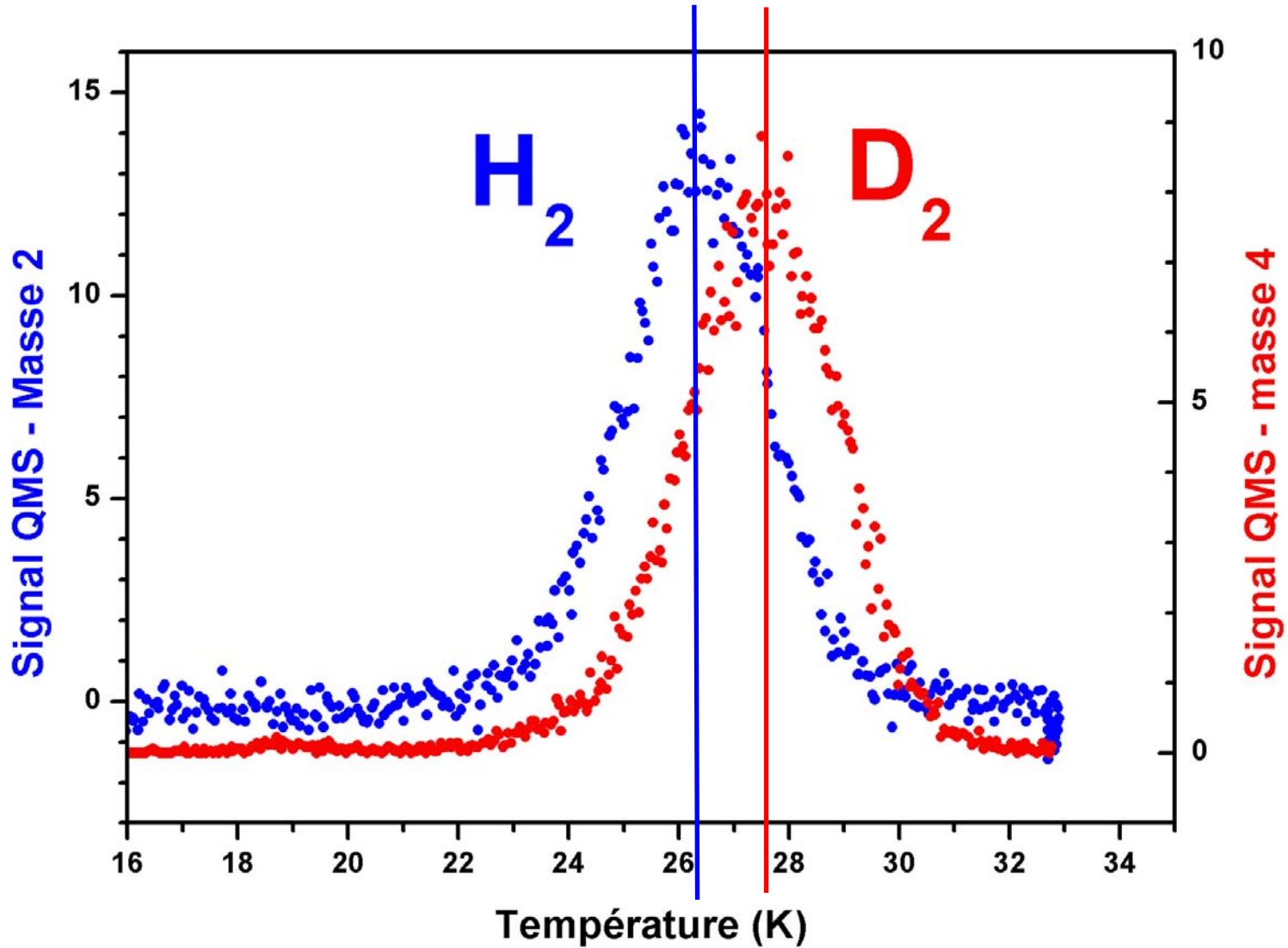
• A(N) et E(N) fortement corrélés.

• A assez petit et très variable.

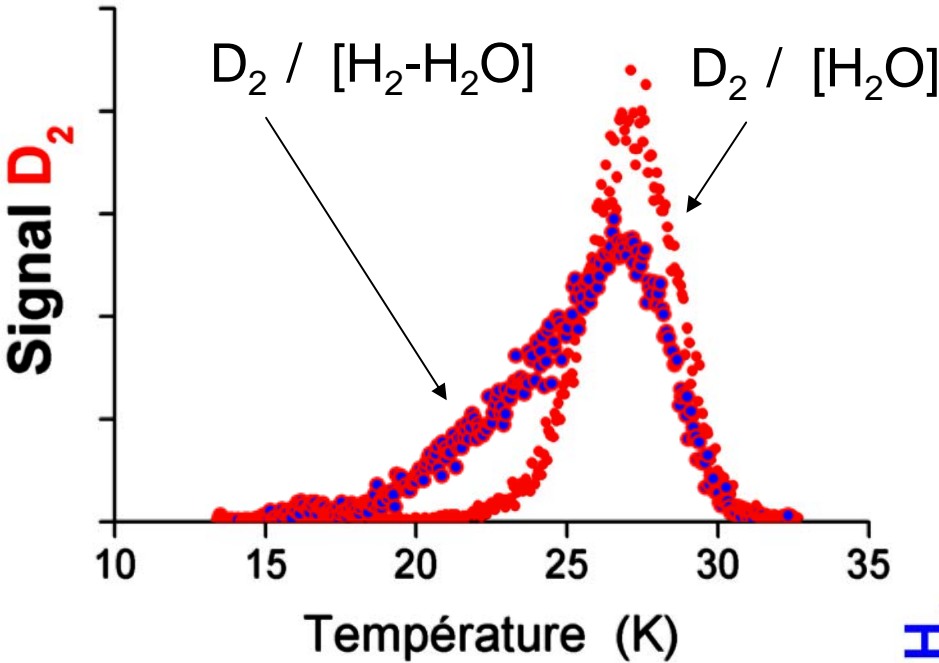
• Gamme d'énergie relativement grande.



