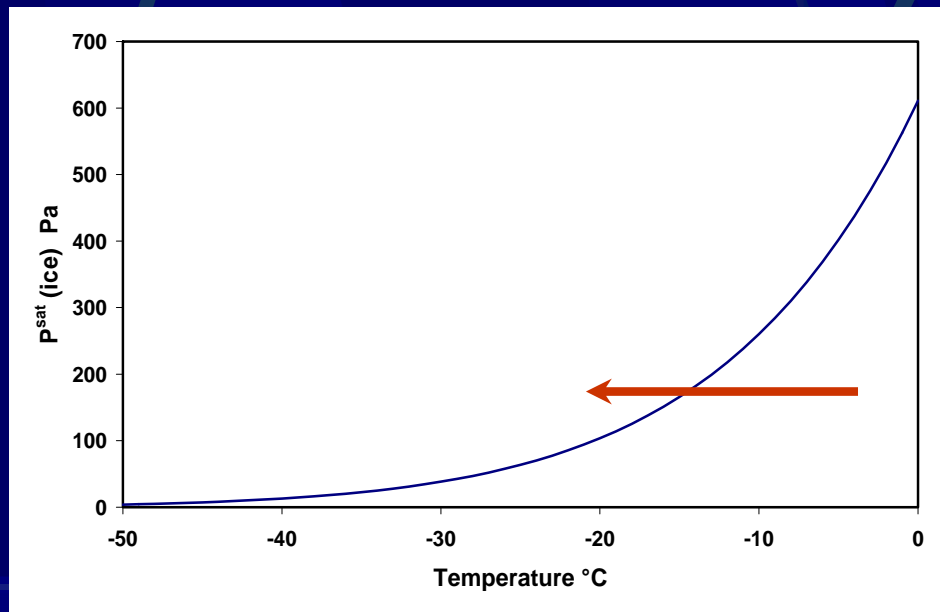
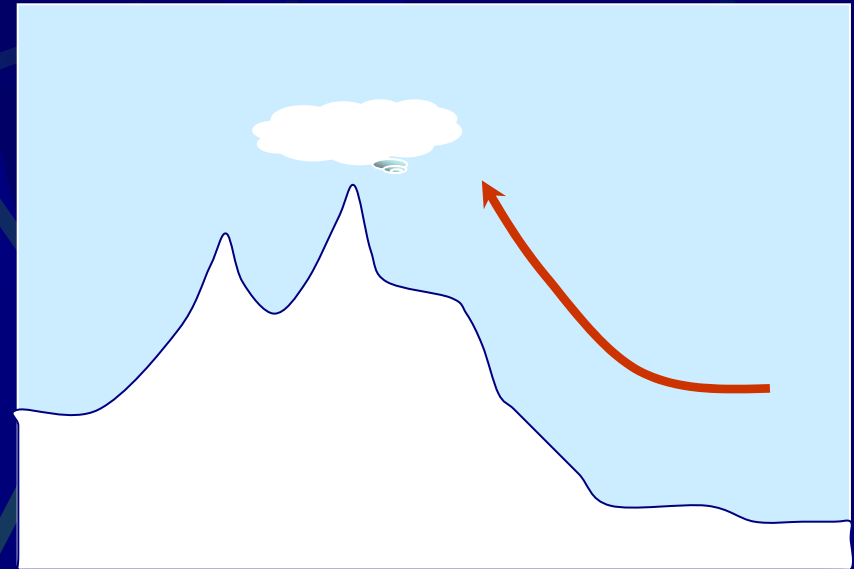


La composition chimique de la neige

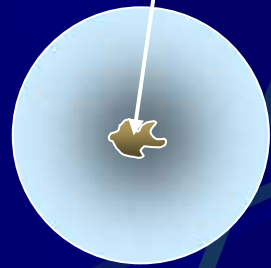
- Nucleation des cristaux de neige
- Incorporation de gaz dans les cristaux de neige
- Adsorption de gaz sur les cristaux de neige
- Givrage

Formation des cristaux de neige :



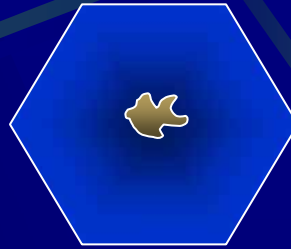
Etape de nucléation nécessaire
(problème d'énergie de surface !).

Noyau de condensation de nuage (NCN)

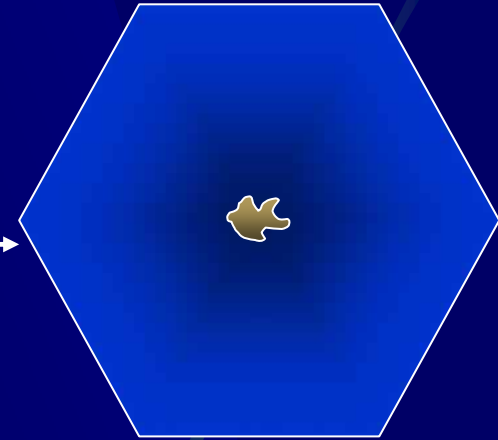


20 μm

Nucleation de
glace



Croissance

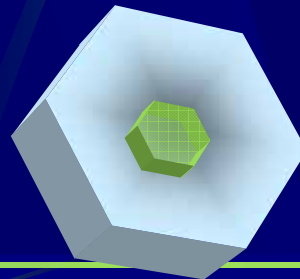


Noyau glaçogène (NG)

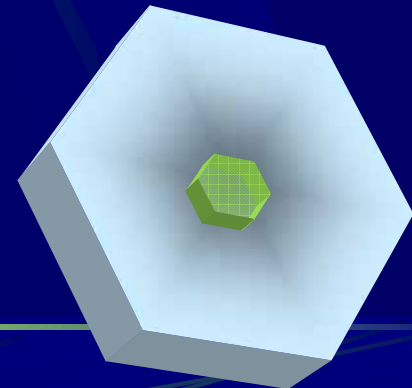


0.01 - 1 μm

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

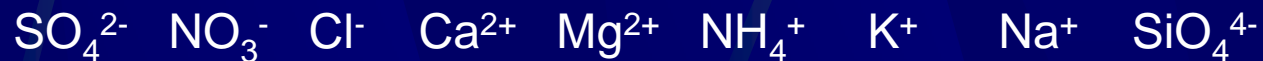
Fragments végétaux

Aérosols organiques

Bactéries

...

