

Etude de la matière interstellaire : Caractérisation de l'émission des grains Physico-chimie dans les milieux denses et froids

Nathalie Boudet

Directeurs de thèse :

Claude Mény
Isabelle Ristorcelli



Département Univers Froid



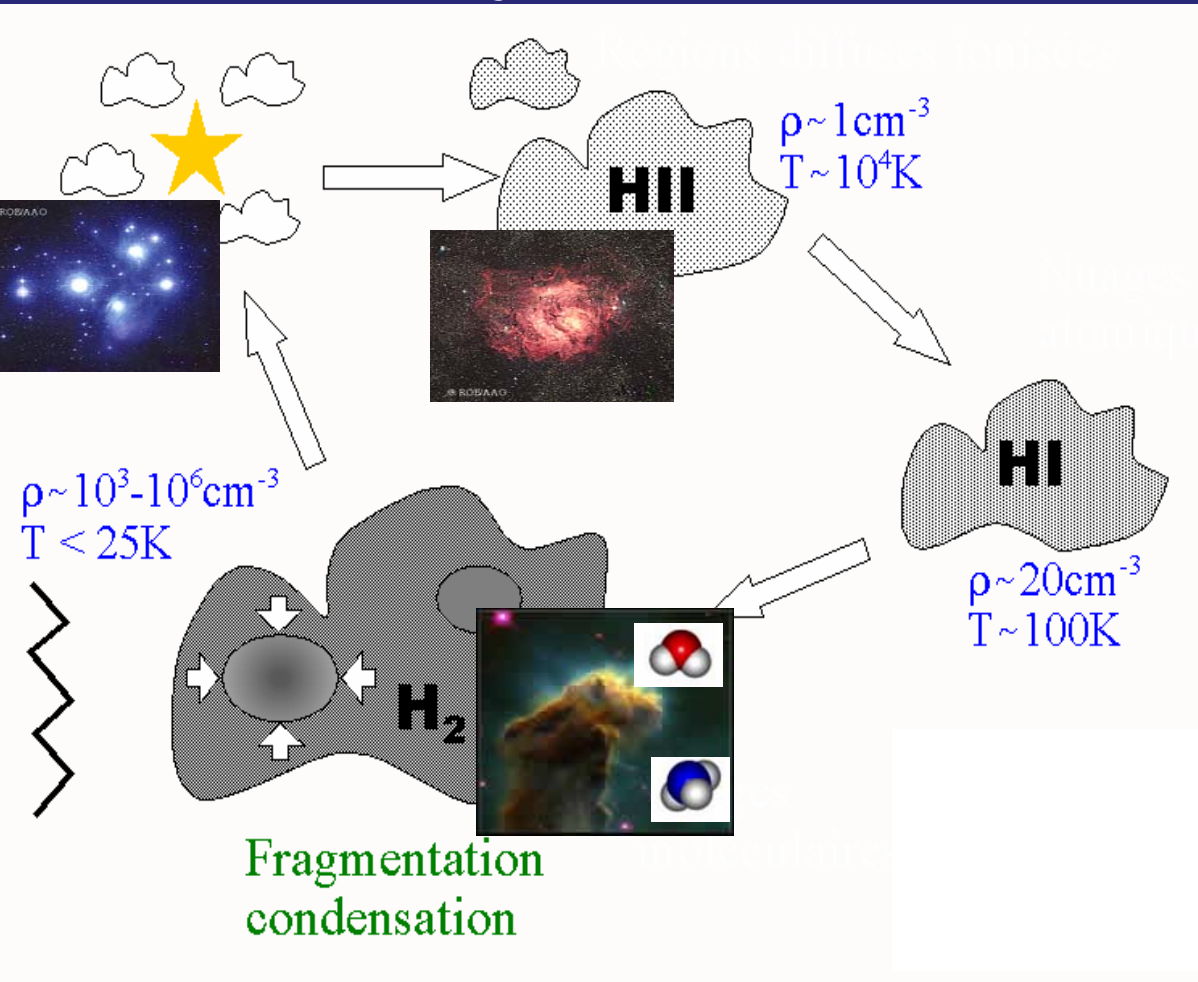
Plan de présentation

1. Contexte de recherche
2. Étude théorique de l'émission de grains amorphes
3. Étude en laboratoire de l'absorption des grains silicatés à basse température et dans le domaine submillimétrique
4. Gaz et grains dans une condensation froide du Taureau
5. Etude de l'eau, molécule clé du refroidissement des régions pré-stellaires, par son émission dans le submillimétrique, grâce au satellite ODIN
6. Conclusions et perspectives

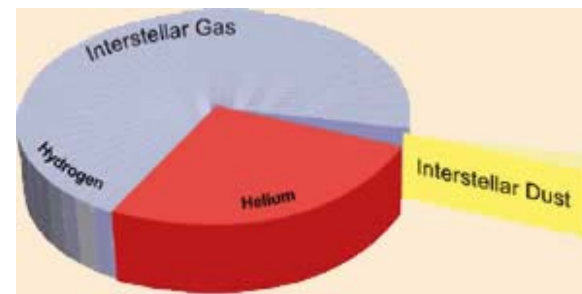
Plan de présentation

1. Contexte de recherche
2. Étude théorique de l'émission de grains amorphes
3. Étude en laboratoire de l'absorption des grains silicatés à basse température et dans le domaine submillimétrique
4. Gaz et grains dans une condensation froide du Taureau
5. Etude de l'eau, molécule clé du refroidissement des régions pré-stellaires, par son émission dans le submillimétrique, grâce au satellite ODIN
6. Conclusions et perspectives

1.1. Le cycle du milieu interstellaire



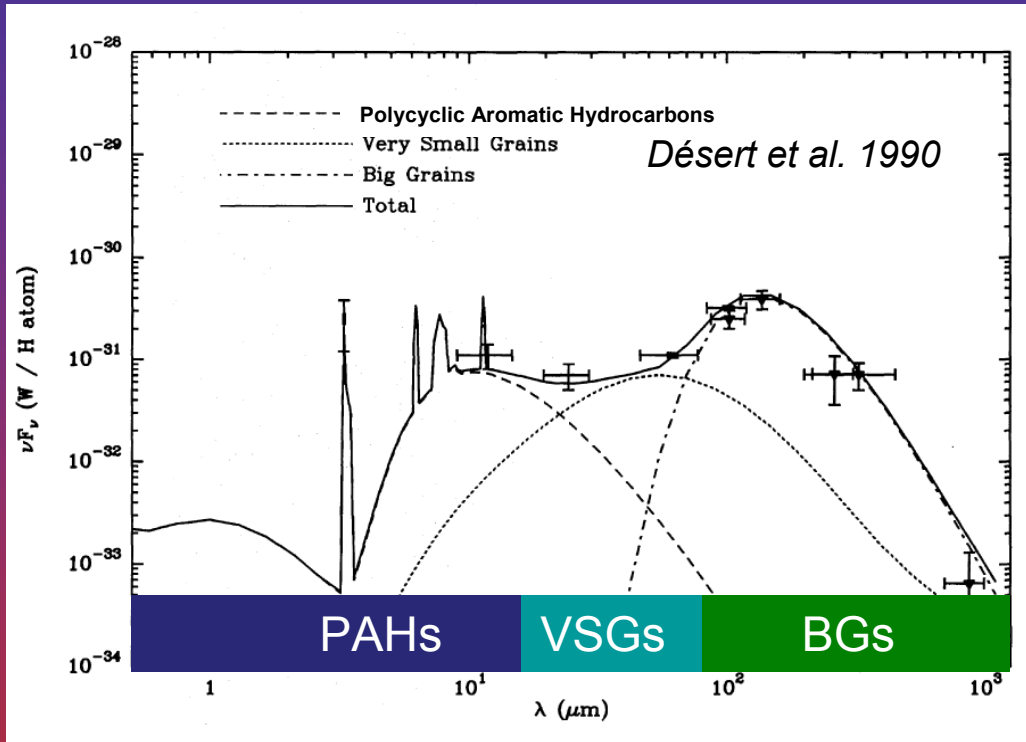
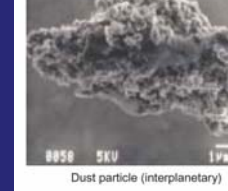
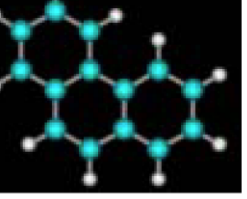
MIS=gaz +grains



Grains = 1% en masse du gaz

Comprendre premières étapes de la formation stellaire → **Etude des propriétés physico-chimiques du gaz et des grains dans les cœurs denses et froids** ⇨ **Evolution propriétés milieux diffus vers denses**

1.2. Modèles de grains interstellaires dans le MIS diffus



3 composantes :

