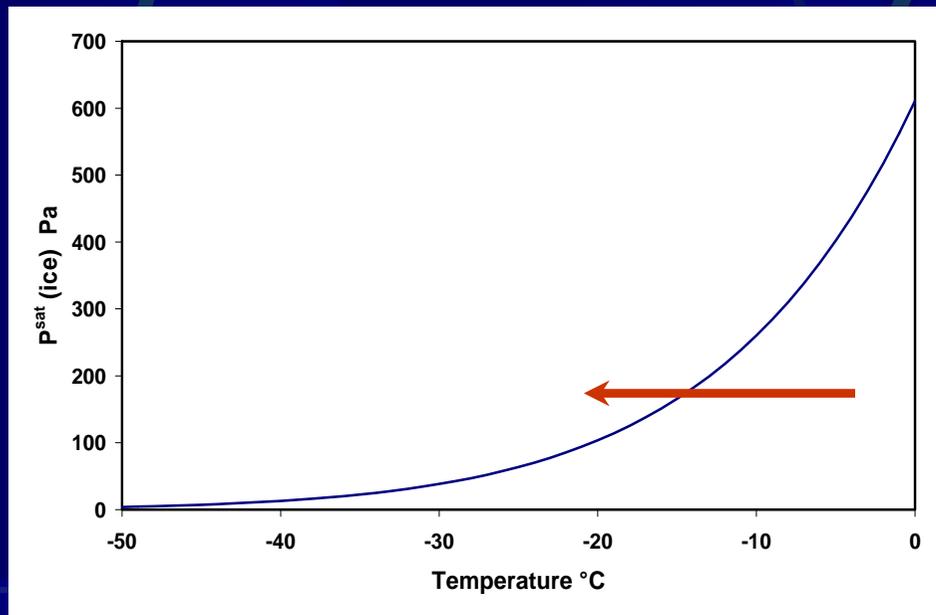
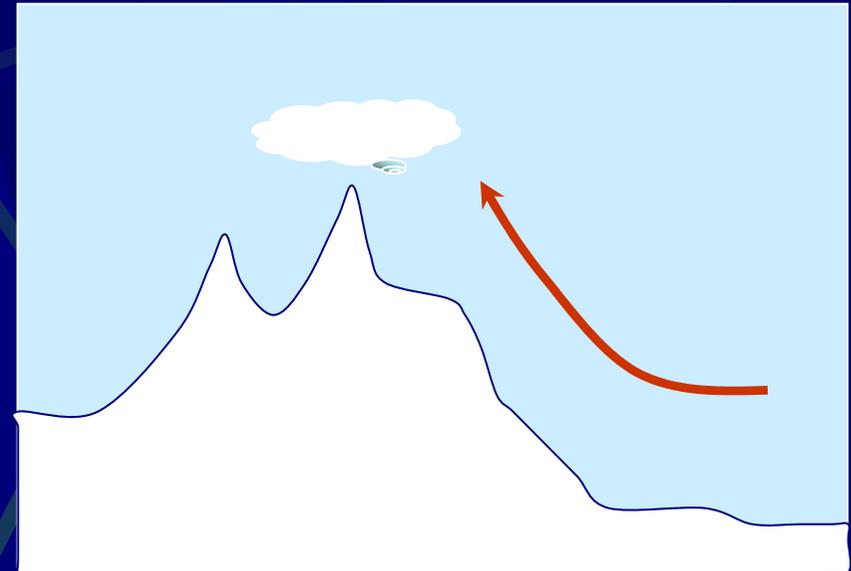


## La composition chimique de la neige

- Nucleation des cristaux de neige
- Incorporation de gaz dans les cristaux de neige
- Adsorption de gaz sur les cristaux de neige
- Givrage

# Formation des cristaux de neige :



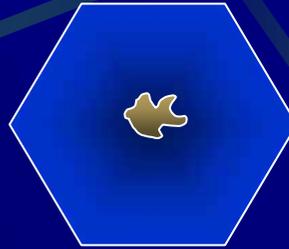
Etape de nucléation nécessaire (problème d'énergie de surface !).

# Noyau de condensation de nuage (NCN)

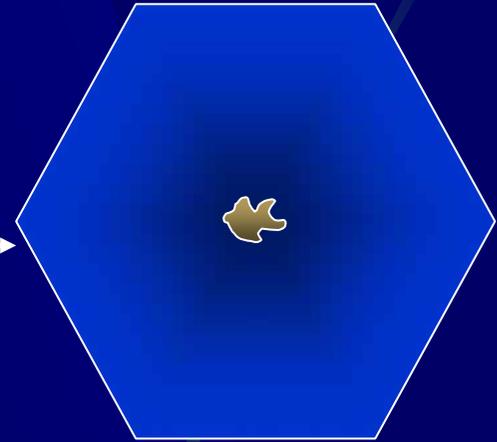


20  $\mu\text{m}$

Nucleation de  
glace



Croissance

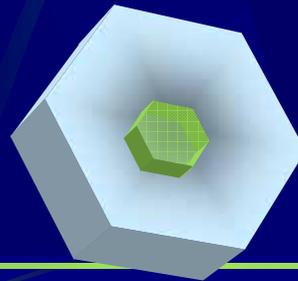


# Noyau glaçogène (NG)

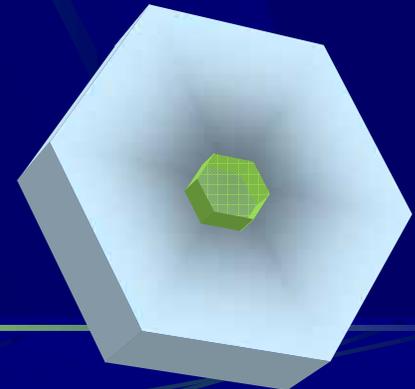


0.01 - 1  $\mu\text{m}$

Nucleation de  
glace



Croissance



Noyau de condensation de nuage (NCN) :



Aérosols organiques

Sel de mer

.....

Noyau glaçogène (NG) :



Micas

Autres silicates

Minéraux, Sel de mer

Fragments végétaux

Aérosols organiques

Bactéries

...