Effet isotopique TPD de H₂ et D₂ sur 340 BL de ASW poreuse

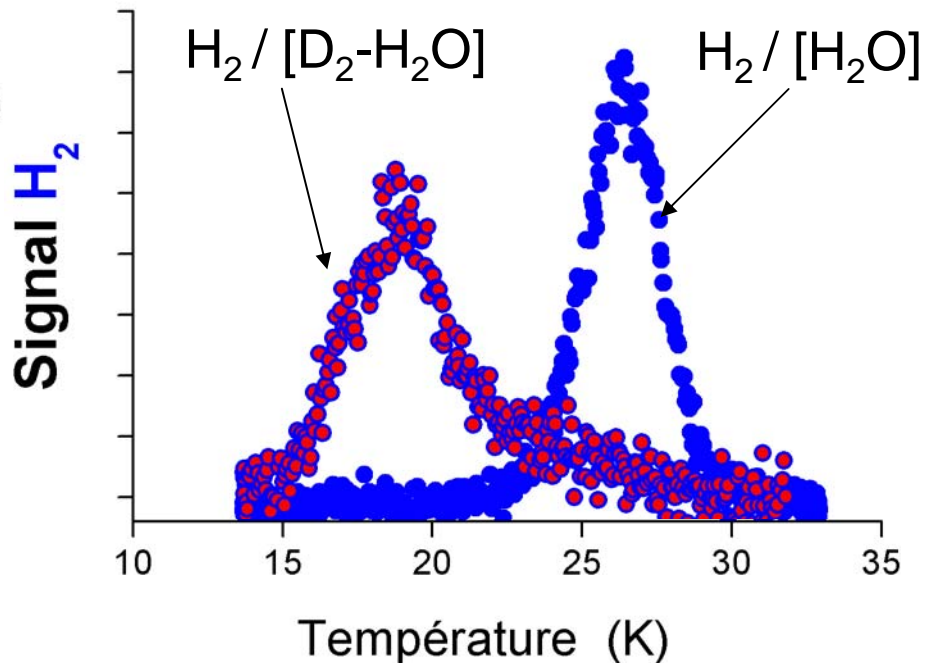


Effet isotopique. TPD H₂ et D₂ co-adsorbés



La méthode du graphe d'Arrhenius permet de remonter aux énergies de liaison mais ne peut pas expliquer cet effet.

D₂ occupe les sites les plus liants

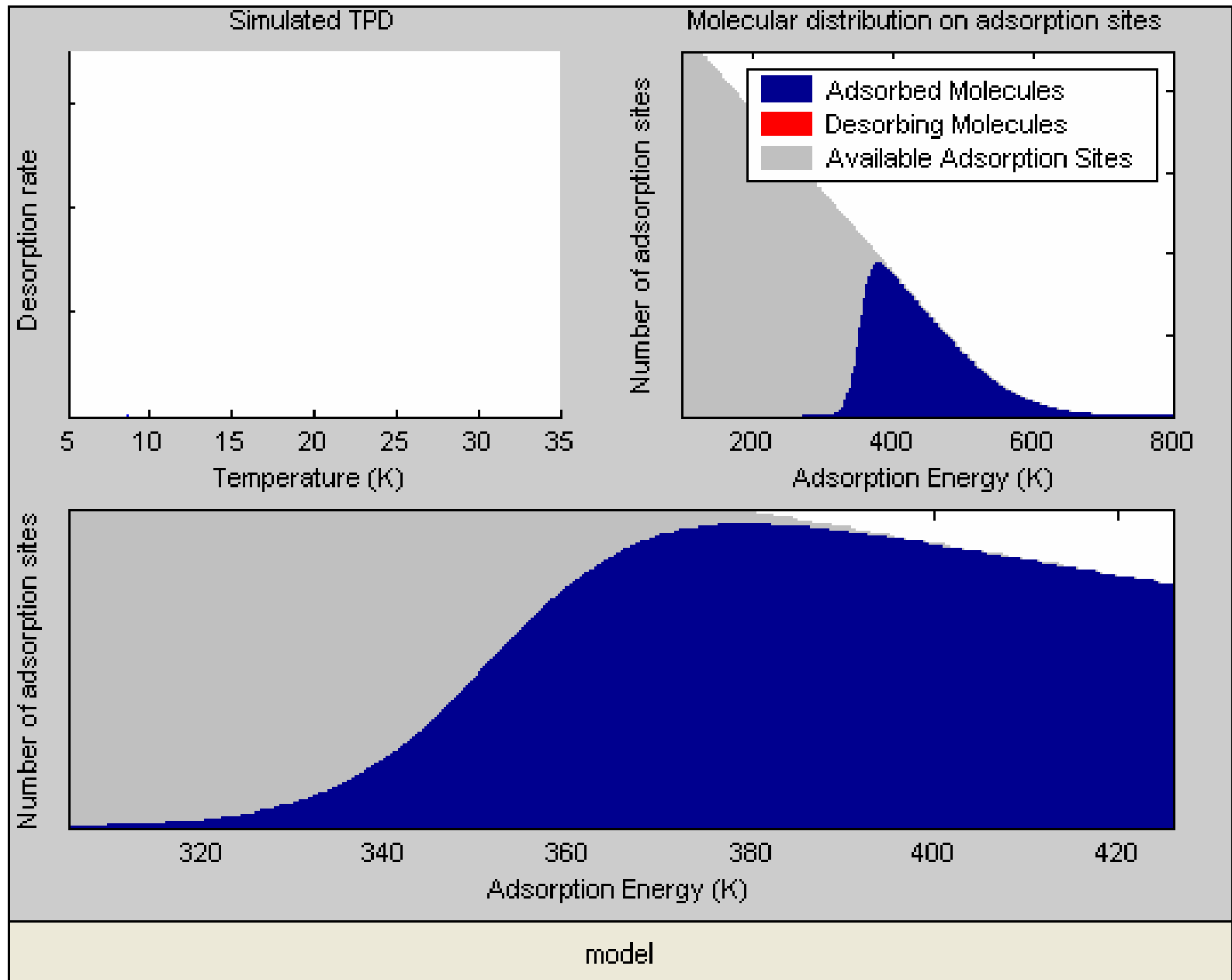


(Dulieu et al, 2005 Chem. Phys. Letters)