- Molécules aromatiques PAHs
- Très petits grains carbonés VSG (hors eq. thermique)
- Gros grains silicatés amorphes BGs ($\sim 0.1 \mu\text{m}$) rayonnant dans le submm à l'équilibre thermique :

$$I_V = A \nu^\beta B_V(T)$$

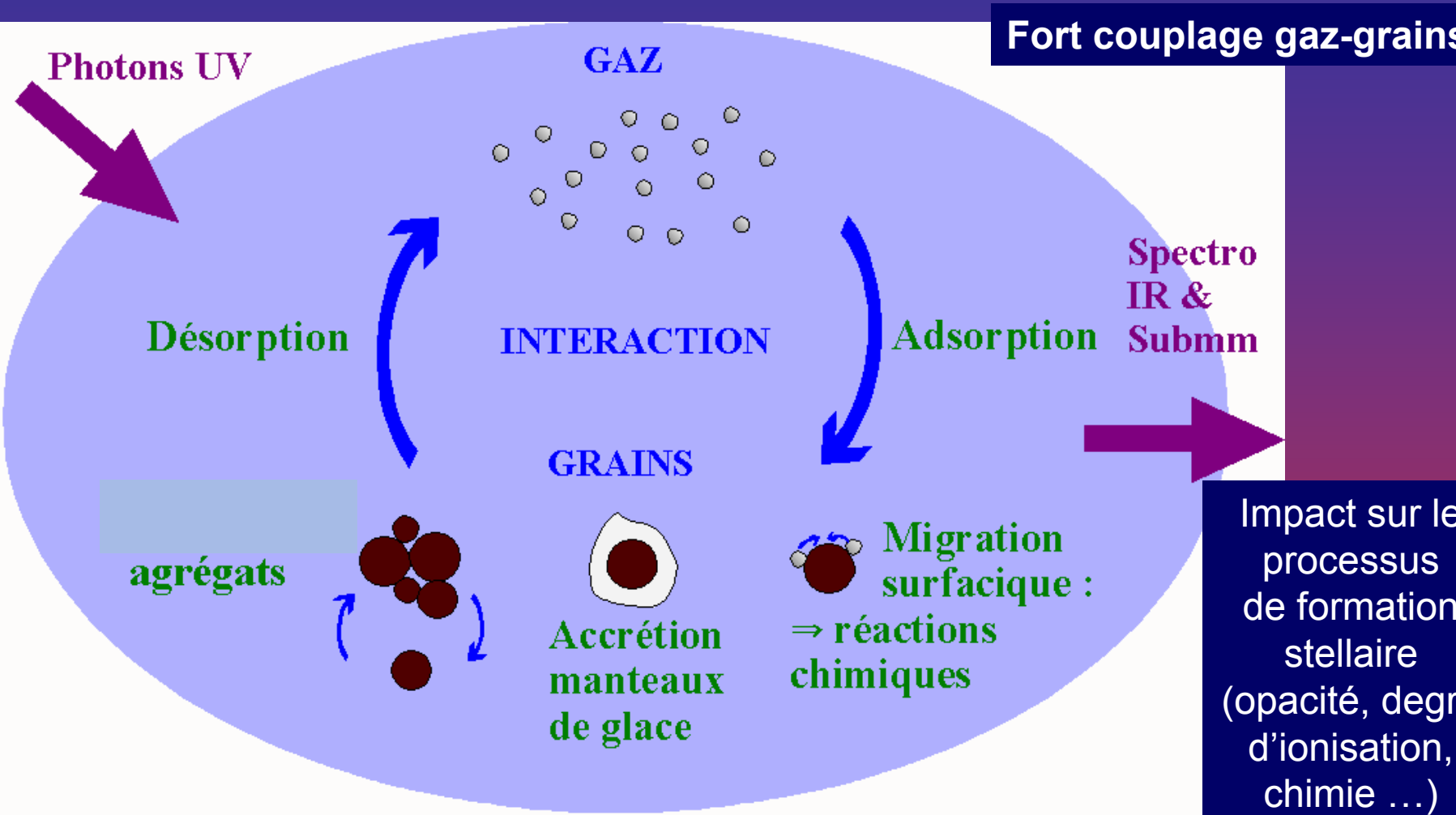
loi d'émission des grains : détermination de la masse, opacité, T ...

Trait commun de ces modèles
Propriétés intrinsèques des grains indpt de T et de ν :

$$\beta = \text{cst}$$

Évolution des prop. des grains dans les environnements denses ?

1.3. Evolution des propriétés du milieu diffus → dense et froid



Evolution des mécanismes d'interaction des milieux diffus → denses

Modifications propr. physico-chimiques gaz & grains

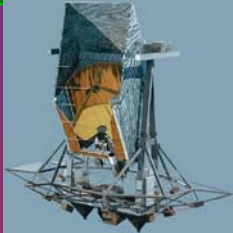
• Nécessité de mieux comprendre les processus à l'œuvre dans ces régions

1.4. Objectifs de la thèse

GRAINS



Observations
astrophysiques



Etudes
théoriques

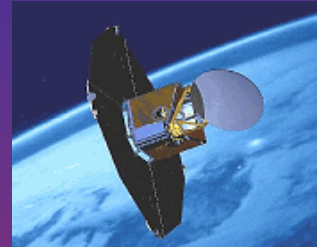
Mesures de
laboratoire

Emission dans le
continuum
submillimétrique des
grains de poussières :
 T, β, N , émissivité

Interactions gaz-grains

Agrégation,
manteaux de glace

GAZ



ODIN
Raies submm
 H_2O



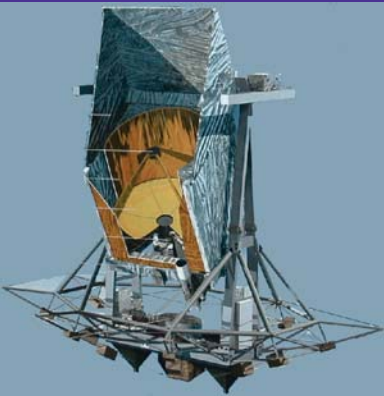
Observations
sol (IRAM ...)
 CO, N_2H^+

Emission des molécules
dans leurs transitions
rotationnelles : T° ,
densité, turbulence,
chimie du milieu

Plan de présentation

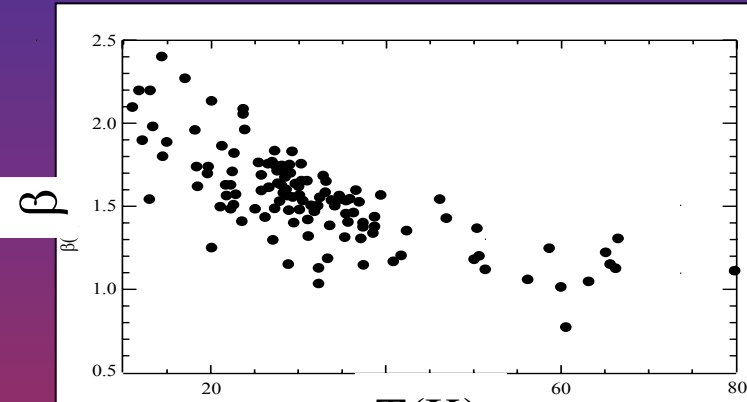
1. Contexte de recherche
2. Étude théorique de l'émission de grains amorphes
3. Étude en laboratoire de l'absorption des grains silicatés à basse température et dans le domaine submillimétrique
4. Gaz et grains dans une condensation froide du Taureau
5. Etude de l'eau, molécule clé du refroidissement des régions pré-stellaires, par son émission dans le submillimétrique, grâce au satellite ODIN
6. Conclusions et perspectives

2.1. Données observationnelles



PRONAOS : mesure de l'émission submm des gros grains dans différents sites du MIS ; $\lambda_{\text{PRONAOS}} \in [100, 1000] \mu\text{m}$ -
Résolution angulaire : 3.5'

**Anti-corrélation
prononcée entre
T et β**
Dupac et al., 2003

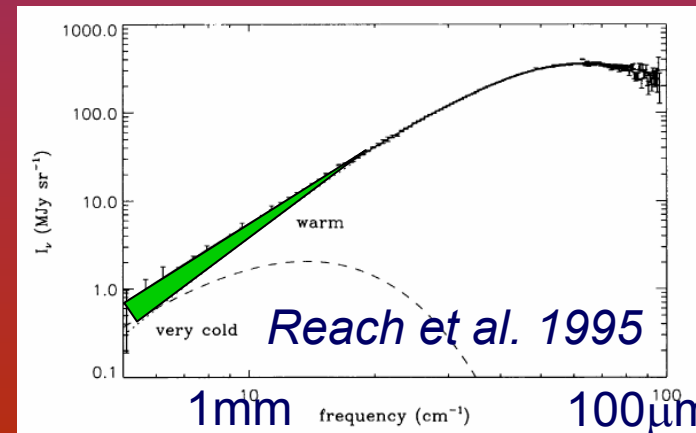


Insuffisance des modèles actuels de grains : $\beta = \text{cst}$

FIRAS : mesure de l'émission galactique à grande échelle
 $\lambda_{\text{FIRAS}} \in [100 \mu\text{m} - 10 \text{mm}]$
Résolution angulaire = 7°



**Excès d'émission
submm le long du
plan galactique
variation de β avec ν**



2.2. Données de laboratoire

Agladze (1996)

T = 1K - 30K

700 μm -2mm

Silicates amorphes
MgSiO₃ et Mg₂SiO₄

Bösch (1978)