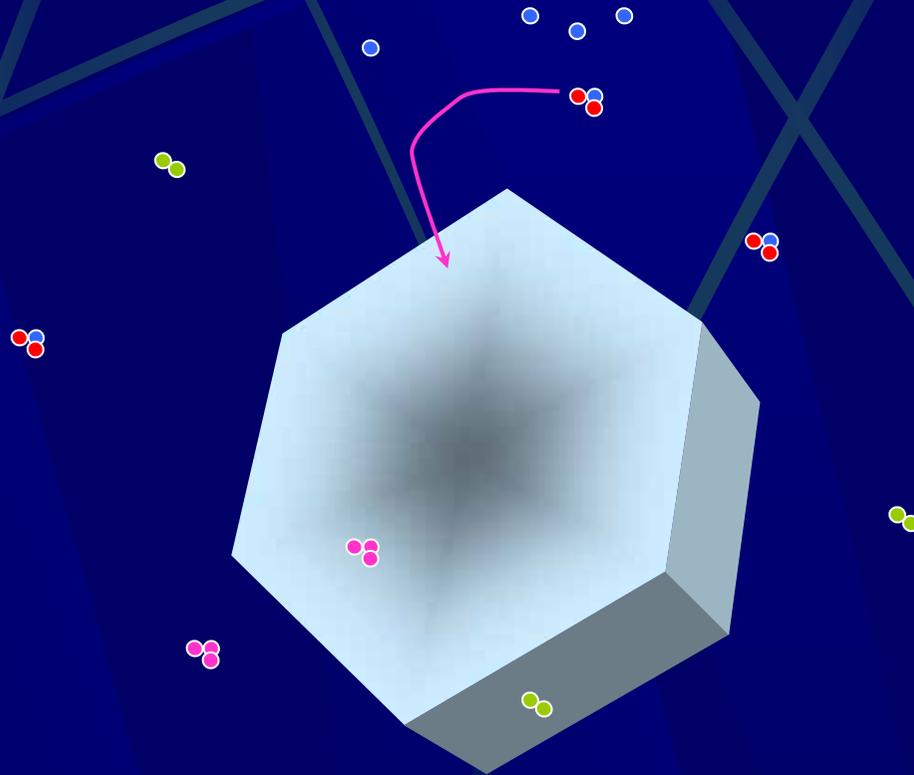
Espèces chimiques apportées par les NCN et les NG :



Composés organiques, toujours mal caractérisés

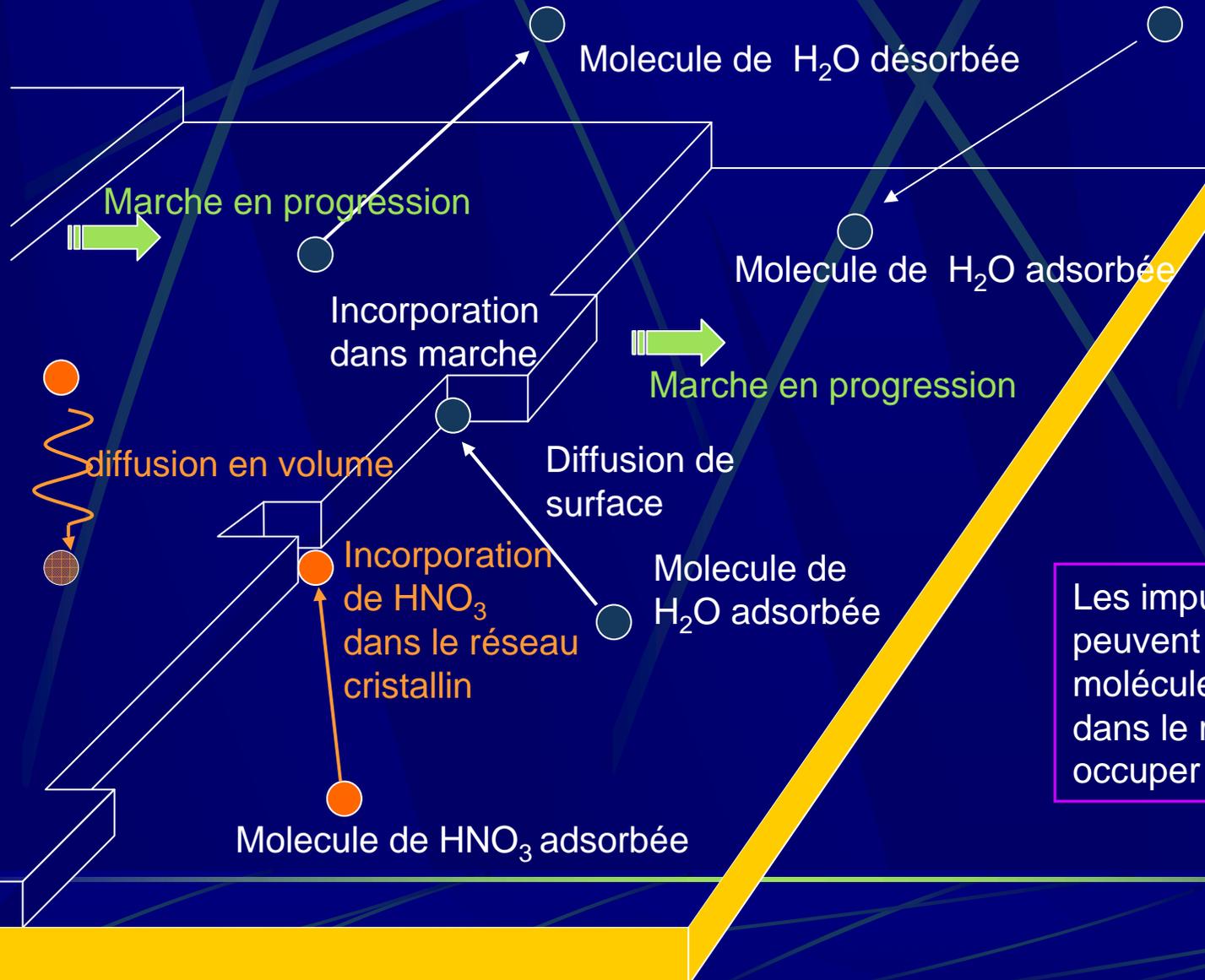
..... Tous les constituants des aérosols atmosphériques...