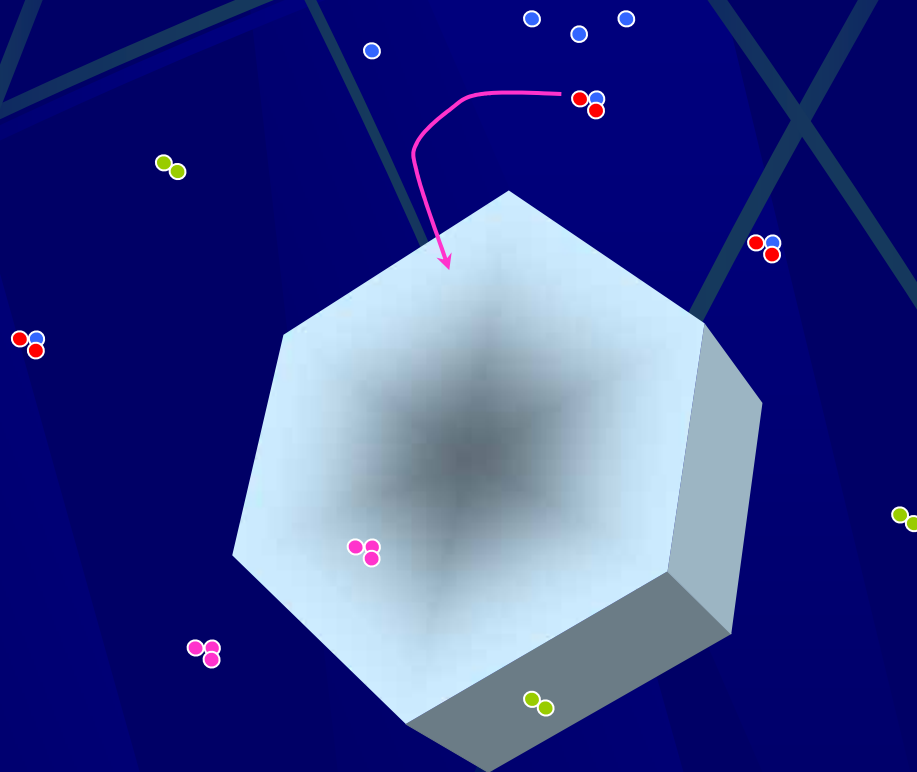
Espèces chimiques apportées par les NCN et les NG :



Composés organiques, toujours mal caractérisés

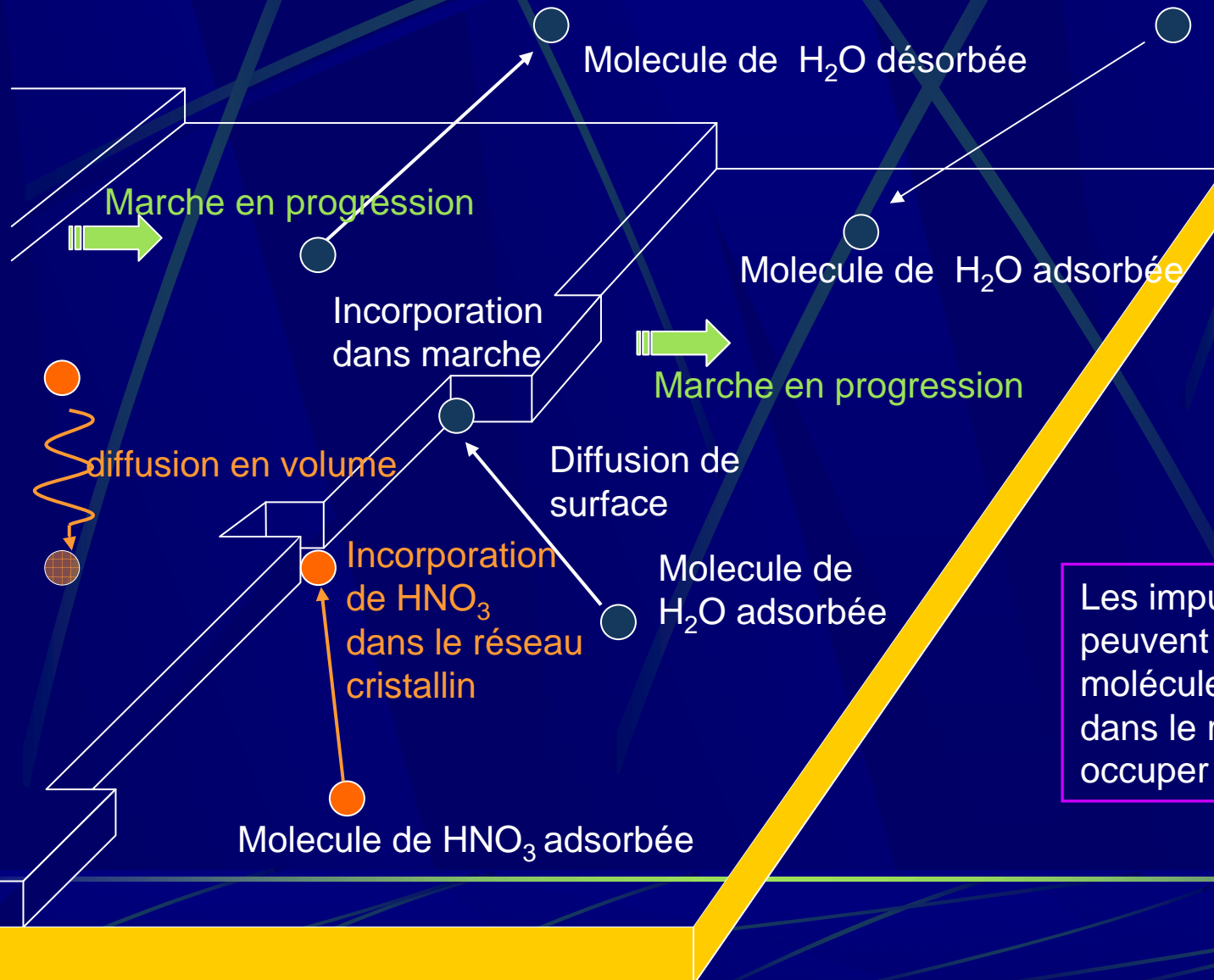
..... Tous les constituants des aérosols atmosphériques...