T=1.5K-300K

500 μm -5mm

silicate amorphe :
Soda-lime silica glass

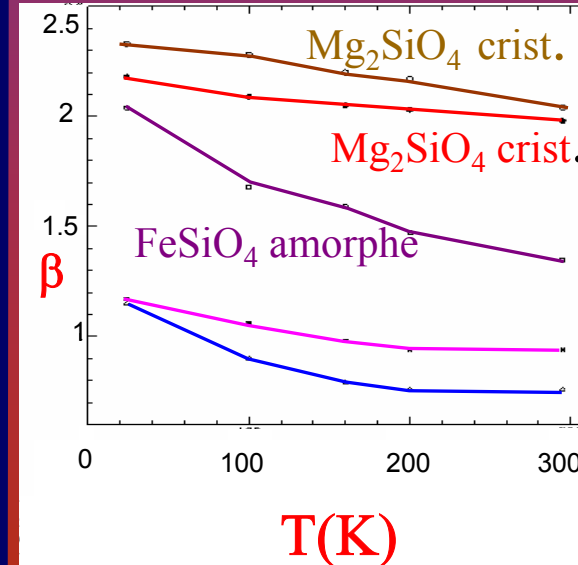
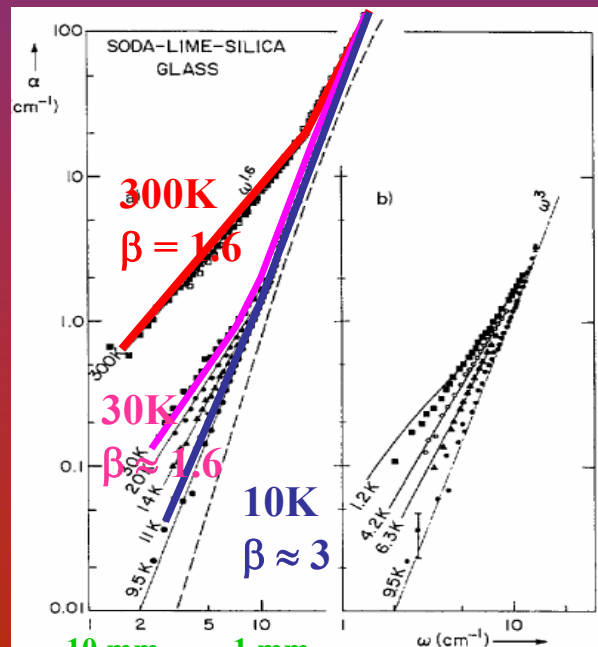
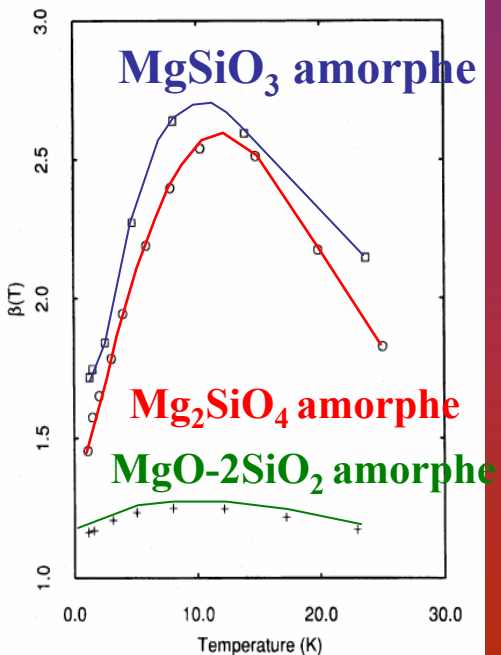
Mennella (1998)

T = 24K – 294K

20 μm -2mm

silicates amorphes et
cristallins

Caractéristiques communes entre données de laboratoire
et données astrophysiques



2.2. Données de laboratoire

Agladze (1996)

T = 1K - 30K

700 μm -2mm

Silicates amorphes
 MgSiO_3 et Mg_2SiO_4

Bösch (1978)

T=1.5K-300K

500 μm -5mm

silicate amorphe :
Soda-lime silica glass

Mennella (1998)

T = 24K – 294K

20 μm -2mm

silicates amorphes et
cristallins

**Caractéristiques communes entre données de laboratoire
et données astrophysiques**

Interprétation des données de laboratoire en terme de :

**Effet résonnant dans
des systèmes à deux
niveaux (TLS= Two
Levels System)**

**Processus TLS+
absorption
structure
désordonnée du
matériau**

**Différence de
deux phonons**

**\Rightarrow Les processus invoqués peuvent-ils expliquer
les données astrophysiques ?**

2.2. Données de laboratoire

Bösch (1978)

T=1.5K-300K

500 μm -5mm

silicate amorphe :
Soda-lime silica glass

Variation de β avec T
et β dépendant de ν

Utilisation de la
modélisation de Bösch :
mécanismes TLS+
absorption due à la
structure désordonnée
du matériau

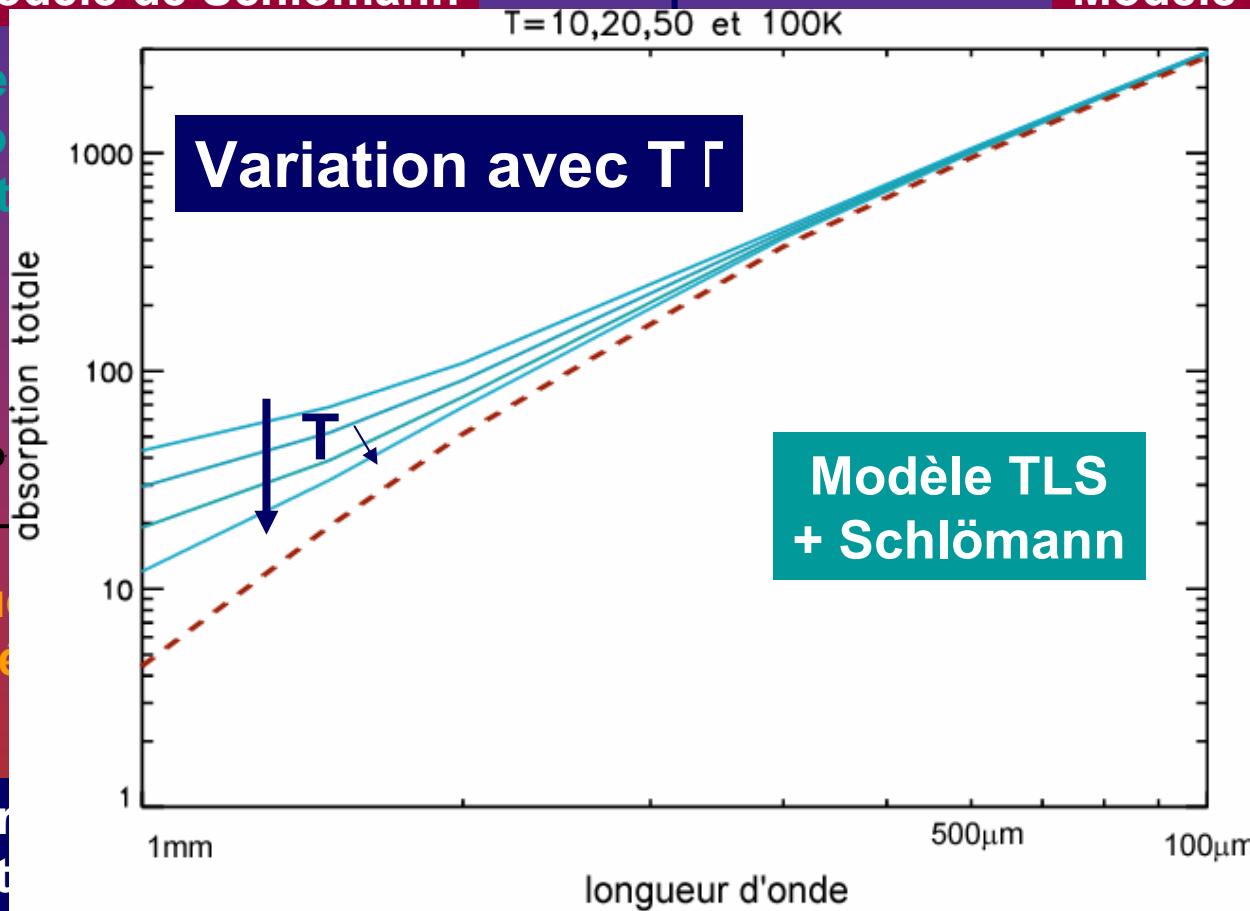
Tester l'aptitude de ce modèle à reproduire l'anticorrélation
PRONAOS et l'excès submillimétrique FIRAS

2.3. La modélisation du désordre : Modèle TLS et modèle de Schlömann (1964)

Modélisation de Bösch (1978)

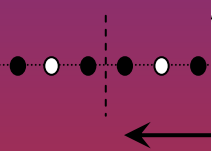
Modèle de Schlömann

Modèle TLS

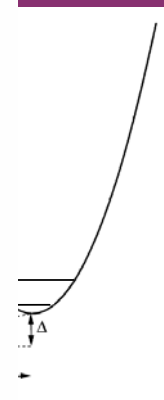


Désordre
variatio
st

uits de potenti
permettent une
es ou de groupe
rations spatiale
voisines



L : longu
Neutralité



Absor
la t

pendante de
e et $\beta < 2$

Choix des paramètres utilisés par Bösch, valable pour un silicate amorphe de composition
73% de SiO₂, 17% de Na₂O, 8% de CaO