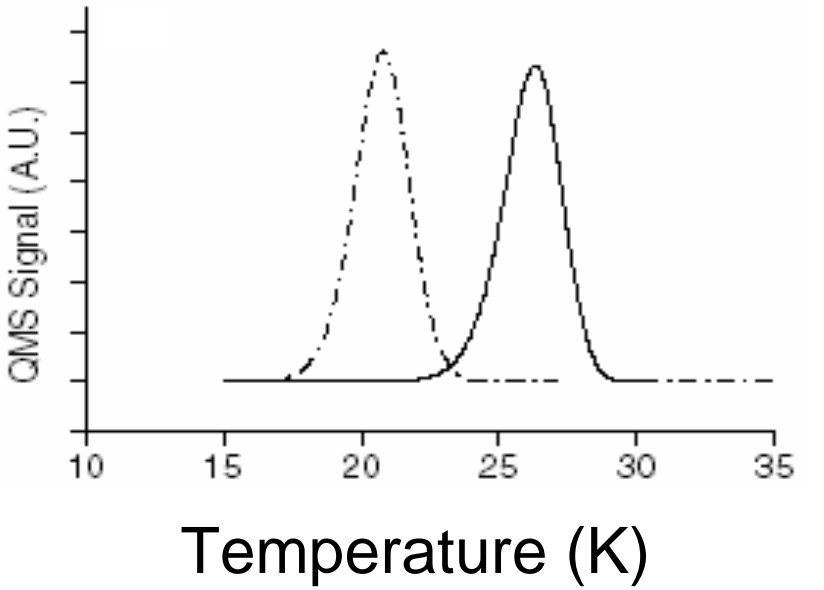
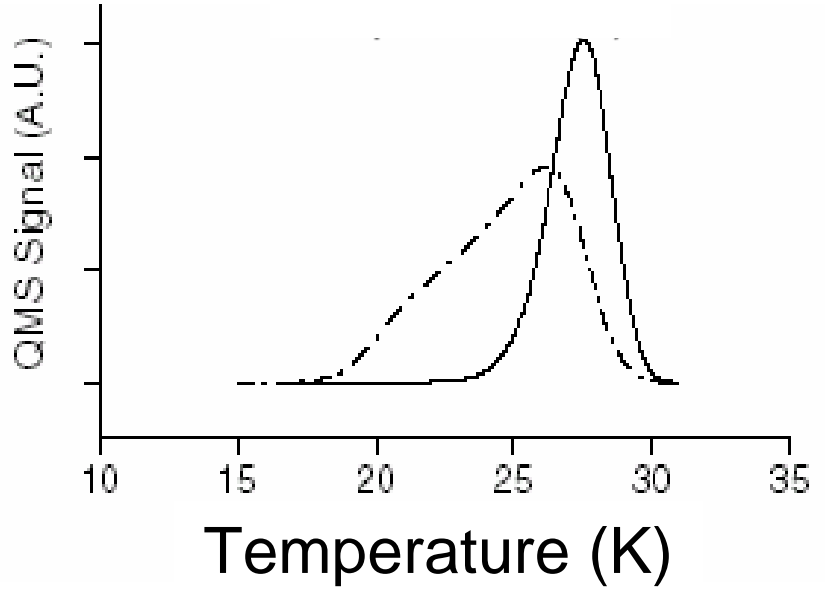
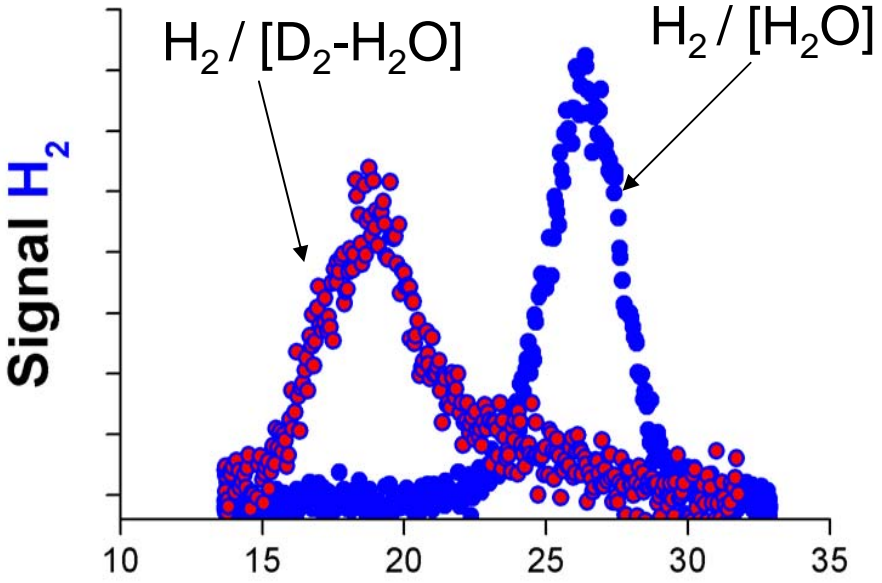
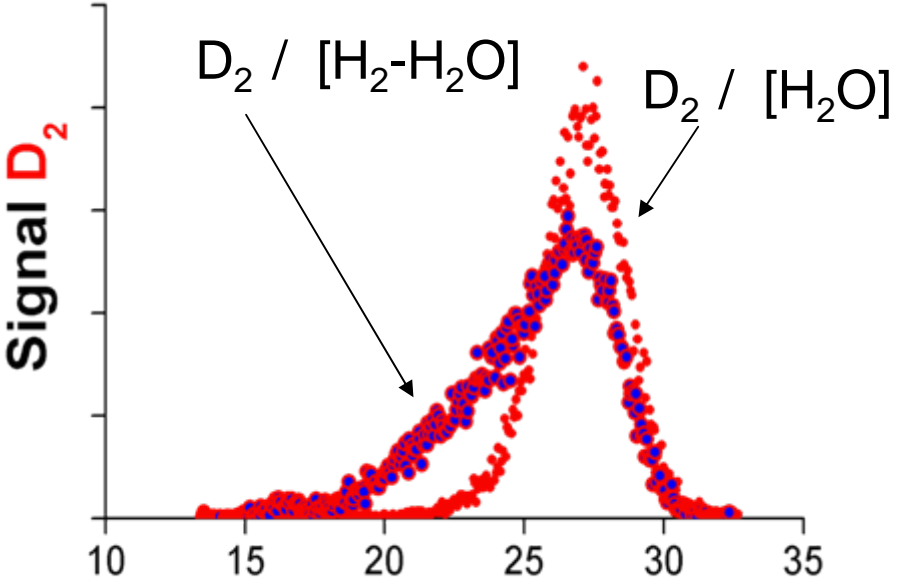
Model de désorption

- Ce model est fait pour reproduire nos courbes expérimentales.
- Il inclut une **distribution d'énergie** pour les sites d'adsorption.
- Les molécules adsorbées sont à **l'équilibre thermodynamique** avec la surface à tous les instants de la simulations.
- La **répartition des molécules** dans les sites d'adsorption se fait en fonction de l'énergie suivant une loi de **Fermi-Dirac**.