## Gaz traces atmosphériques et cristaux de neige



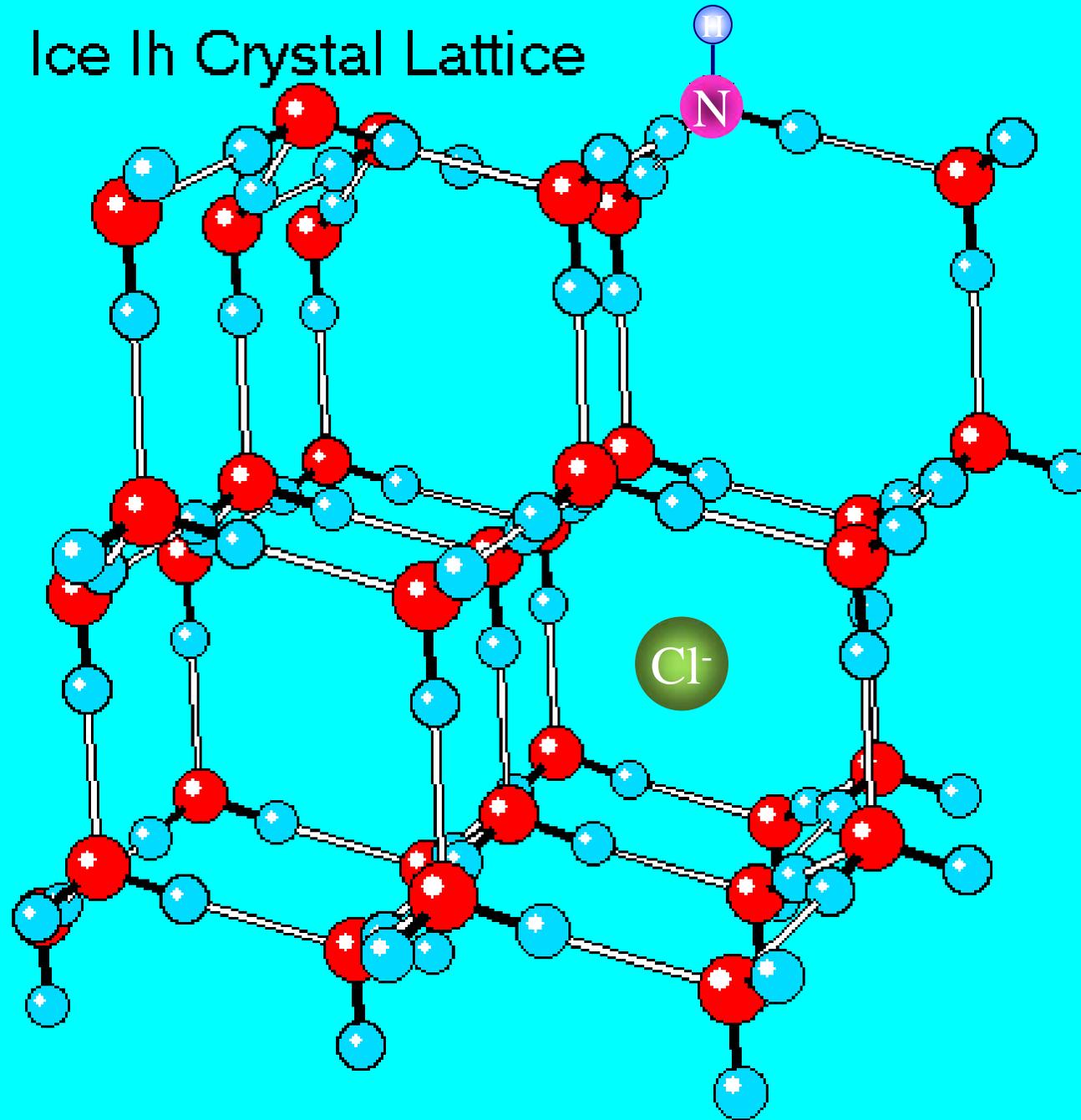
Quels gaz vont interagir avec les surfaces des cristaux de neige ?

# Incorporation de gaz traces pendant la croissance des cristaux



Les impuretés incorporées peuvent se substituer à une molécule de H<sub>2</sub>O molécule dans le réseau cristallin ou occuper un site interstitiel

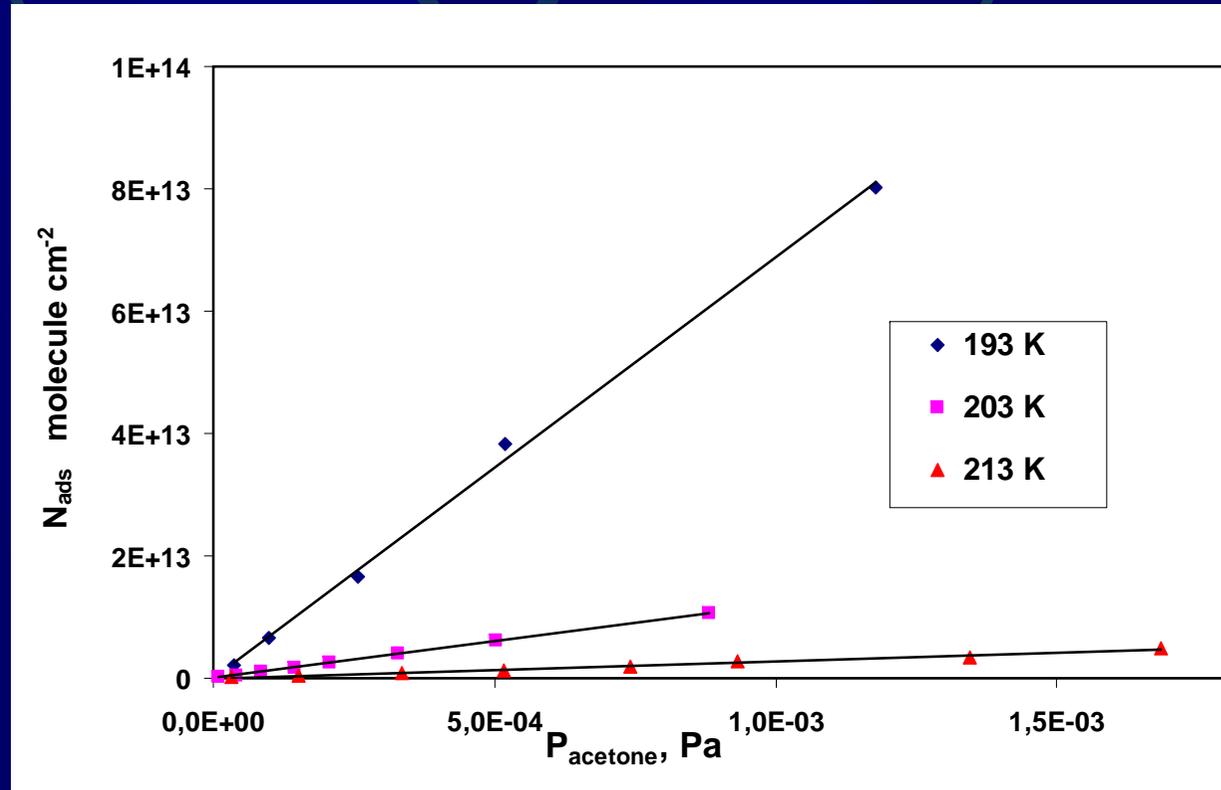
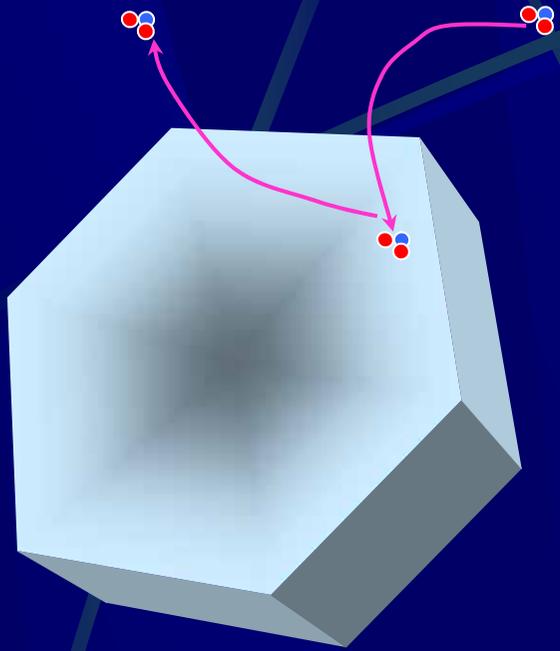
# Ice Ih Crystal Lattice