2.4. La modélisation du désordre : le modèle de Schlömann (1964), indépendant de T

$$\alpha_{\text{back}} \approx \frac{2 \cdot (\epsilon + 2)^2}{3^3 \cdot c \cdot \sqrt{\epsilon} \cdot c_t^3} \cdot \frac{\langle q^2 \rangle}{\bar{m}} \cdot \omega^2 \cdot \left[1 - \left(1 + \frac{\omega^2}{\omega_0^2} \right)^{-2} \right]$$

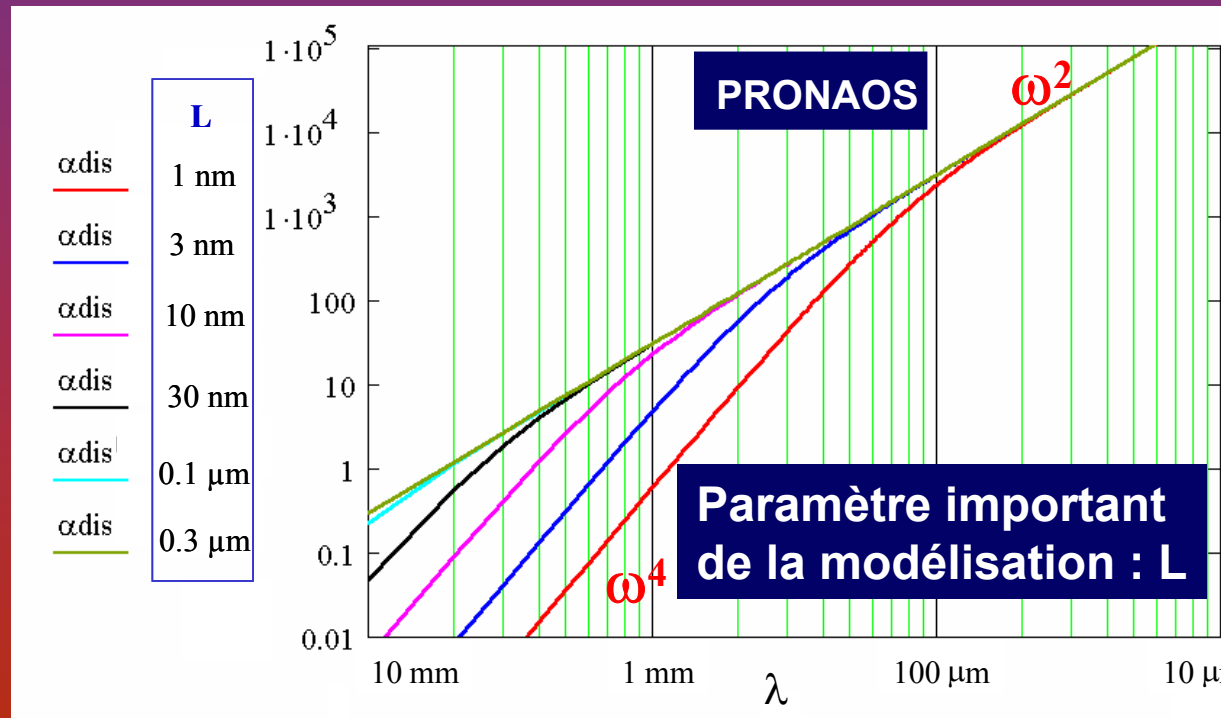
Dépendance fréquentielle

$$\omega_0 = \frac{2\pi c_t}{L}$$

Suivant la valeur de L :
dépendance entre ω^2 et ω^4

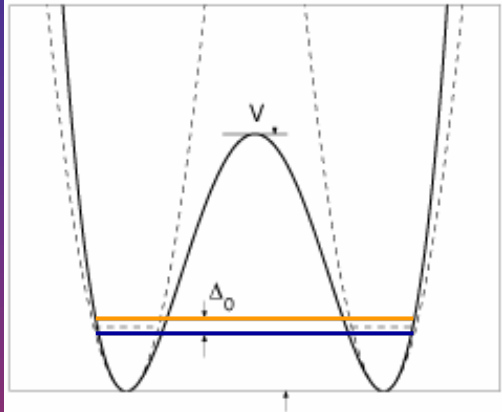
Intensité du processus

ϵ : constante diélectrique
 c : vitesse de la lumière
 c_t : vitesse du son
 $\langle q^2 \rangle / \bar{m}$: déviation de charge moyenne

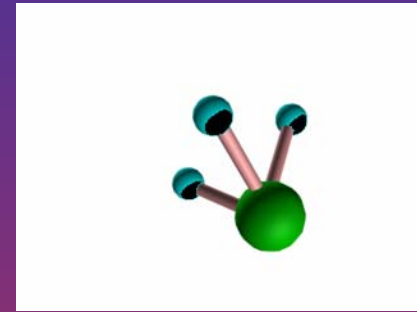
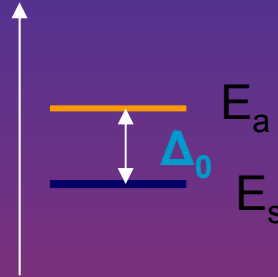


2.5. La modélisation du désordre : le modèle TLS (Phillips, 1971), dépendant de T

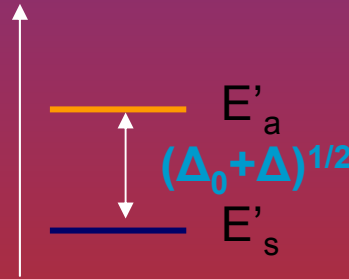
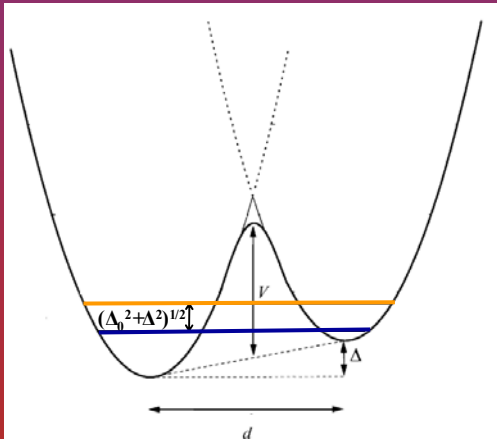
Double puits symétrique



Inversion de la molécule d'ammoniac
par effet tunnel résonnant



NH₃



Effet tunnel résonnant

$$\alpha_{res}(\omega) = \frac{4\pi^2 \cdot N(\omega) \cdot \mu^2}{3c \cdot \sqrt{\epsilon}} \cdot \omega \cdot \tanh\left(\frac{\hbar\omega}{2kT}\right)$$

intensité

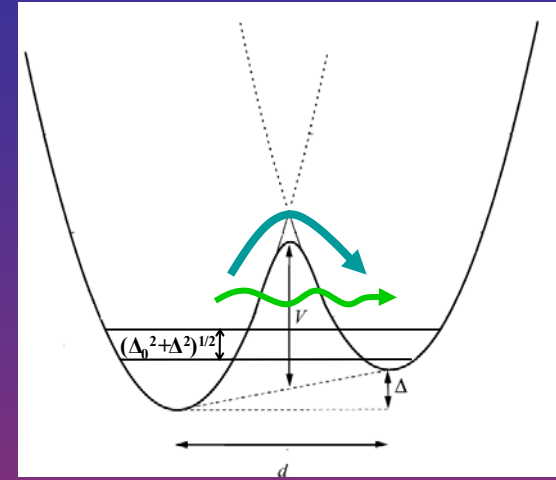
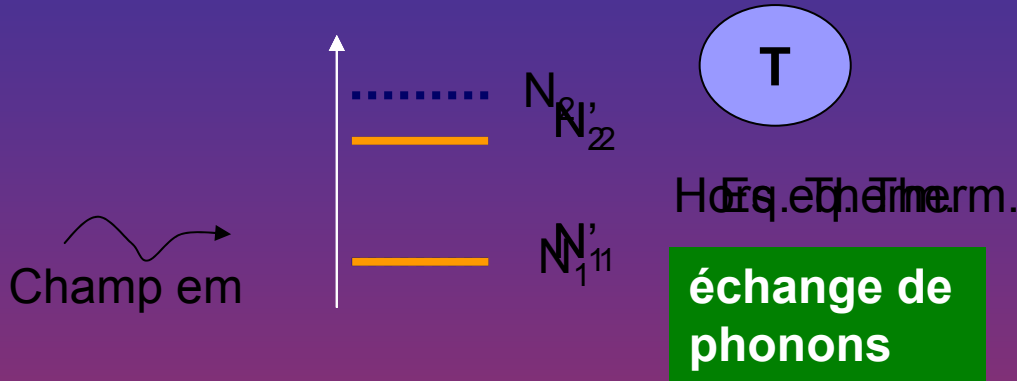
dépendance
fréquentielle

Distribution de double puits
de potentiel d'asymétrie Δ
haut. V , dist. D

\Rightarrow Densité d'états $N(\omega)\mu^2$

2.6. Le modèle TLS (*Phillips, 1971*)

Couplage avec environnement local à T :
Processus de relaxation



Relaxation par effet tunnel assisté par un phonon

$$\alpha_{ph}(\omega) = A \int \frac{\exp(E/kT)}{kT(1 + \exp(E/kT))^2} \frac{\omega^2 \tau_r}{1 + \omega^2 \tau_r^2} dE$$

Relaxation par sauts activés thermiquement assistée par 2 phonons

$$\alpha_{hop}(\omega) = \left(\frac{h}{T}\right) \int_0^\infty P(V) \cdot \frac{\omega^2 \tau_{hop}(v)}{1 + \omega^2 \tau_{hop}(v)^2} \cdot dV$$