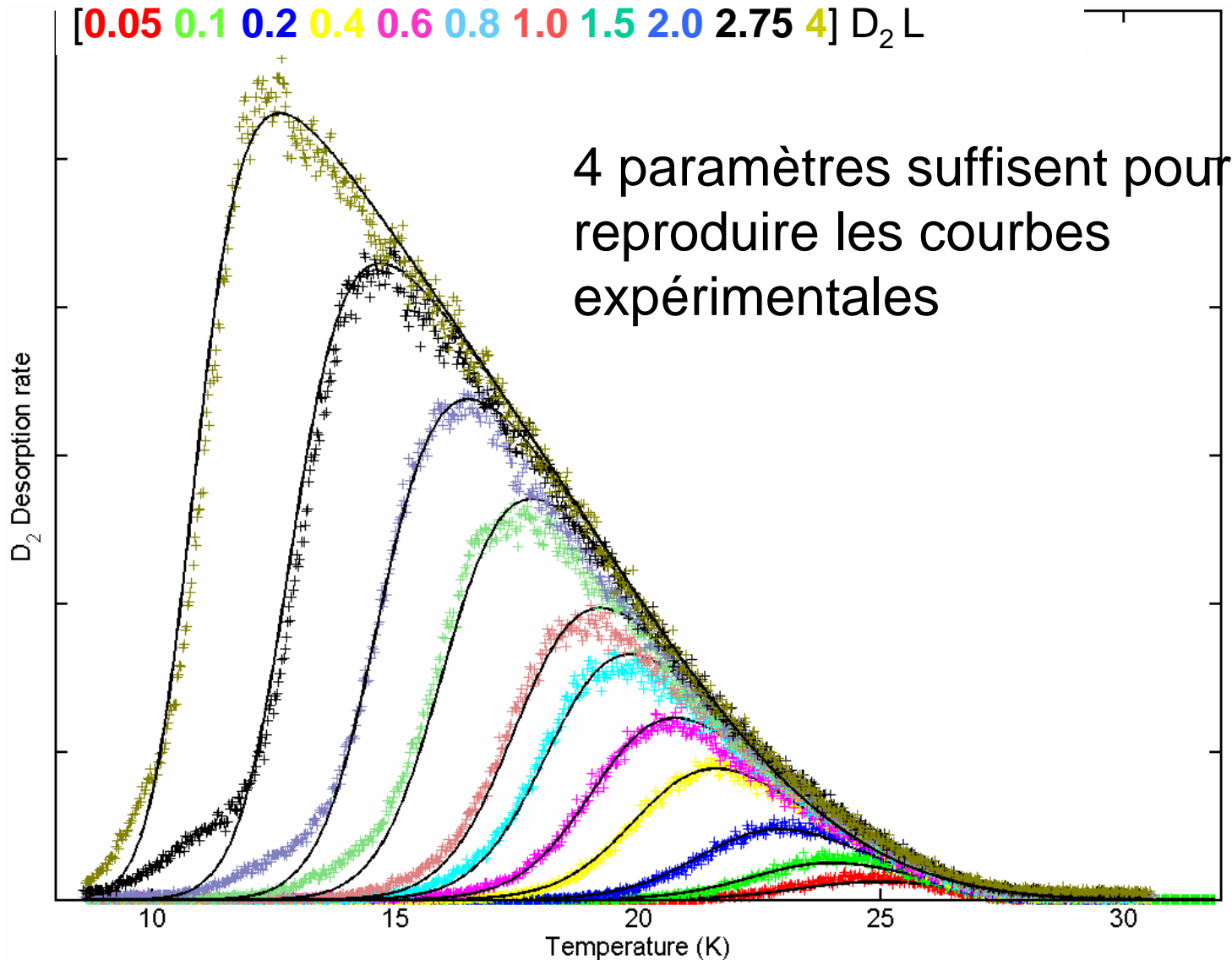
Model de désorption



Effet isotopique. TPD H₂ et D₂ co-adsorbés

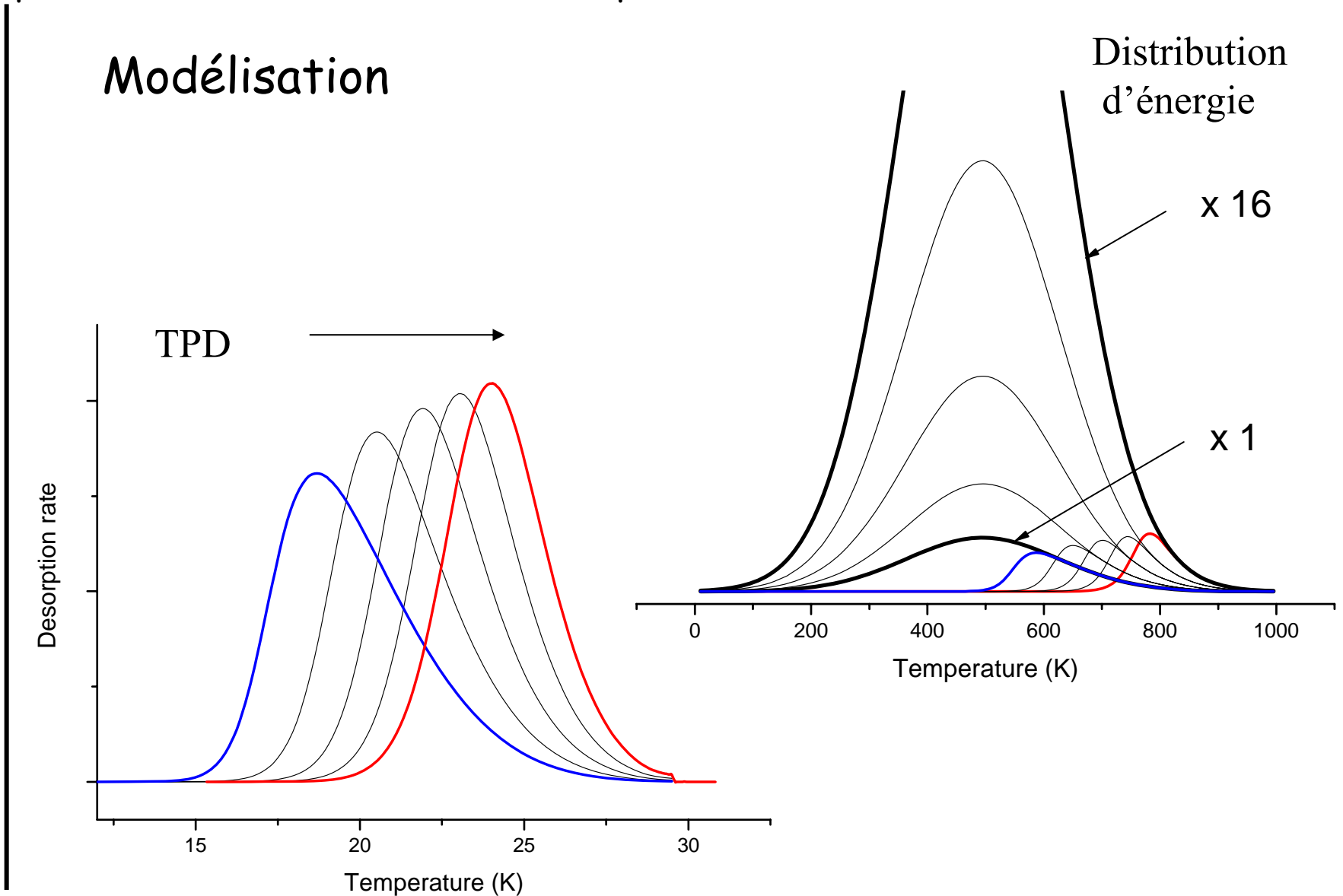


Résultats sur glace poreuse ($T < 32\text{K}$).



Variété des conditions expérimentales.