Site substitutionnel

Site interstitiel

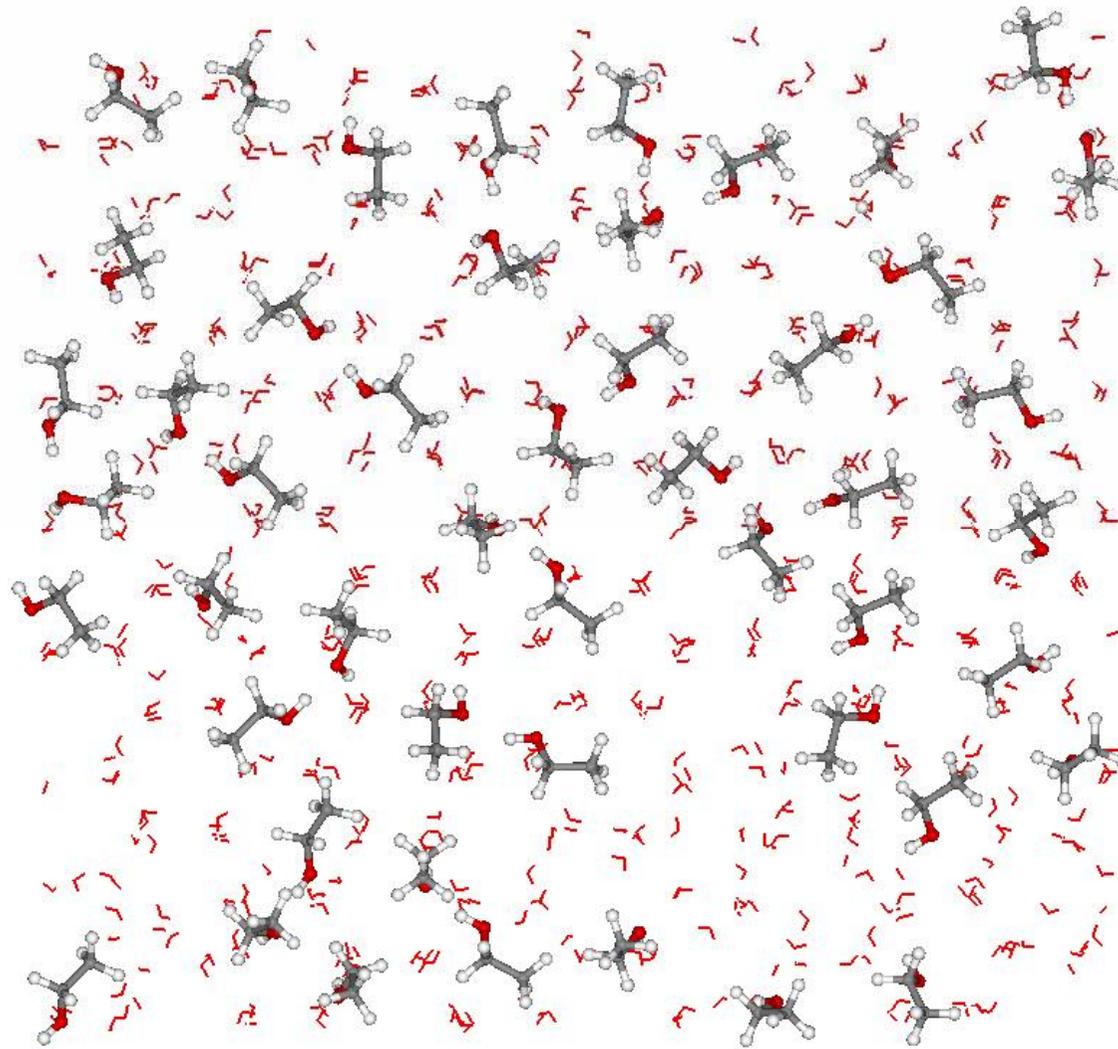
# Adsorption de gaz sur la surface des cristaux de neige