Gaz traces atmosphériques et cristaux de neige



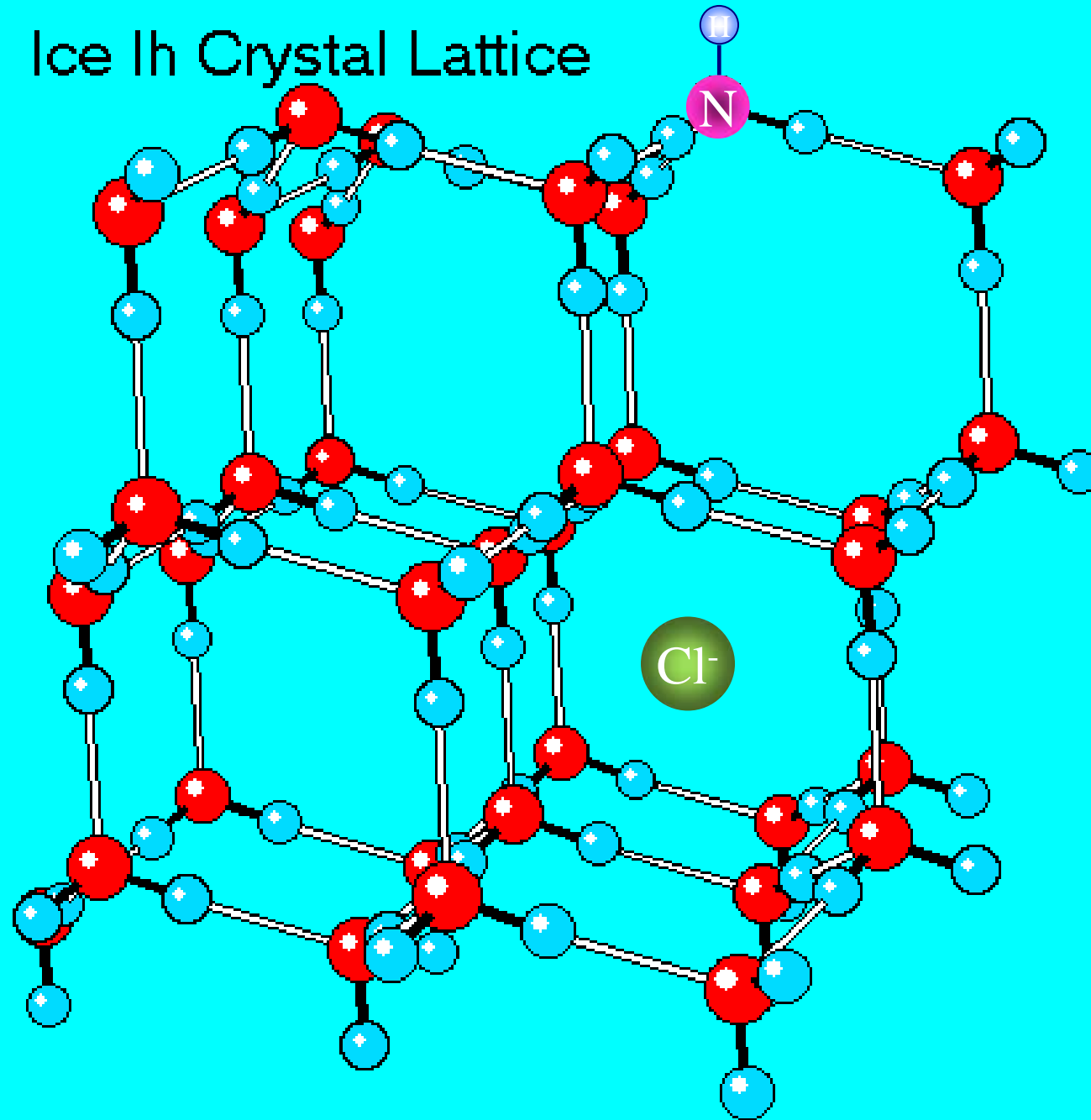
Quels gaz vont interagir avec les surfaces des cristaux de neige ?

Incorporation de gaz traces pendant la croissance des cristaux



Les impuretés incorporées peuvent se substituer à une molécule de H_2O molécule dans le réseau cristallin ou occuper un site interstitiel