Intensité du processus:

A et h : constantes de relaxation

Dépendance fréquentielle :

τ_r et τ_{hop} : temps de relaxation

P(V) : distribution de la barrière de potentiel

2.7. Modélisation de l'anticorrélation T- β

Calcul spectre d'émission

Calcul de T et β issu de la procédure de traitement PRONAOS

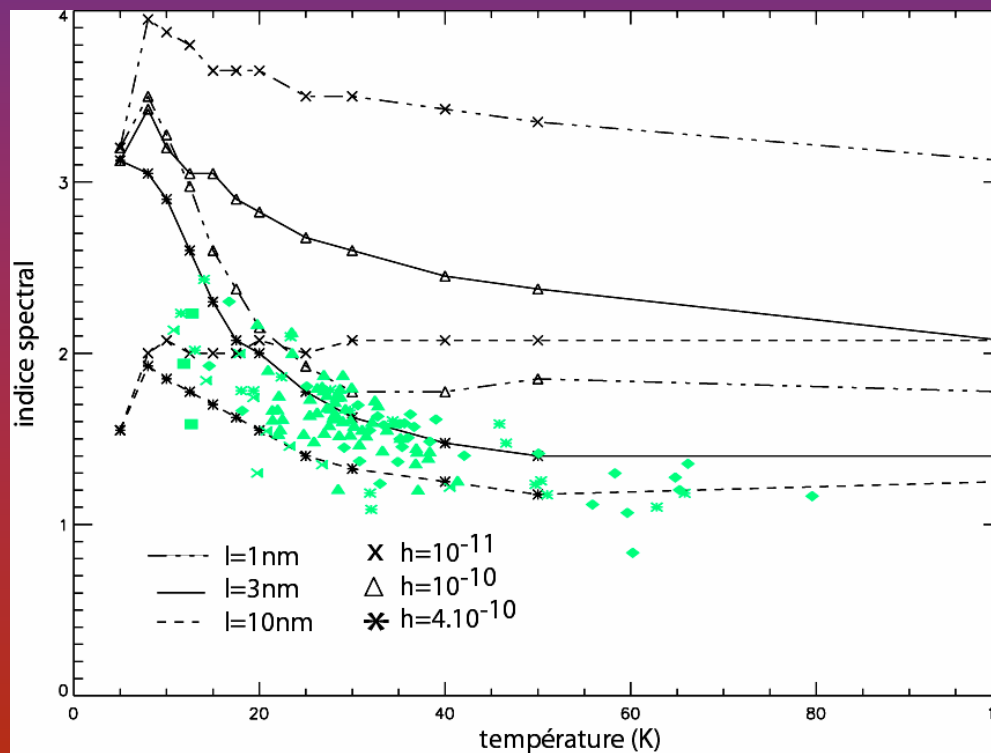
On se restreint à deux paramètres libres :

- La longueur de corrélation L
- La constante de relaxation h du mécanisme activé thermiquement

**Anticorrélation reproductible
pour**

$h = 10^{-10} - 4 \cdot 10^{-10} \text{ cm}^{-1} \cdot \text{s}$
 $L = 1 - 5 \text{ nm}$

Augmentation de 30-100 du
processus
activé thermiquement



2.8. Modélisation de l'excès submillimétrique FIRAS

Paramètres libres :

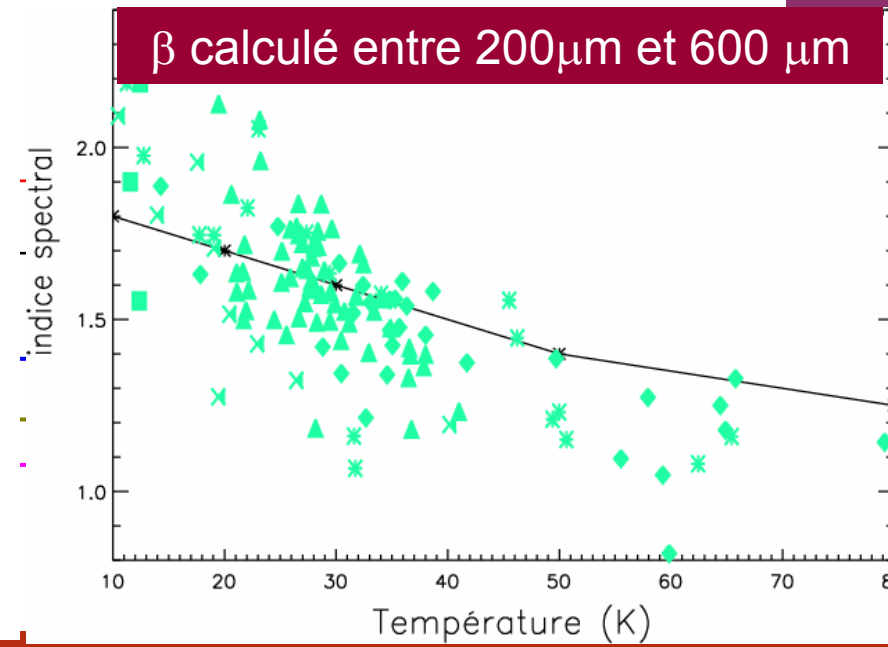
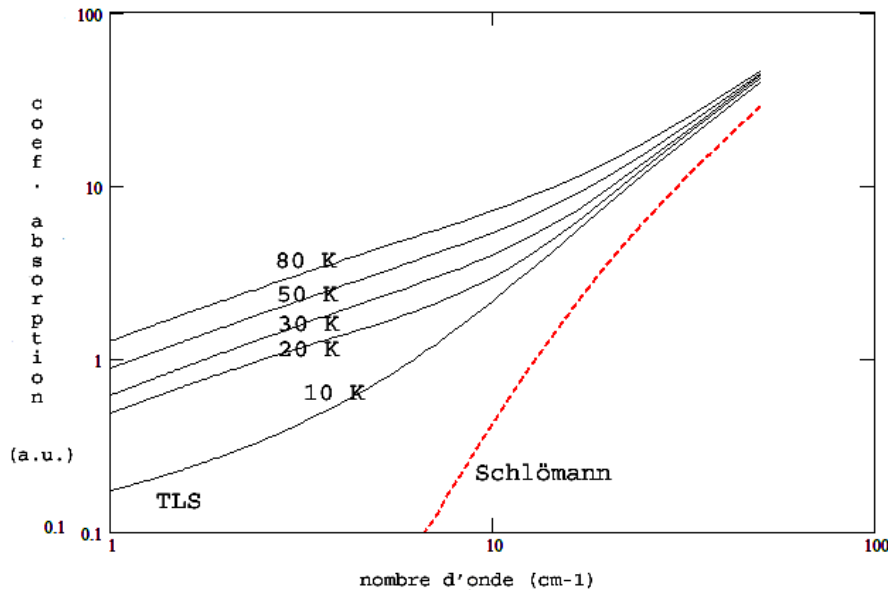
- La longueur de corrélation L
- La constante de relaxation h du mécanisme activé thermiquement
- La constante de relaxation A du mécanisme assisté par phonons
- La densité d'états TLS $N\mu^2$

$L = 5\text{ nm}$

$N\mu^2 = 5.6 \times 10^{-2}$ (unités cgs)

$A = 2.6 \times 10^{-10} \text{ cm}^{-1} \cdot \text{s}$

$h = 6 \times 10^{-10} \text{ cm}^{-1} \cdot \text{s}$



2.9. Conclusions

- **Modèle basé sur le modèle TLS (explique les propr. thermiques et diélectriques de tous les solides amorphes à basses T) + absorption due à la structure désordonnée du réseau**

Mény, Gromov, Boudet et al., A&A, en préparation

- **Pour la première fois ce modèle est appliqué à des données astrophysiques**

Modèle unique, basé sur Δ° prop. intrinsèques des grains, qui permet de rendre compte à la fois de l'anticorrélation T- β et de l'excès submm. FIRAS

Plan de présentation

1. Contexte de recherche
2. Étude théorique de l'émission de grains amorphes
3. Étude en laboratoire de l'absorption des grains silicatés à basse température et dans le domaine submillimétrique
4. Gaz et grains dans une condensation froide du Taureau
5. Etude de l'eau, molécule clé du refroidissement des régions pré-stellaires, par son émission dans le submillimétrique, grâce au satellite ODIN
6. Conclusions et perspectives

3.1. Dépendance en température de l'absorption submillimétrique de grains silicatés amorphes

Agladze	Bösch	Mennella
T = 1K - 30K	T=1.5K-300K	T = 24K – 294K
700 μm -2mm	500 μm -5mm	20 μm -2mm
Silicates amorphes MgSiO_3 et Mg_2SiO_4	un silicate amorphe : Soda-lime silica glass	un seul silicate amorphe FeSiO_4

Peu de mesures à basse T et grande λ :

- \Rightarrow Mesurer un + grand nombre de matériaux silicatés amorphes**
- \Rightarrow Choisir un domaine de T et ν pour comparaison avec les données observationnelles (PRONAOS)**



Campagnes de mesures à l'AIU d'Iéna

3. 2. Configuration instrumentale (AIU, Iéna)