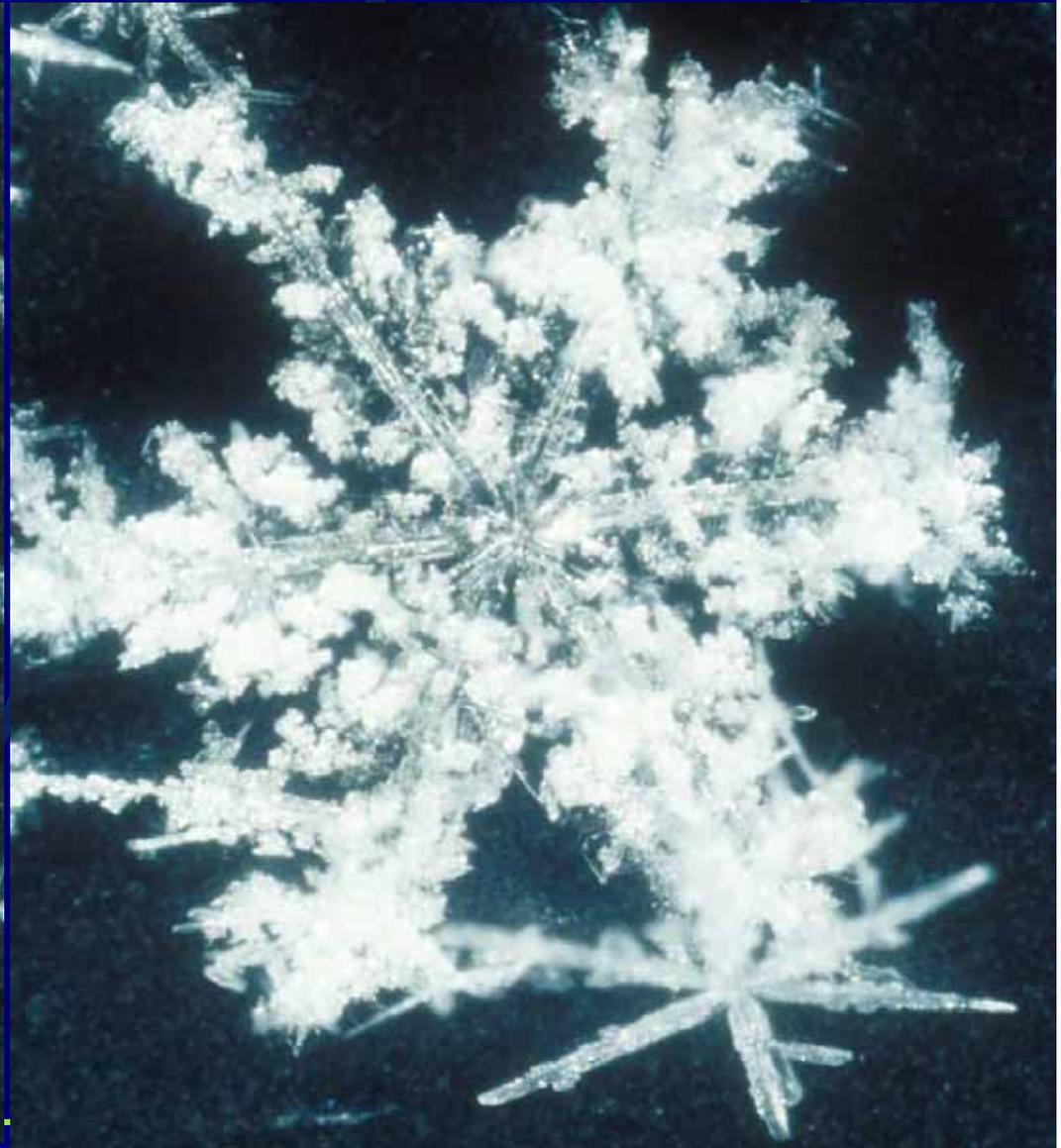
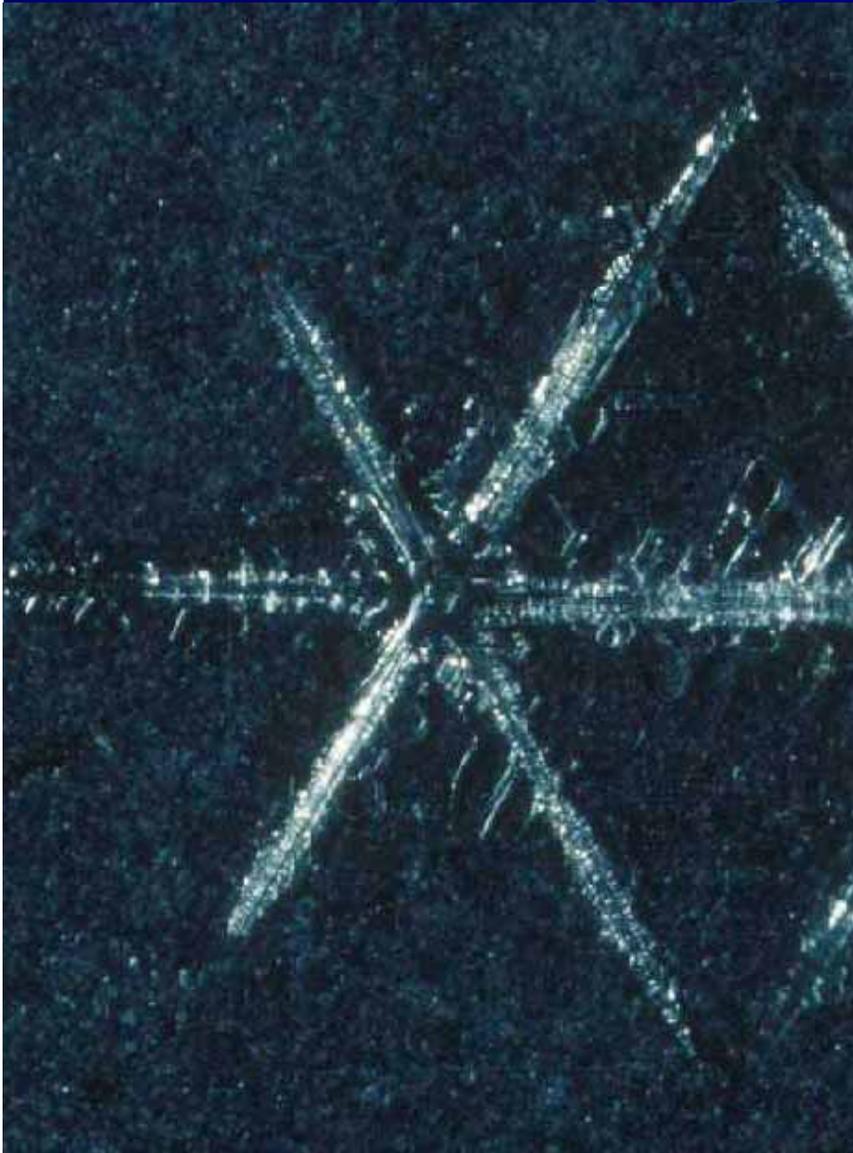
Surface de glace:  $2 \cdot 10^{14}$  à  $10^{15}$  sites d'adsorption  $\text{cm}^{-2}$ , selon la molécule