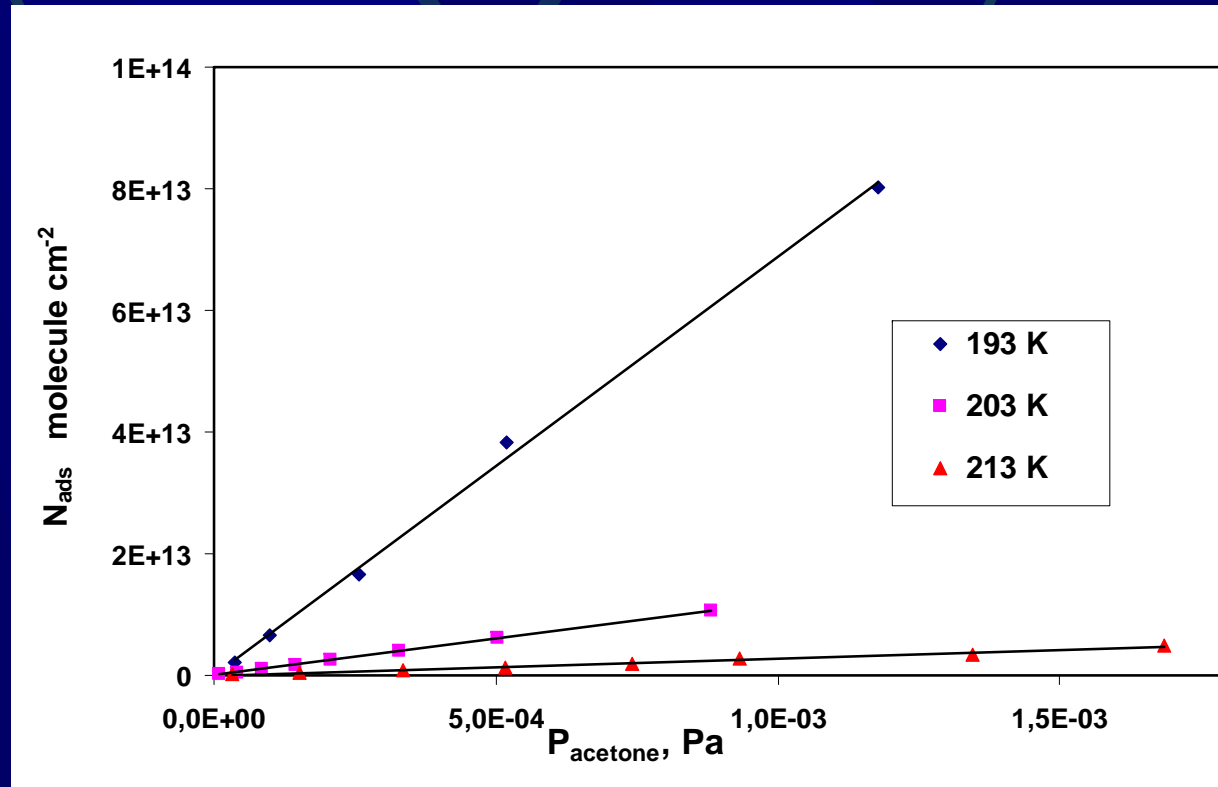
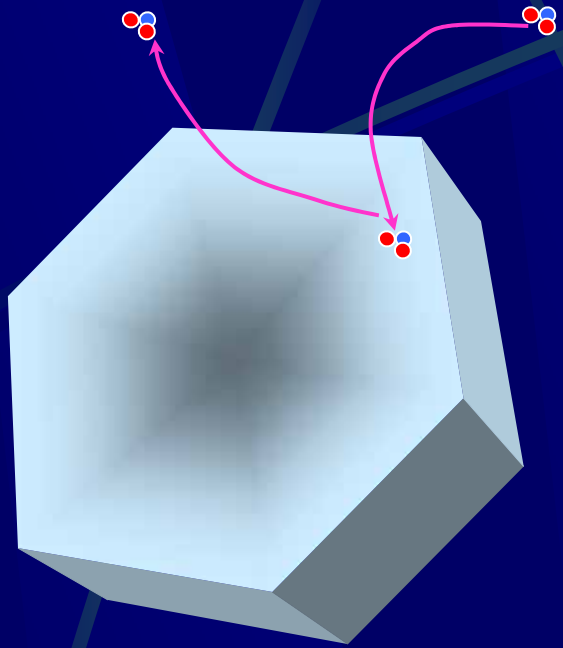
Ice Ih Crystal Lattice



Site substitutionnel

Site interstitiel

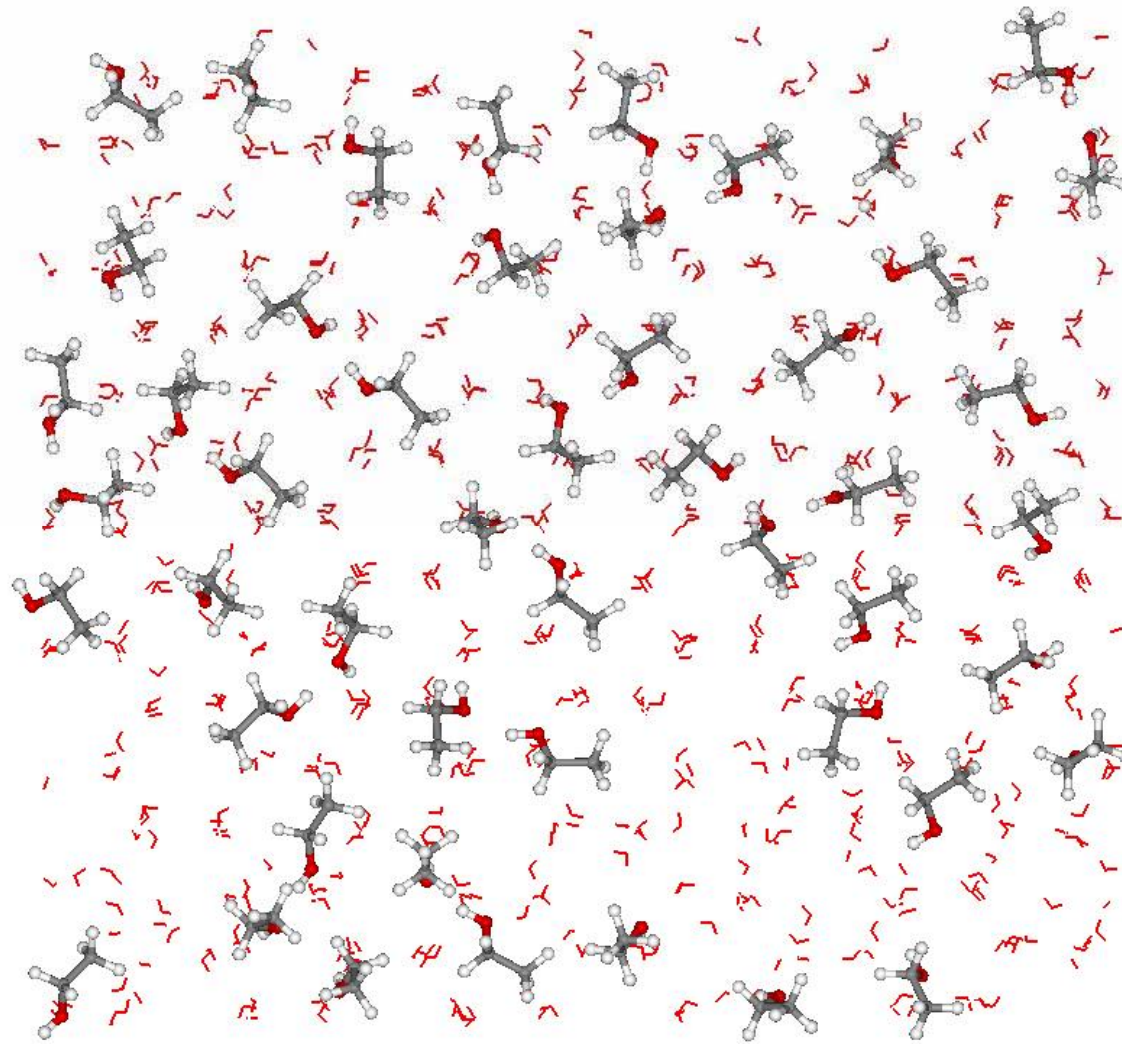
Adsorption de gaz sur la surface des cristaux de neige