Spectromètre à Transformée de Fourier
(Bruker 113 v)

couverture spectrale : **5cm^{-1} - 100cm^{-1}**
(2mm-100 μm)

résolution spectrale : 0.5 - 1cm^{-1}

Mesures de la transmission des échantillons

Cryostat à flux continu d'hélium liquide
(Cryovac-Konti Spektro B)

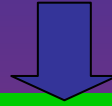
Températures d'étude :
300K, 200K, 100K, 30K, 10K

Détecteur bolométrique
refroidi à 1.5 K



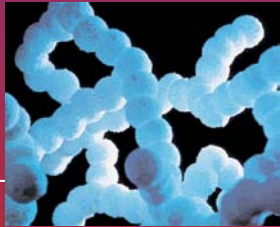
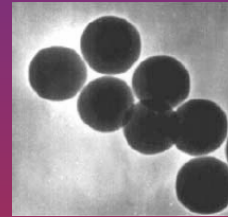
3. 3. Silicates amorphes étudiés

Étude combinée sur le plus simple des composés silicatés (SiO_2)
et sur un analogue de grains interstellaires (MgSiO_3)



Trouver les propriétés communes aux silicates amorphes

Silice commerciale SiO_2 amorphe :
billes de silice Lancaster ($\varnothing \sim 0.5 \mu\text{m}$)
billes de silice Merck ($\varnothing \sim 1.5 \mu\text{m}$)



chaînon microniques de billes
de silice nanométriques Aldrich

Enstatites amorphes MgSiO_3 synthétisés
par méthode sol-gel
par fusion à hautes températures (glass)

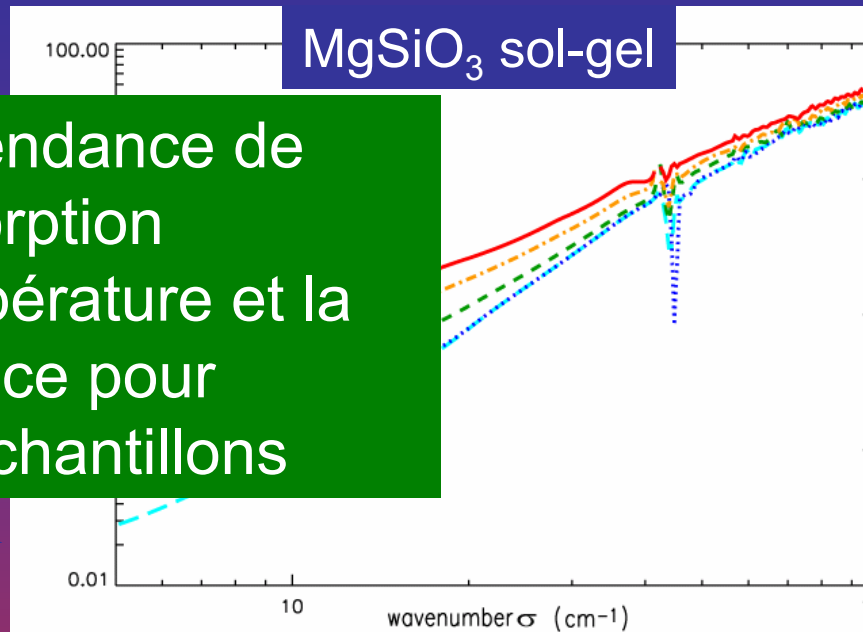
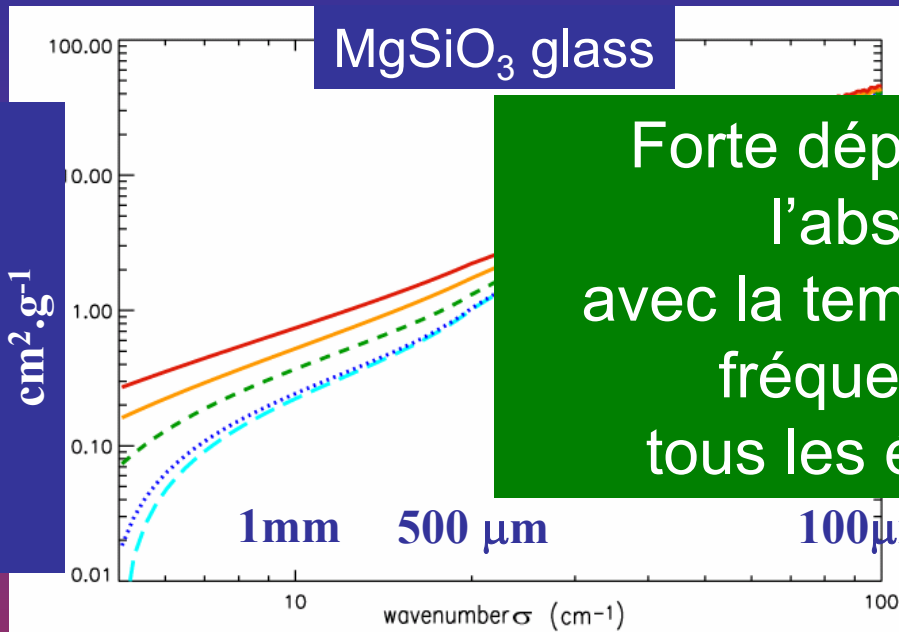
*Silicates
conditionnés
sous
forme de pastilles
enrobées
dans du
polyéthylène*

3. 4. Résultats

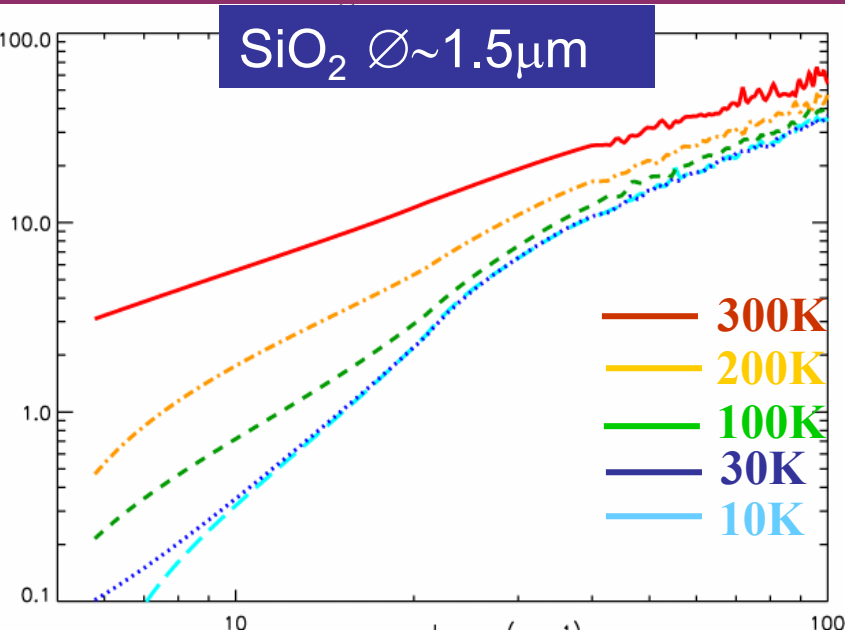
MgSiO₃ glass

MgSiO₃ sol-gel

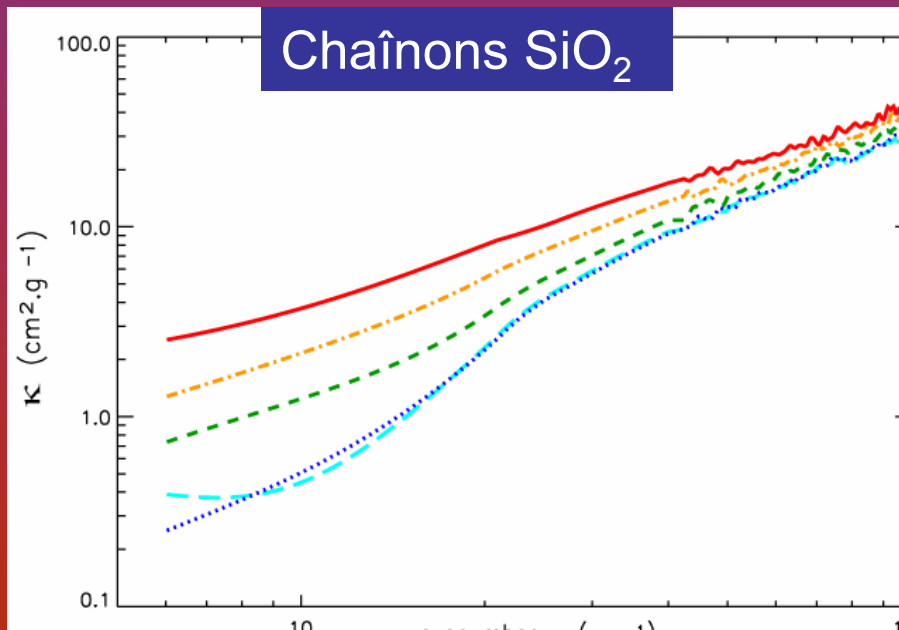
Forte dépendance de l'absorption avec la température et la fréquence pour tous les échantillons