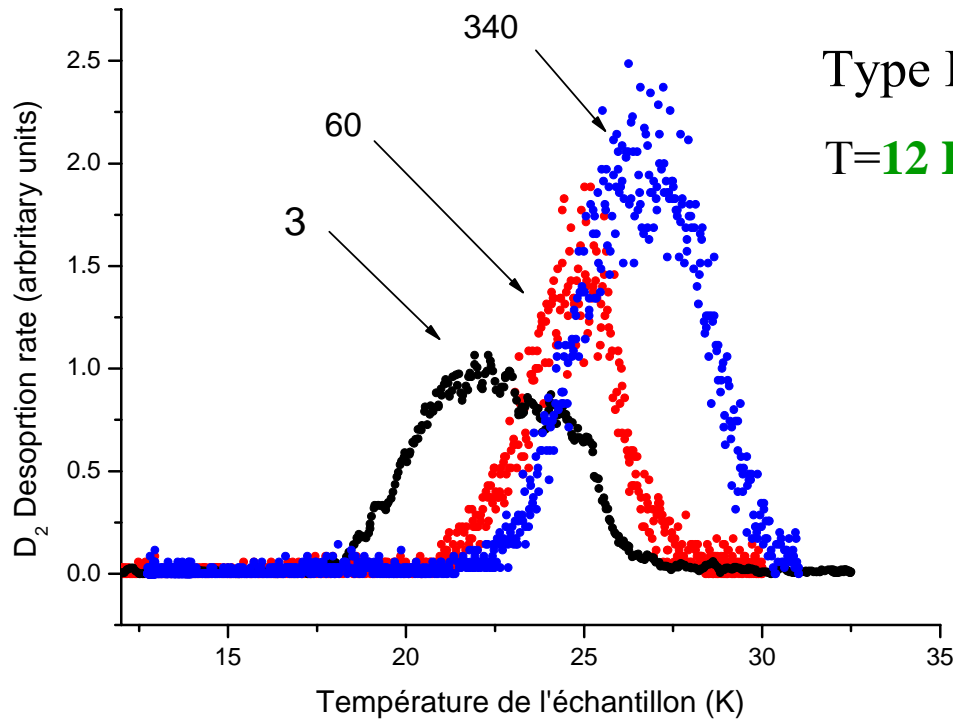
Expériences TPD : Nombre de site disponible.



Variété des conditions expérimentales.

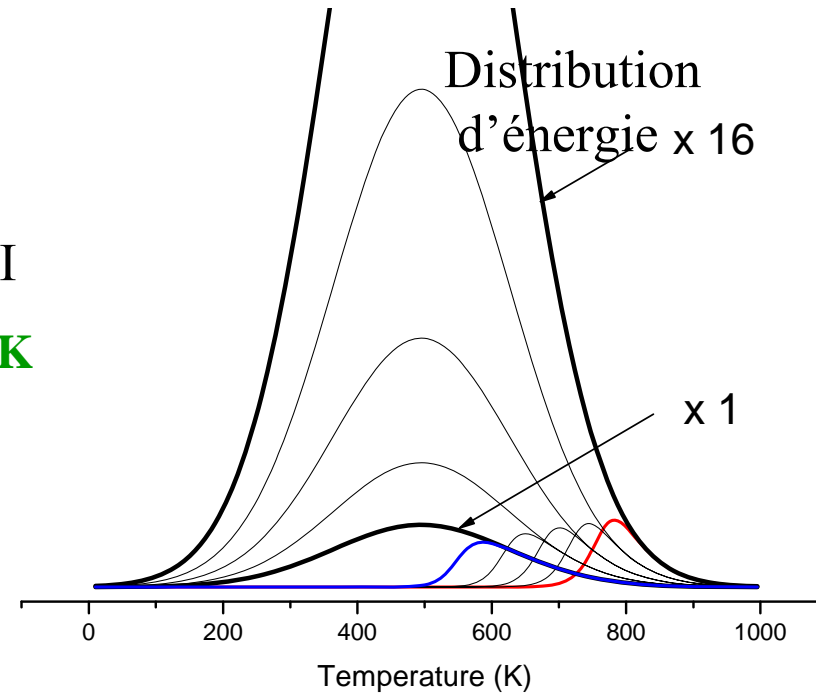
Expériences TPD : Nombre de site disponible.