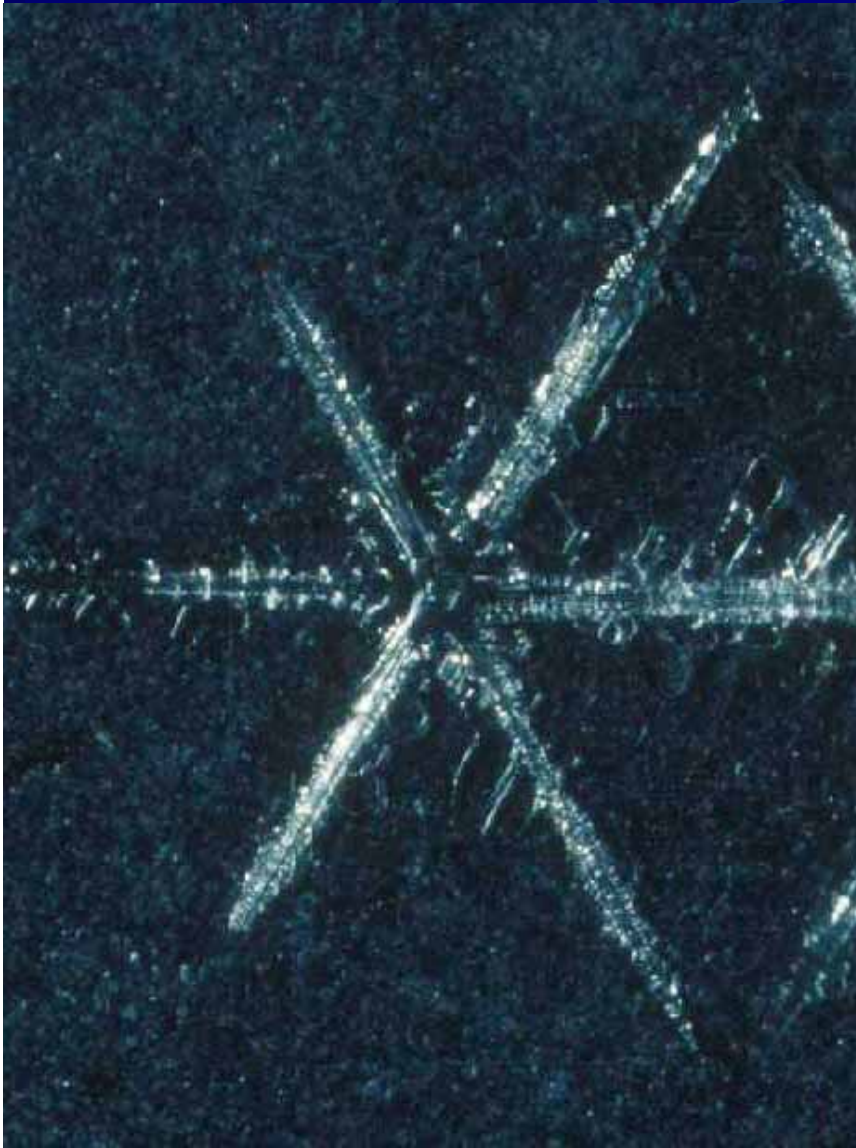
Surface de glace: $2 \cdot 10^{14}$ à 10^{15} sites d'adsorption cm^{-2} , selon la molécule

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

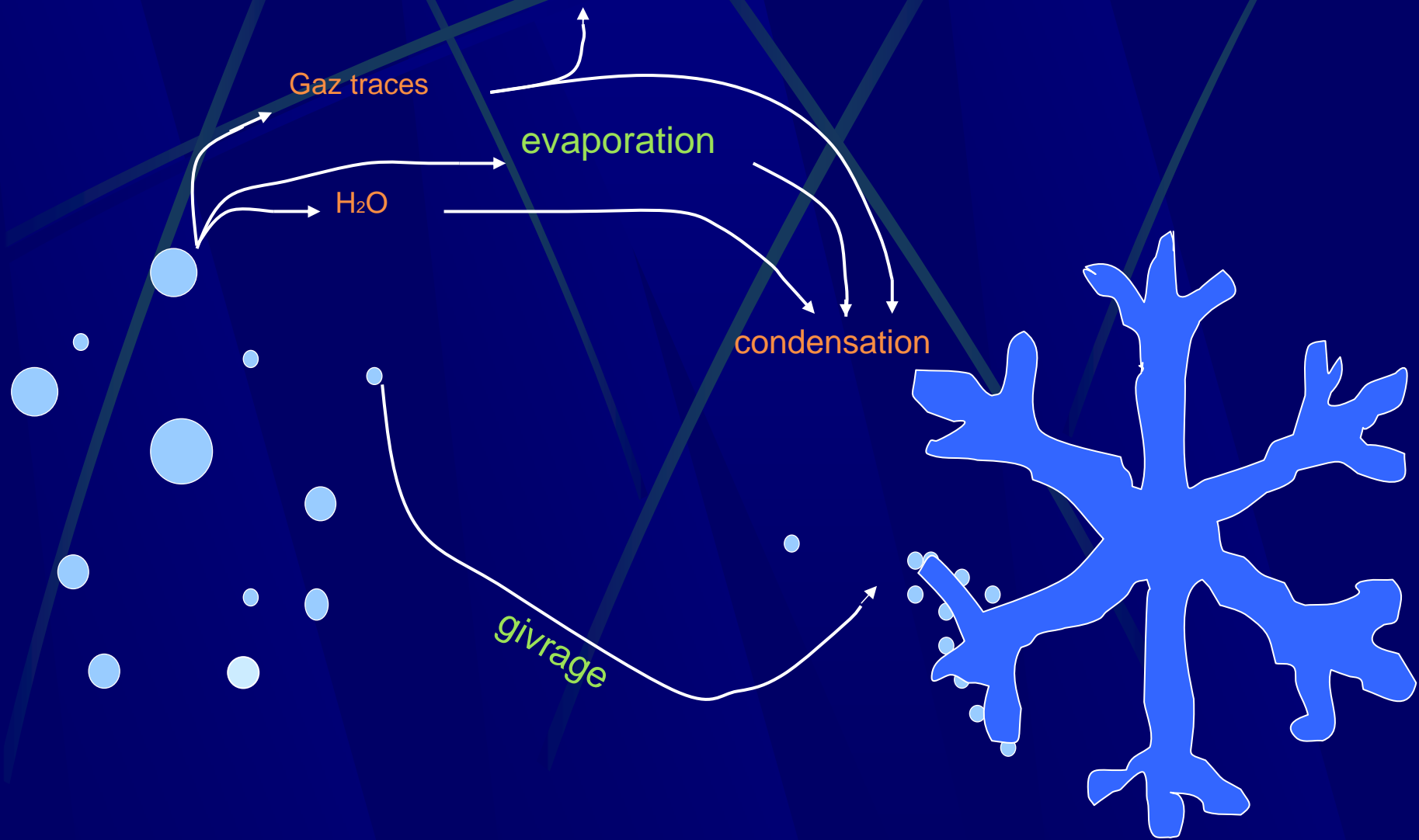
Exemple : adsorption de l'éthanol sur une surface de glace à 193 K