SiO₂ Ø~1.5 μm

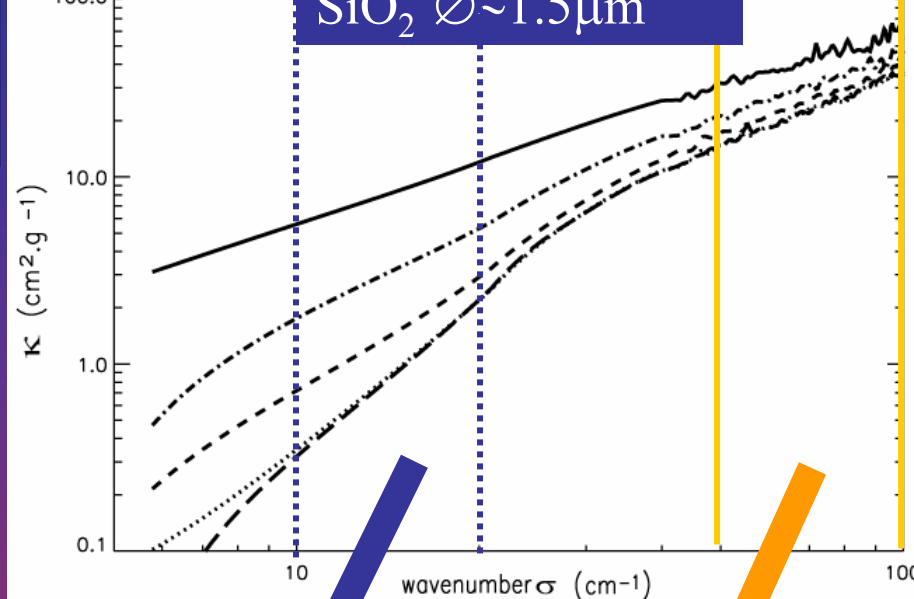


Chaînes SiO₂

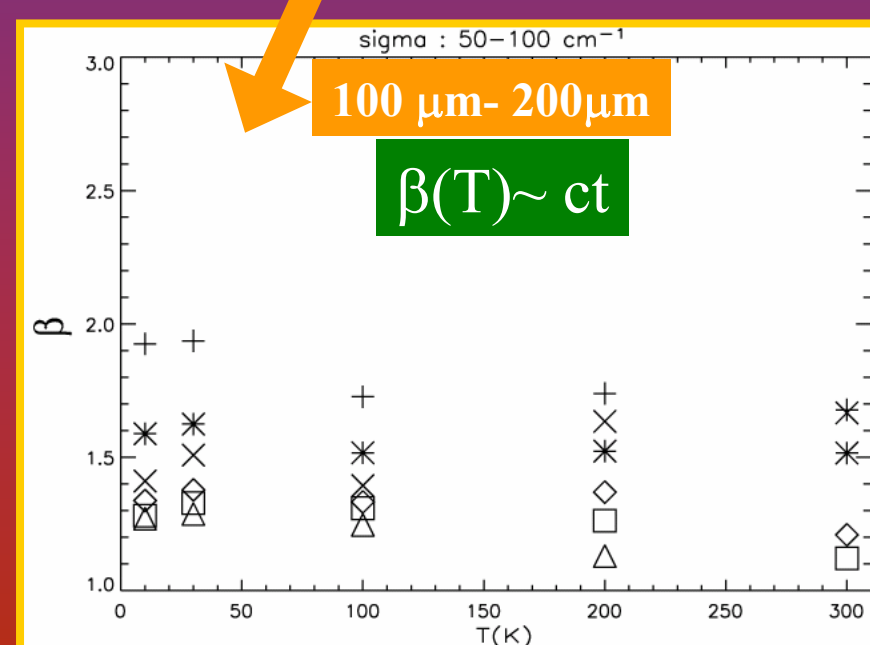
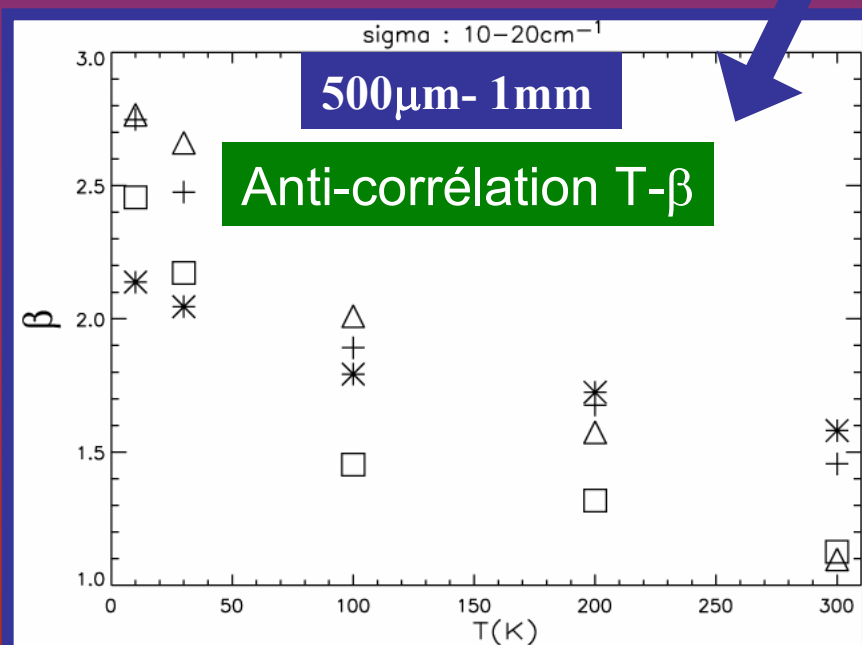


B. 5. $\beta(T, \nu)$

- \triangle SiO₂ 1.5 μm
- \square SiO₂ « fumed »
- $+$ MgSiO₃ sol-gel
- \star MgSiO₃ glass



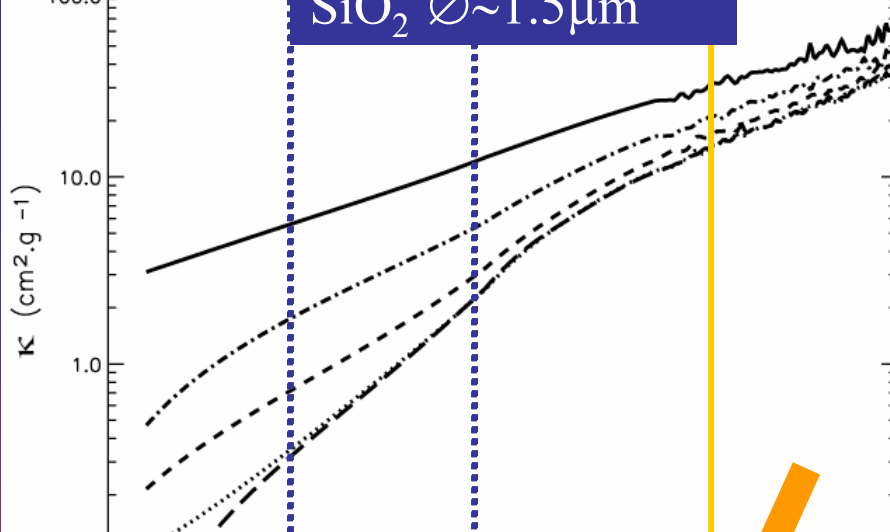
Cassure dans la loi d'absorption 2 dépend. fréquentielles distinctes



L'existence de deux domaines fréquentielles n'avait jamais été mise en évidence

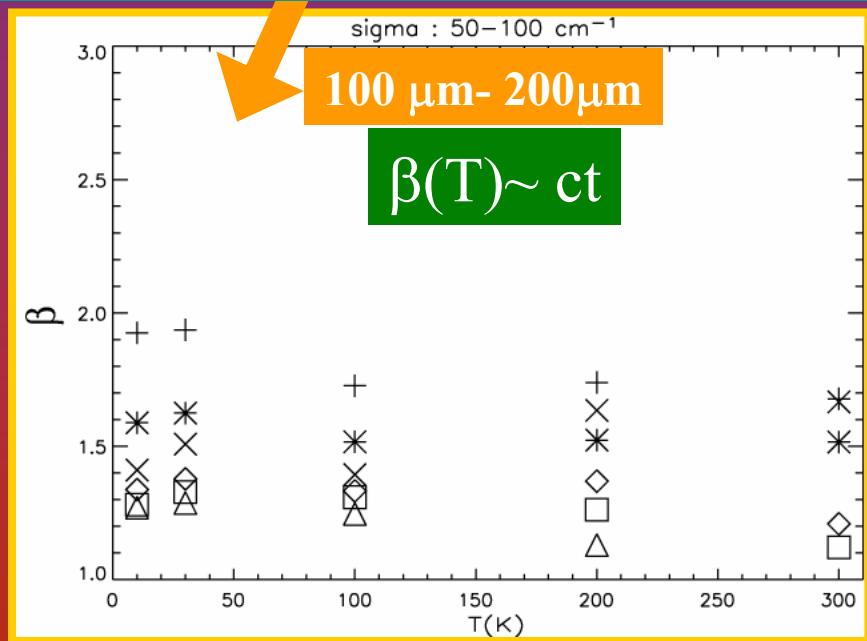
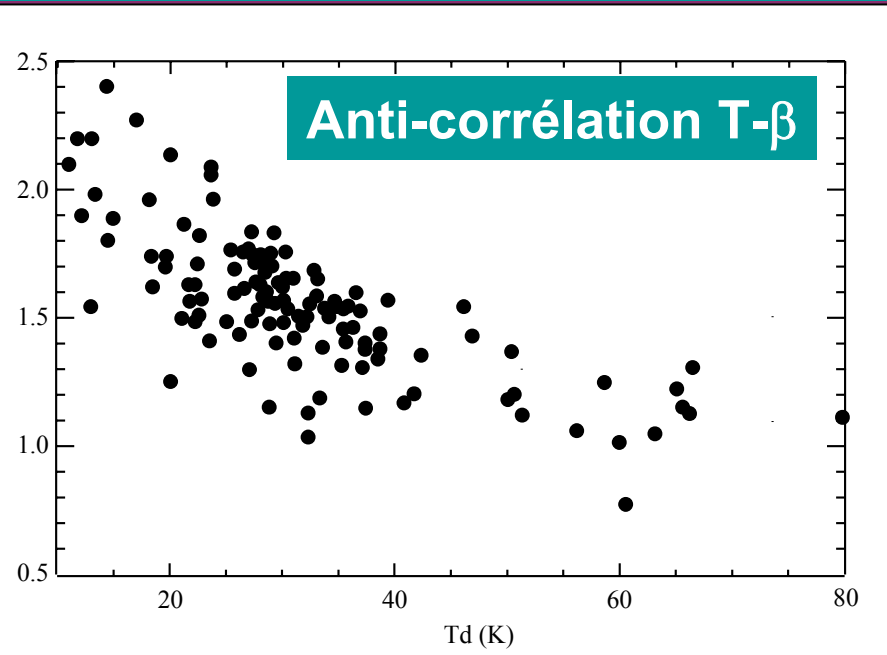
B. 5. $\beta(T, \nu)$