Expérience



Type I

T=12 K

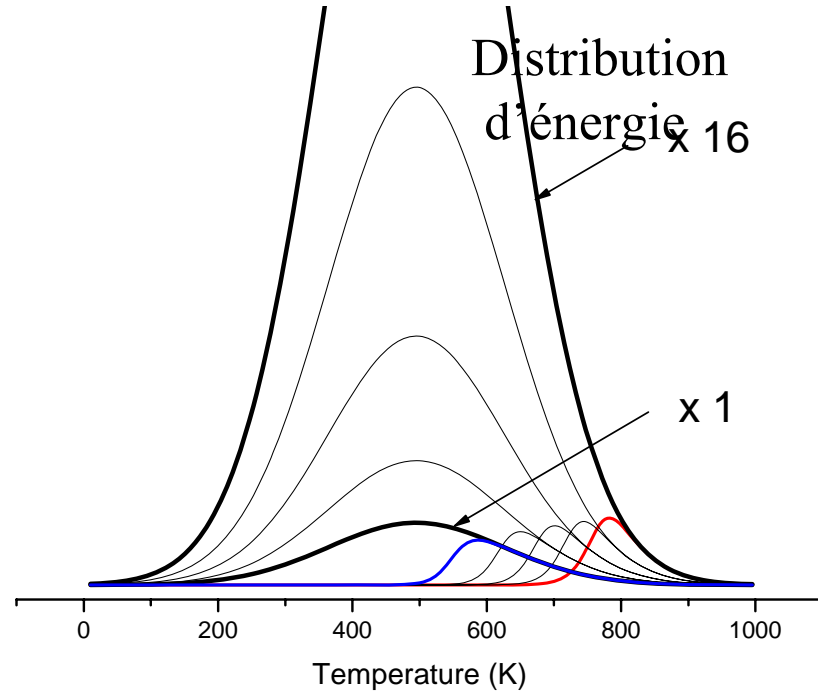
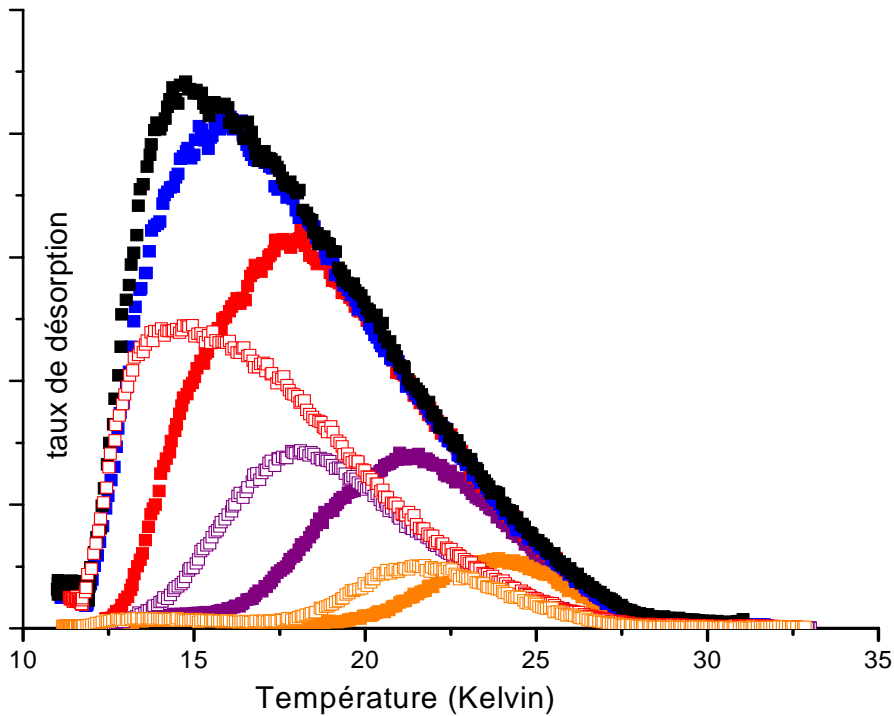


Variation d'épaisseur
de la glace.

Variété des conditions expérimentales.

Expériences TPD : Nombre de site disponible.