Incorporation de gaz pendant le givrage

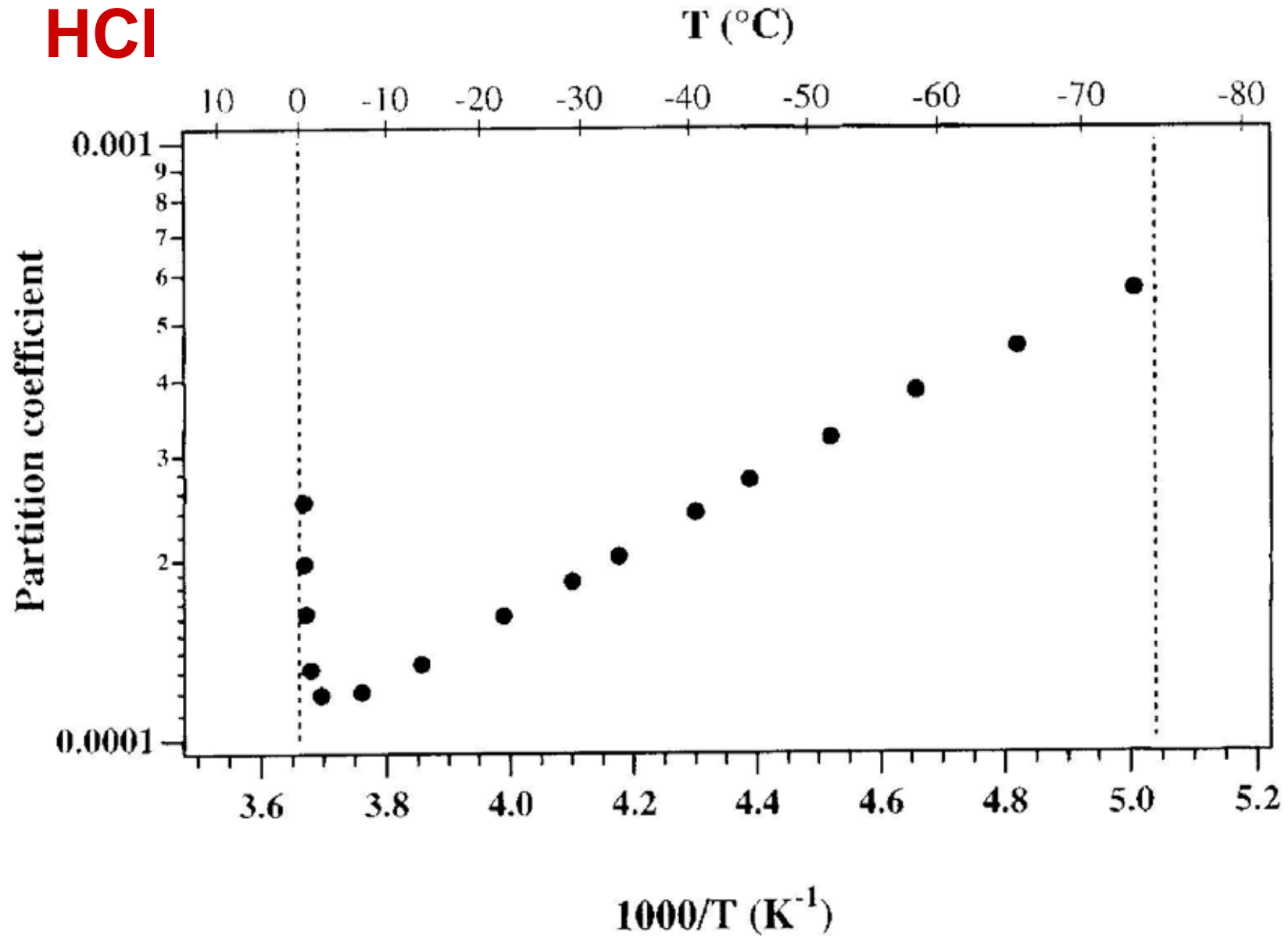


Incorporation de gaz pendant le givrage



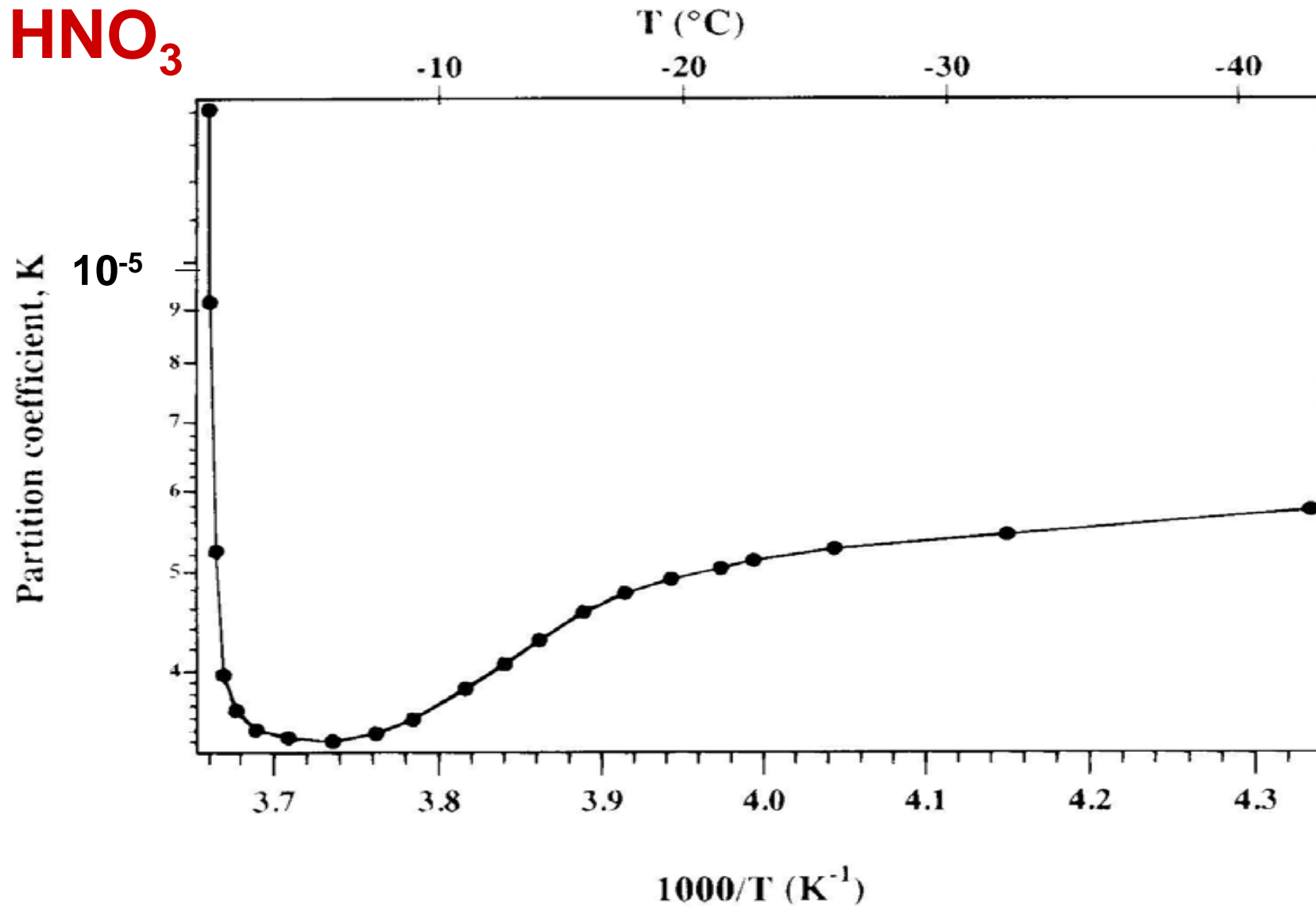
Solubilité des gaz dans l'eau et dans la glace