La quantité de gaz adsorbée dépend de T et de  $P_{\text{gas}}$

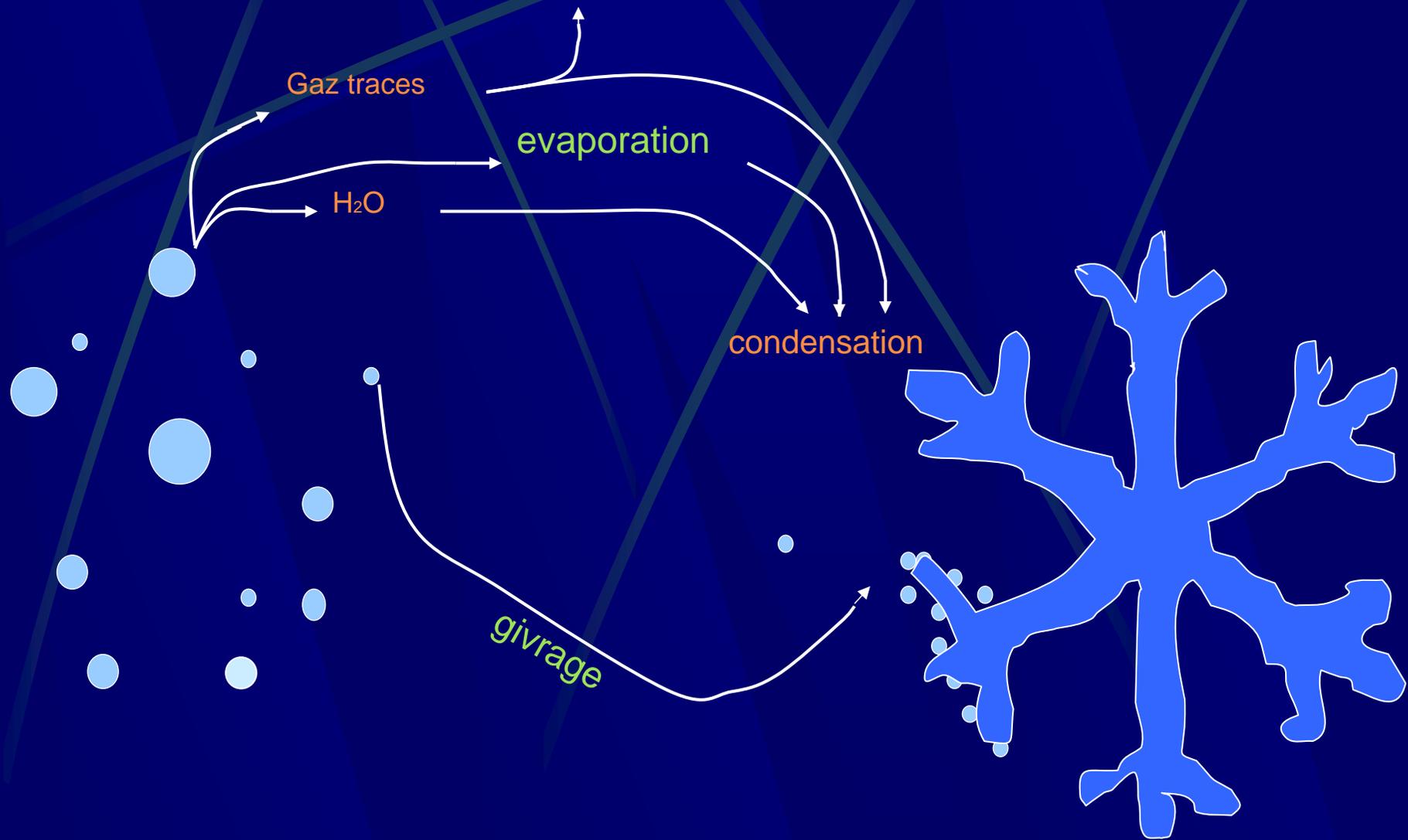
Exemple : adsorption de l'éthanol sur une surface de glace à 193 K