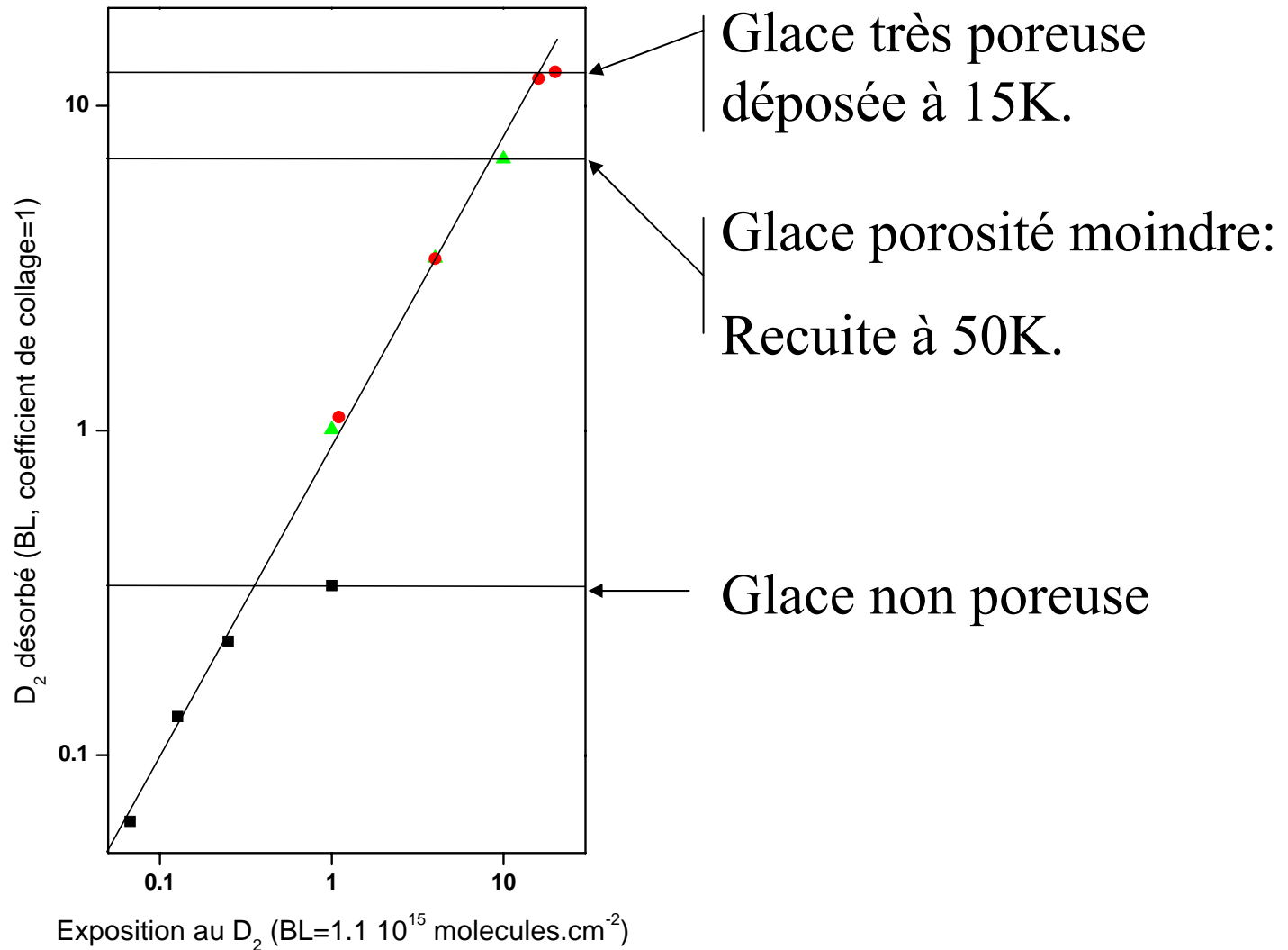
Expérience



Variation de porosité de la glace.

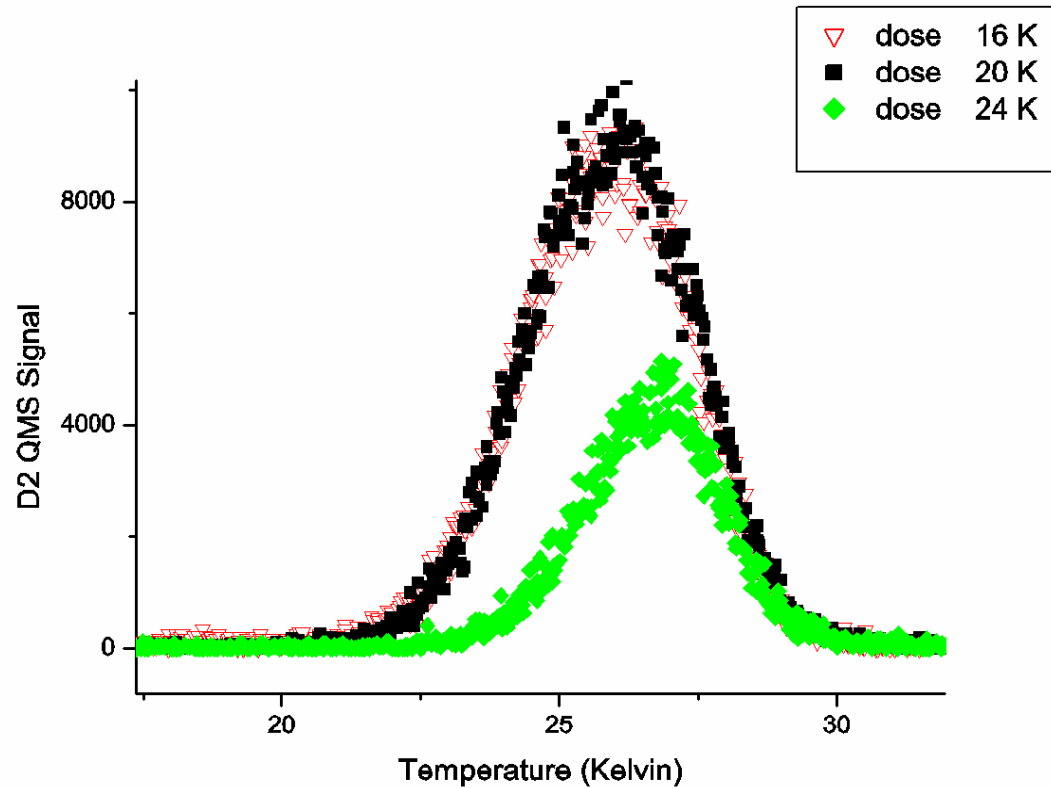
Variété des conditions expérimentales.

Expériences TPD : Effet de porosité.



Variété des conditions expérimentales.

Expériences TPD : Effet de la température de surface.