HCl



Solubilité des gaz dans l'eau et dans la glace

HNO₃



Cristal de
glace

Gouttelette d'eau s'impactant
sur la glace

Dégazage de HNO_3

Concentration de HNO_3

10 ppm

50 ppm

200 ppm

5000 ppm

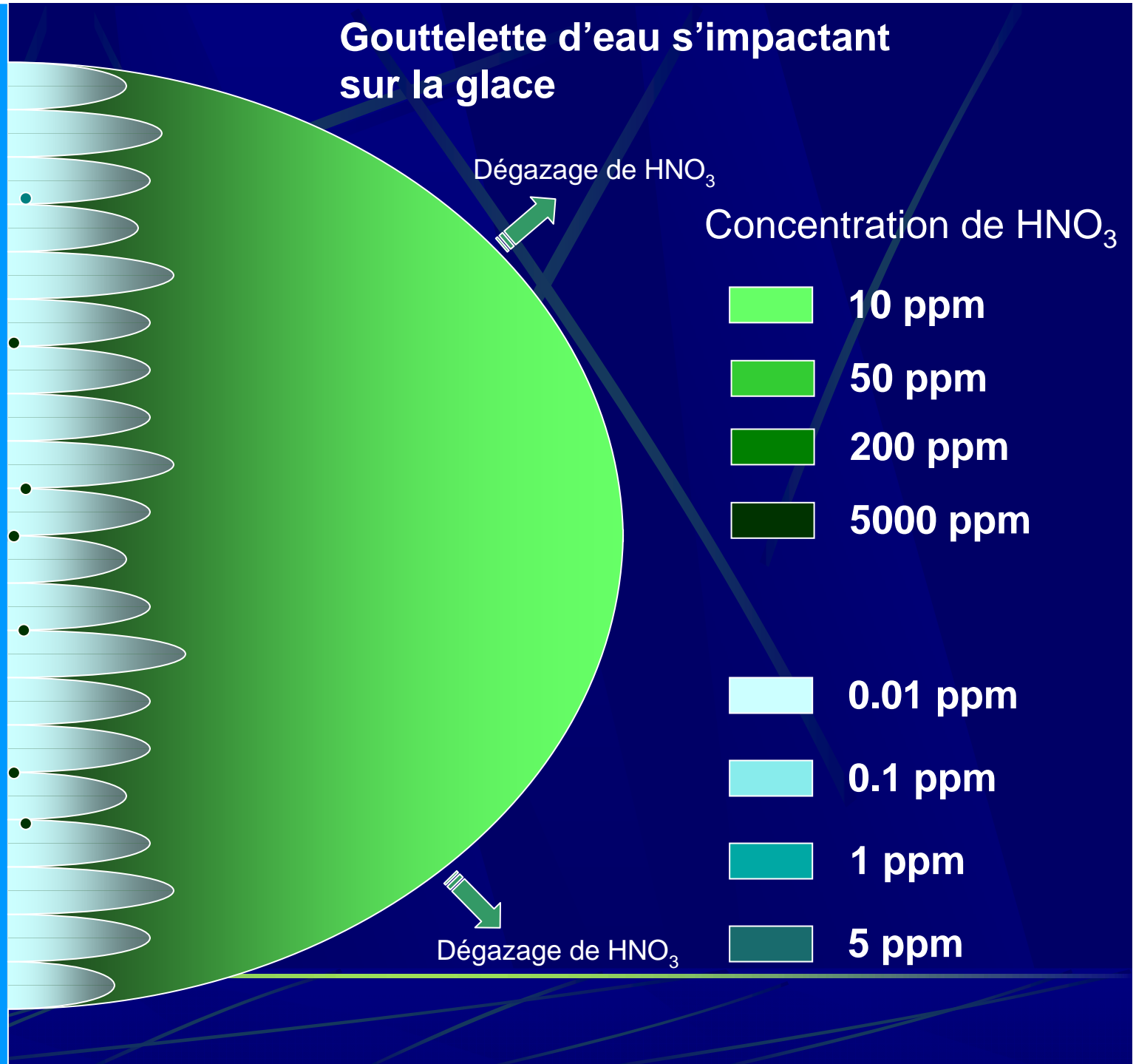
0.01 ppm

0.1 ppm

1 ppm

5 ppm

Dégazage de HNO_3



Résumé : incorporation d'impuretés dans la neige

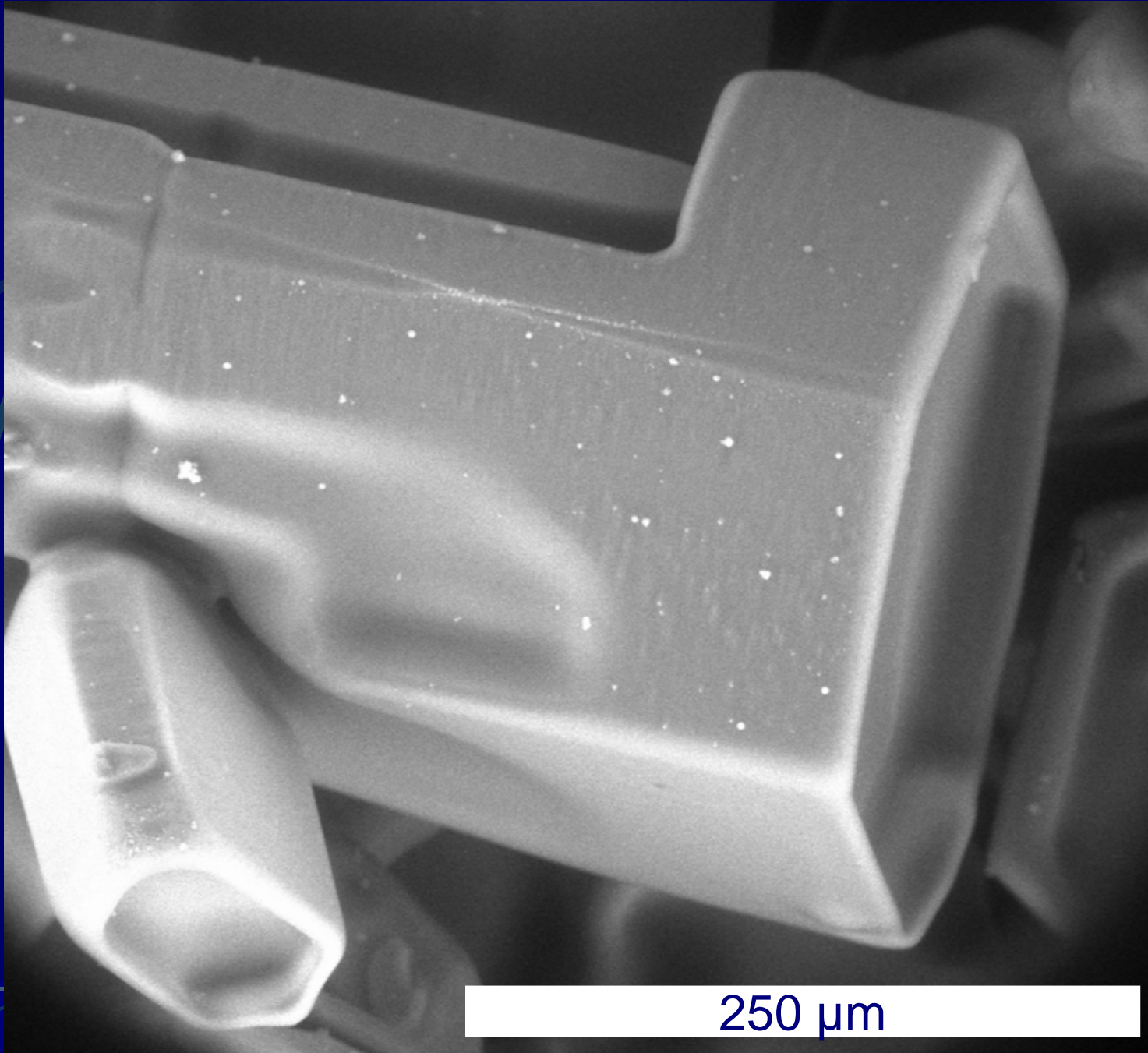
Noyau : NG ou NCN, piégé à l'intérieur du cristal de neige

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 μm

Impuretés dans la neige

Solubles dans l'eau

Non solubles

chromatographie
liquide

chromatographie
ionique

molécules

HCHO 0.5 µM
CH₃CHO 0.3 µM
CH₃OH 0.1 µM

ions

ions minéraux

SO₄²⁻ 3 µM
NO₃⁻ 2 µM
Cl⁻ 1 µM
Ca²⁺ 3 µM
Mg²⁺ 2 µM
NH₄⁺ 0.5 µM
K⁺ 0.5 µM
Na⁺ 0.5 µM

ions organiques

HCOO⁻ 0.5 µM
CH₃COO⁻ 0.2 µM
C₂O₄²⁻ 0.1 µM

molécules

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

Compositions : pluie vs. neige

PLUIE	μM	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{--}		Na^+	NH_4^+	K^+	Mg^{++}	Ca^{++}
Inde Rurale Village semi aride ¹		30.6	42.6	7.7		19.4	43.4	2.5	39.2	67.1
Pologne grande ville cotière ²		75	52	67		79	35	55	11.5	71.5

NEIGE	μM	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{--}		Na^+	NH_4^+	K^+	Mg^{++}	Ca^{++}
Spitsberg 27 Avril 2001		28.9	3.8	5.8		24.6	3.5	0.7	2.9	2.6
Spitsberg 29 Avril 2001		0.5	2.3	0.3		0.7	0.3	0.1	0.1	0.2

Eau Perrier		649	----	437		500	-----	-----	288	3717
--------------------	--	-----	------	-----	--	-----	-------	-------	-----	------

¹ Satsangi et al. (1998) Atmos. Environ., 32, 3783-3793.

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