# Incorporation de gaz pendant le givrage

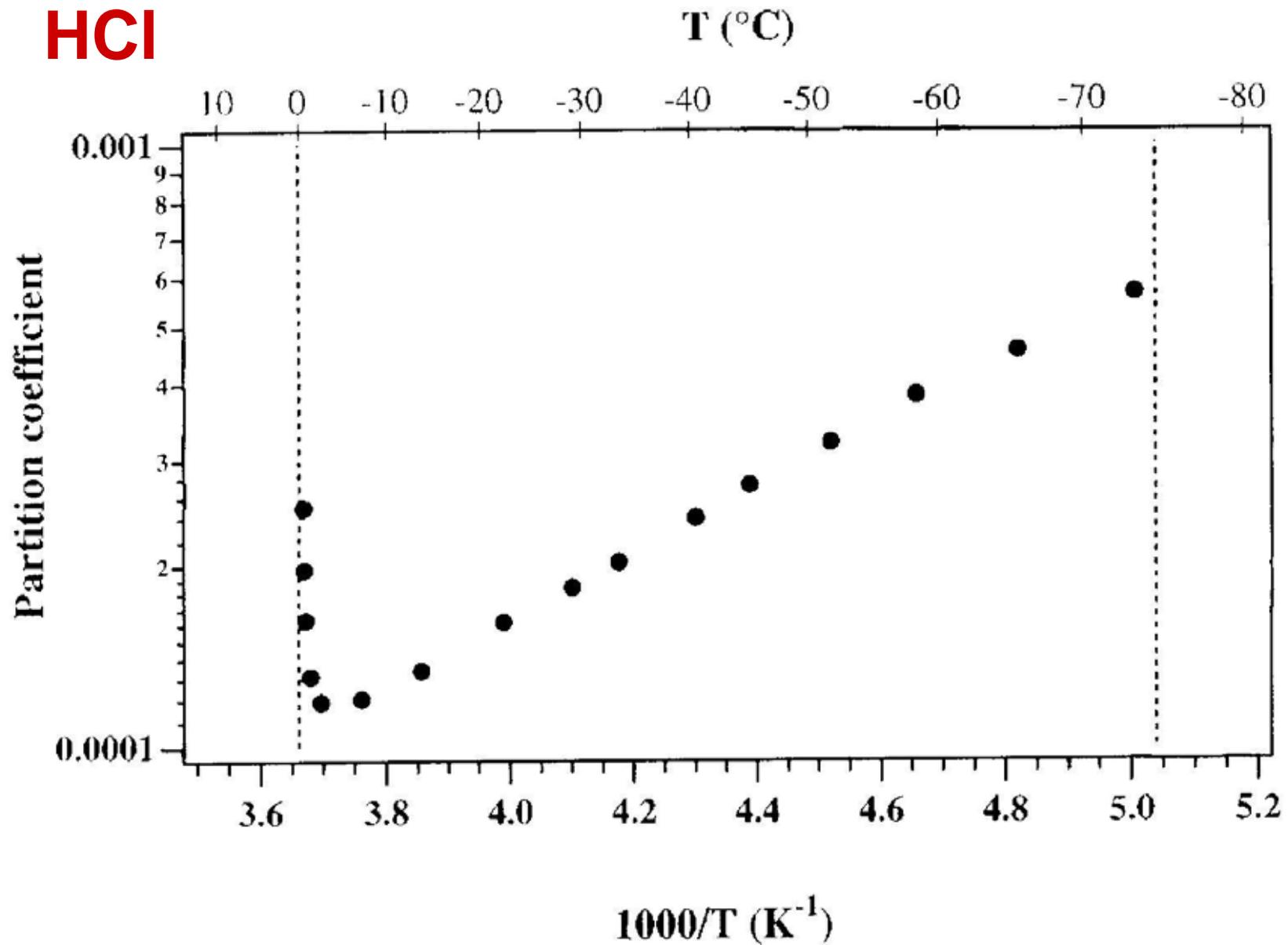


# Incorporation de gaz pendant le givrage



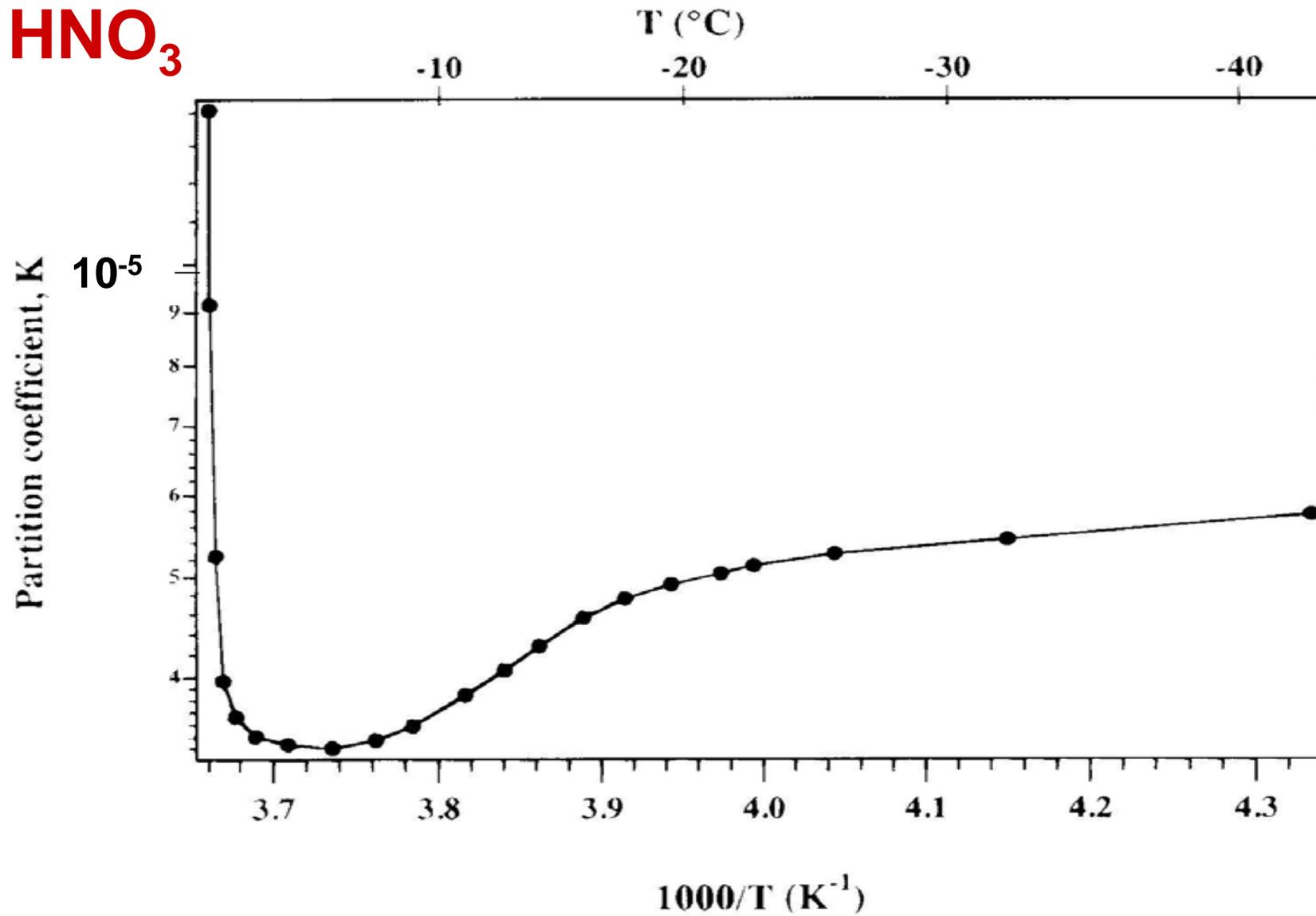
# Solubilité des gaz dans l'eau et dans la glace