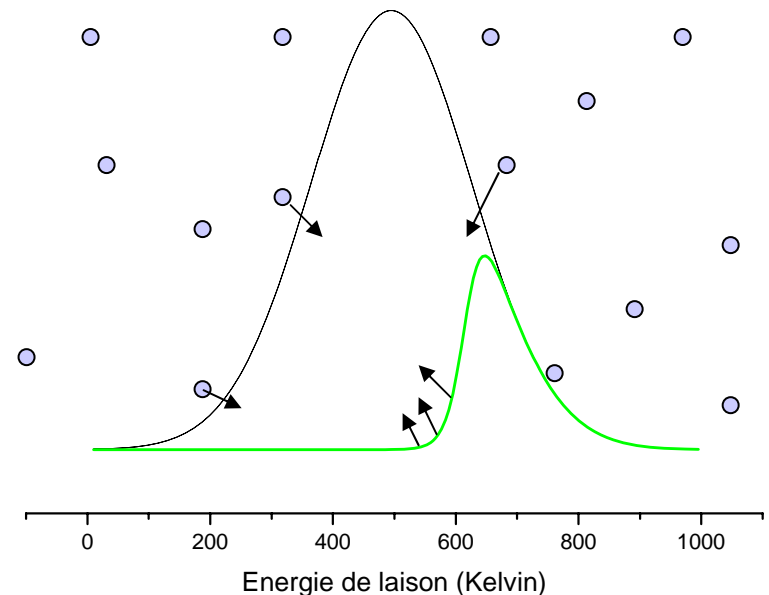
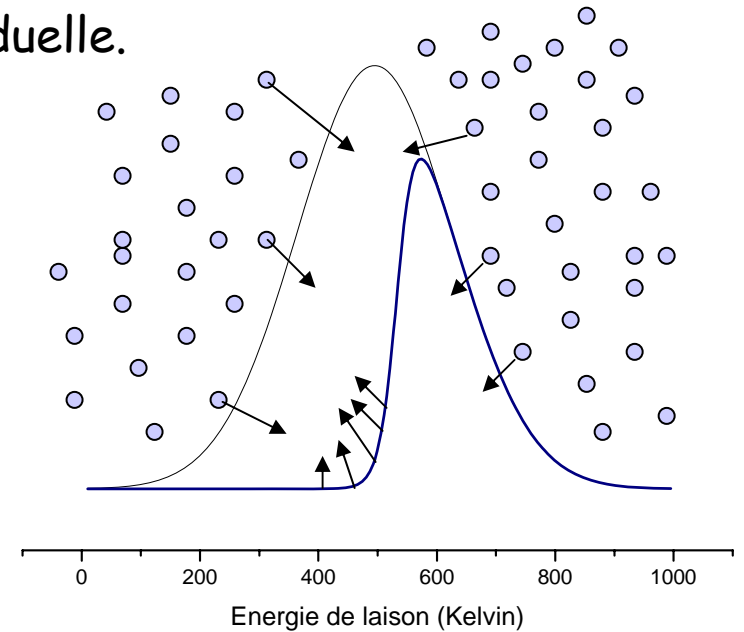


Variété des conditions expérimentales.

Expériences TPD : Effet de la pression résiduelle.

Pour une glace donnée (ie. distribution de site), le dernier niveau d'énergie peuplé est en équilibre avec le gaz ambiant.

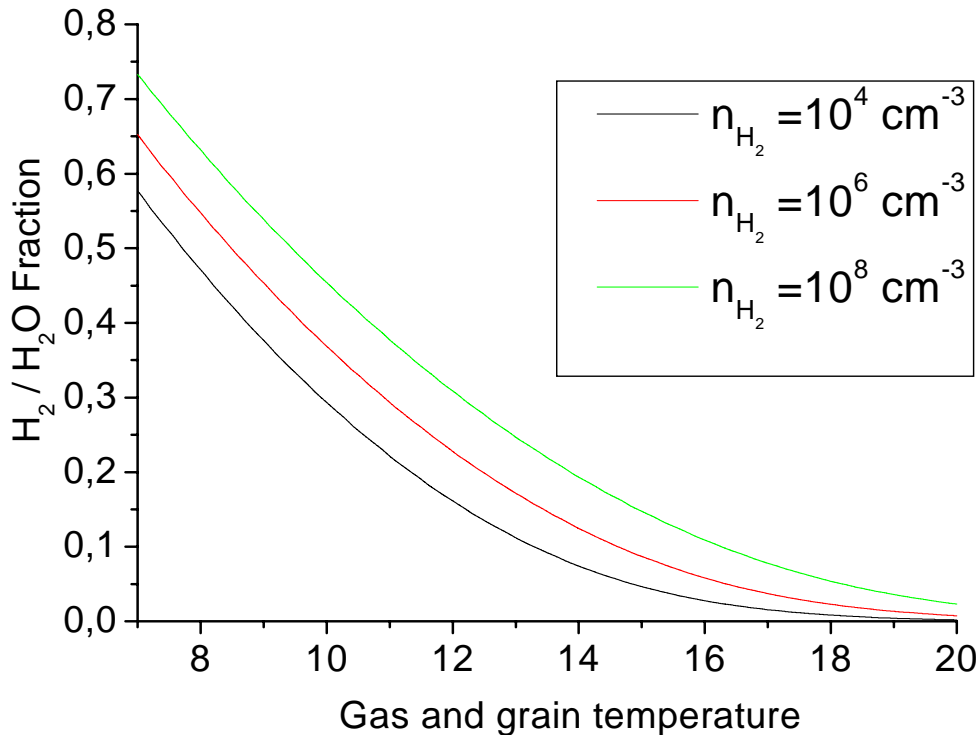
Le temps moyen d'adsorption d'une nouvelle molécule est le même que le temps moyen de désorption à cette énergie.



Number of molecular Hydrogen absorbed on porous ice Typical dark cloud conditions.

Steady state: number of impinging molecules = number of desorbing molecules

$$\tau_{in} = n_{H_2} \bar{v} \text{ s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \quad \tau_{out} = A \int N(E, T) \times e^{-E/kT} dE$$



Normalize following
Dissly & al ApJ 1994
results

Conclusion et Perspectives

- Un modèle à 4 paramètres peut reproduire les données expérimentales.
- Il donne une distribution d'énergie qui peut être utilisée pour contraindre le taux de couverture en hydrogène sur les grains.

- Interprétation des TPD sur glace **non-poreuse** et **cristalline**.
- Études du processus de ségrégation à différentes doses et application des procédures d'ajustement pour obtenir plus de précision sur la distribution en énergie.
- Réaliser les études pour **H₂**, **D₂** et **HD**.
- Étudier le processus complet : adsorption-formation-désorption.
- Utiliser une détection REMPI 2+1 pour ajouter un recensement des populations des états ro-vibrationnels des molécules désorbées.