**HCl**



# Solubilité des gaz dans l'eau et dans la glace

**HNO<sub>3</sub>**



Cristal de  
glace

Gouttelette d'eau s'impactant  
sur la glace

Dégazage de  $\text{HNO}_3$

Concentration de  $\text{HNO}_3$

10 ppm

50 ppm

200 ppm

5000 ppm

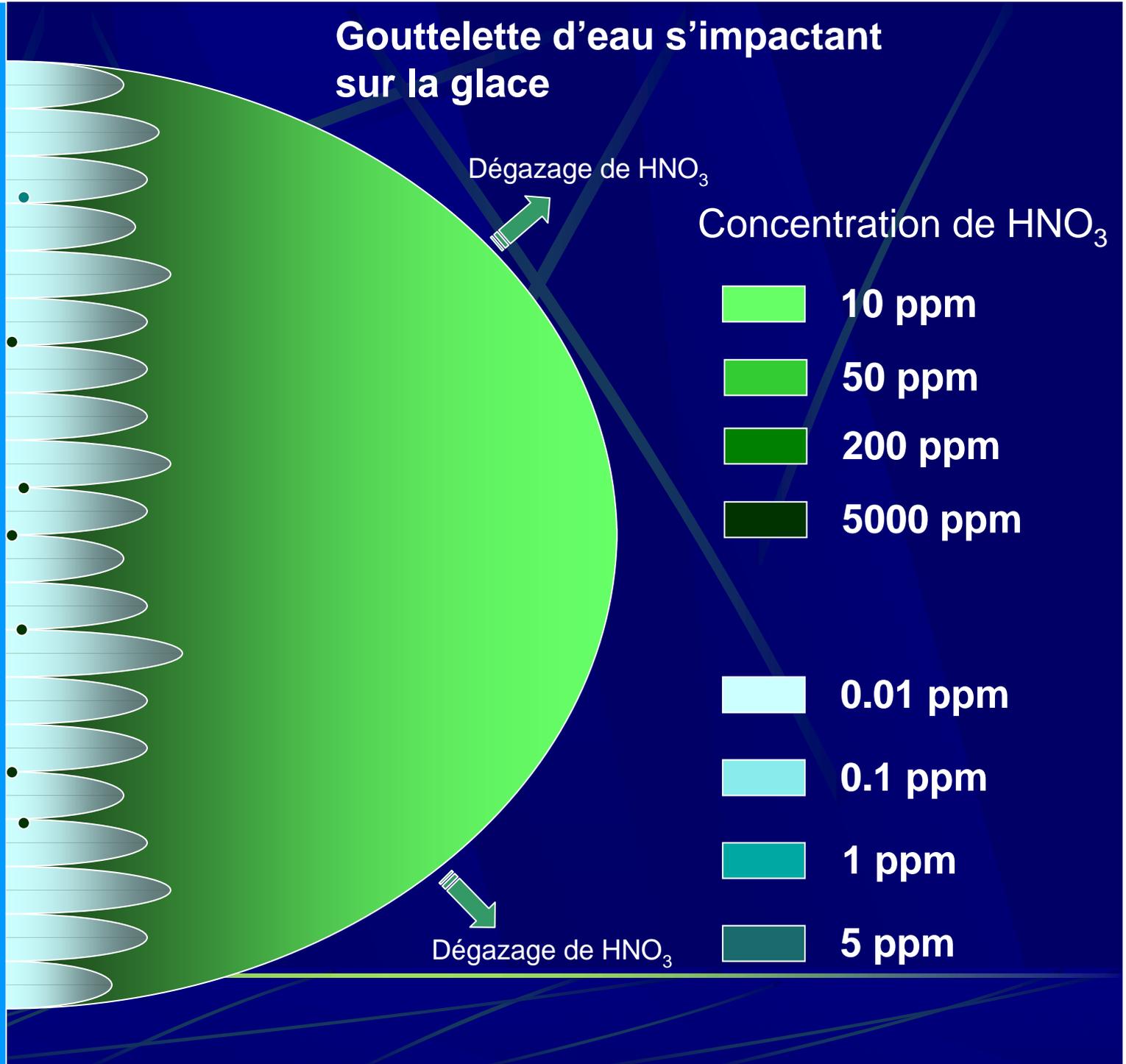
0.01 ppm

0.1 ppm

1 ppm

5 ppm

Dégazage de  $\text{HNO}_3$



# Résumé : incorporation d'impuretés dans la neige

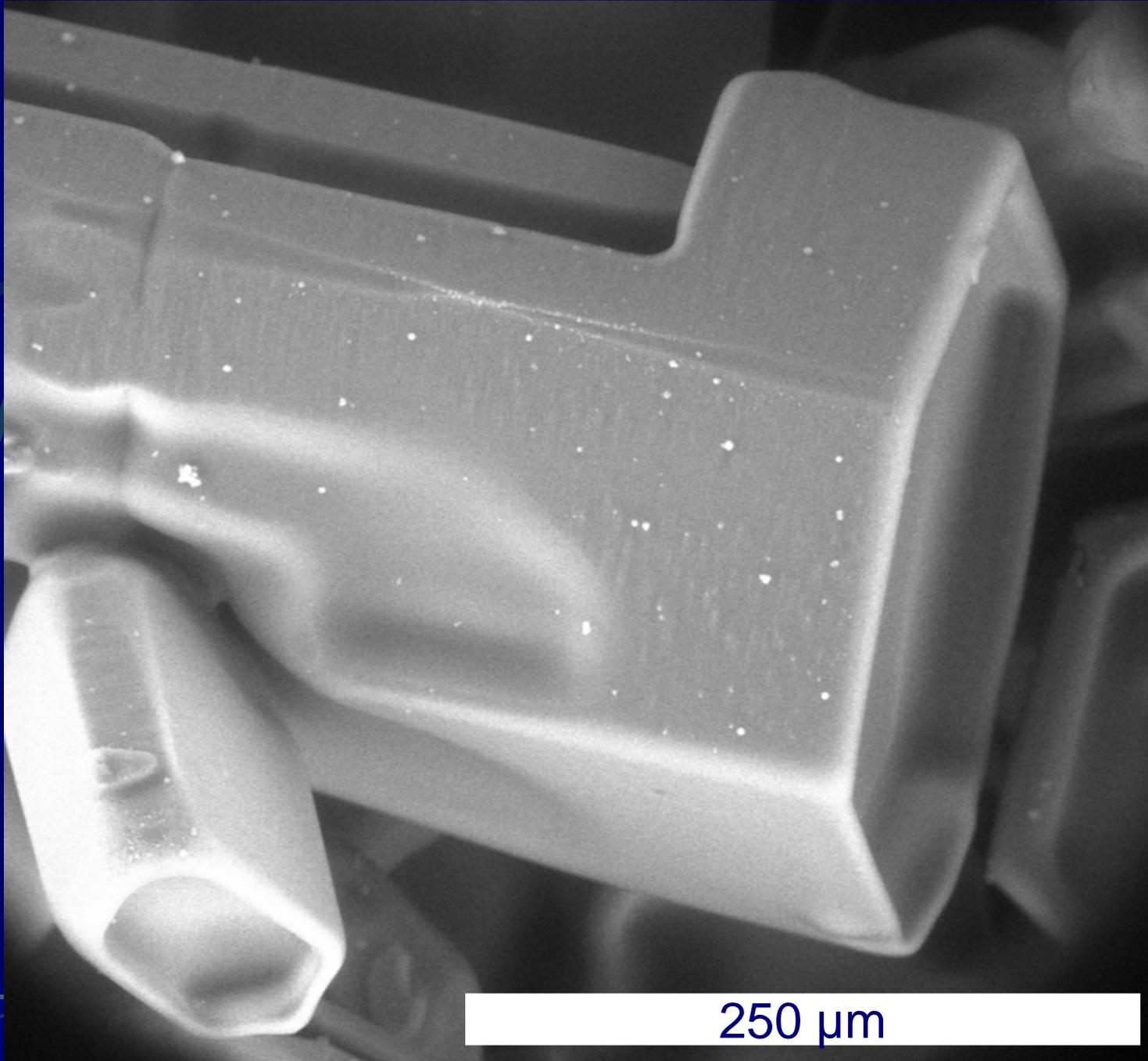
Noyau : NG ou NCN, piégé à l'intérieur du cristal de neige

Gaz dissous : des solutions solides sont formées pendant la croissance des cristaux

Gaz adsorbés : des gaz collent et restent sur la surface de la neige pendant et après la croissance

Givrage : de fortes concentrations de gaz hydrosolubles peuvent être piégés dans le givre

+ des particules peuvent être piégées pendant la croissance et la chute des cristaux de neige



250  $\mu\text{m}$

# Impuretés dans la neige

## Solubles dans l'eau

## Non solubles

chromatographie  
liquide

chromatographie  
ionique

### molécules

HCHO 0.5 µM  
CH<sub>3</sub>CHO 0.3 µM  
CH<sub>3</sub>OH 0.1 µM

### ions

### ions minéraux

SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 3 µM  
NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 2 µM  
Cl<sup>-</sup> 1 µM  
Ca<sup>2+</sup> 3 µM  
Mg<sup>2+</sup> 2 µM  
NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 0.5 µM  
K<sup>+</sup> 0.5 µM  
Na<sup>+</sup> 0.5 µM

### ions organiques

HCOO<sup>-</sup> 0.5 µM  
CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup> 0.2 µM  
C<sub>2</sub>O<sub>4</sub><sup>2-</sup> 0.1 µM

### molécules

HAPs 50 pM  
PCBs 1 pM  
autres POPs 1-100 pM

# Compositions : pluie vs. neige

PLUIE	$\mu\text{M}$	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{SO}_4^{--}$		$\text{Na}^+$	$\text{NH}_4^+$	$\text{K}^+$	$\text{Mg}^{++}$	$\text{Ca}^{++}$
<b>Inde Rurale</b> Village semi aride <sup>1</sup>		30.6	42.6	7.7		19.4	43.4	2.5	39.2	67.1
<b>Pologne grande</b> ville cotière <sup>2</sup>		75	52	67		79	35	55	11.5	71.5

NEIGE	$\mu\text{M}$	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{SO}_4^{--}$		$\text{Na}^+$	$\text{NH}_4^+$	$\text{K}^+$	$\text{Mg}^{++}$	$\text{Ca}^{++}$
<b>Spitsberg</b> 27 Avril 2001		28.9	3.8	5.8		24.6	3.5	0.7	2.9	2.6
<b>Spitsberg</b> 29 Avril 2001		0.5	2.3	0.3		0.7	0.3	0.1	0.1	0.2

<b>Eau Perrier</b>		649	----	437		500	-----	-----	288	3717
--------------------	--	-----	------	-----	--	-----	-------	-------	-----	------

<sup>1</sup> Satsangi et al. (1998) Atmos. Environ., 32, 3783-3793.

<sup>2</sup> Polkowska et al. (2002) J. Atmos. Chem., 41, 239-264.