- \triangle SiO₂ 1.5 μm
- \square SiO₂ « fumed »
- $+$ MgSiO₃ sol-gel
- \star MgSiO₃ glass



Cassure dans la loi d'absorption 2 dépend. fréquentielles distinctes

L'anti-corrélation présente dans les données de laboratoire a la même allure que celle observée par PRONAOS



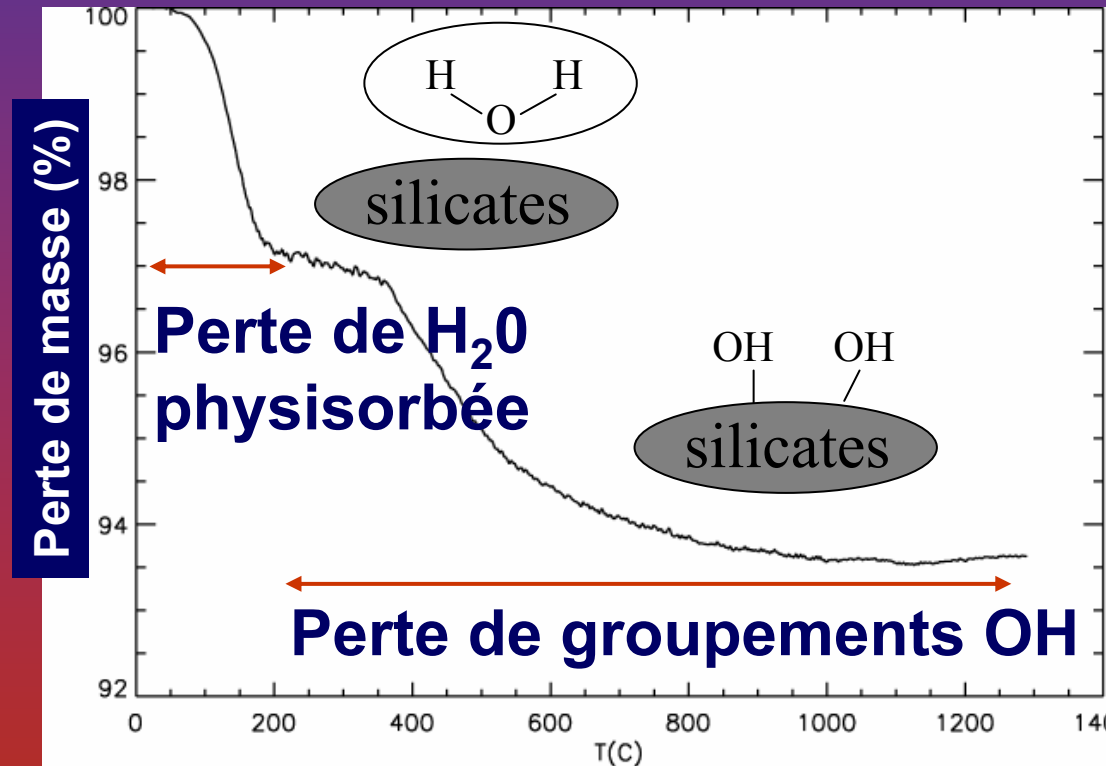
3. 6. Silicates : H₂O et groupements OH

- **Eau physisorbée** : molécule d'eau liée à la surface d'un matériau par des forces de type électrostatique (Van der Waals ..)
- **Groupements Si-OH** : liaisons chimiques entre Si et OH

Analyse
thermo-gravimétrique :
MgSiO₃ sol-gel
&
MgSiO₃ glass
contenu en eau physisorbée
TRES différent
MAIS comportements
similaires dans le domaine
submm.

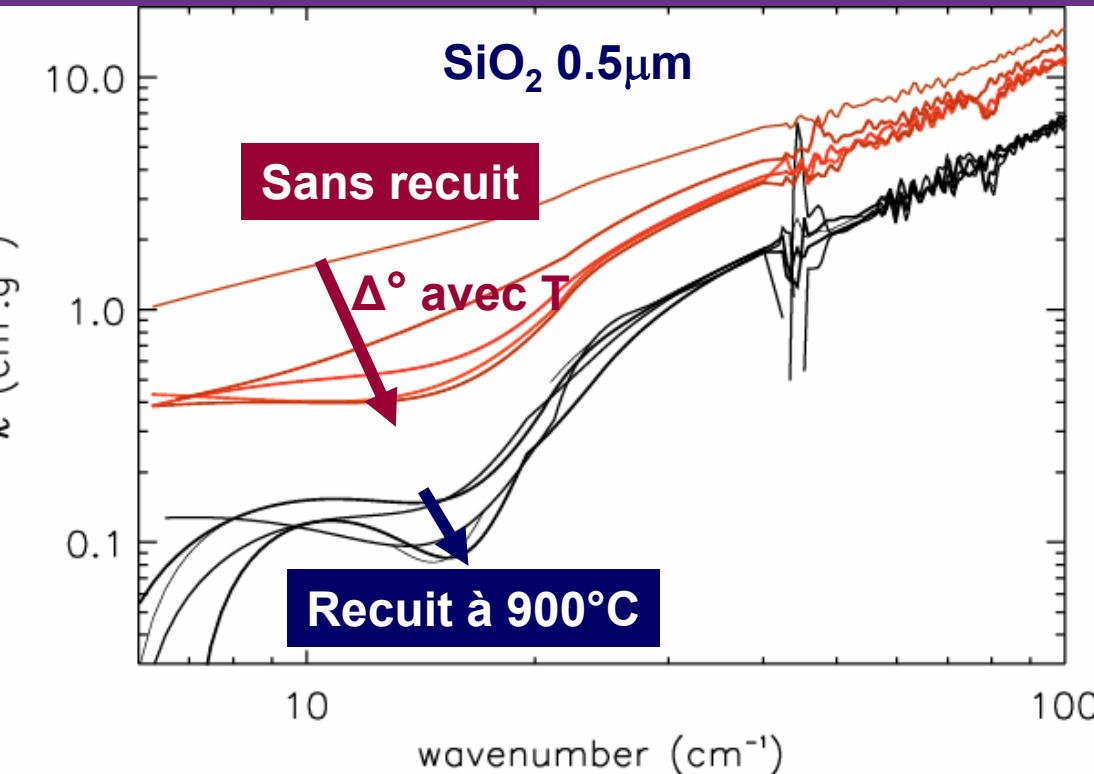


L'eau physisorbée n'EST
PAS à l'origine
du phénomène observé



3. 7. Origine de la dépendance en température : Les groupements OH ?

L'influence de OH est très importante sur les propriétés d'abs. des matériaux silicatés : la présence de OH dans les silices amorphes produit une absorption FIR dépendante de T



Traitement thermique à 900°C pdt 24h des billes SiO_2 $0.5\mu\text{m}$ supprime la dépendance en T de l'absorption. Ce traitement conduit à l'élimination des groupements OH.

Etude IR bande
Caractéristique de OH

⇒ La présence de groupements OH pourrait être une caractéristique commune à tous les échantillons présentant une forte dépendance en T

3. 8. Groupements OH et défauts structurels

OH peut être vu comme un défaut du matériau : la structure désordonnée de SiO_2 = désordre de la structure + teneur en OH

Peu de groupements OH dans MgSiO_3 glass mais quantité d'ions Mg^{2+} importante

Mg^{2+} peut-être considéré comme un défaut structurel qui modifie le réseau et qui agit de la même manière que les groupements OH

⇒ **comportement observé pourrait être la conséquence de la présence de défauts**

Influence des groupements OH :
Comportement modélisable par modèle TL S

3. 9. Conclusions

- **Comportement global** indpt de :
 - **Morphologie** : nanoparticules reliés en chaînons μm /
Particules sphériques ($\sim 1\mu\text{m}$) /
Grains microniques non sphériques
 - **Composition** : MgSiO_3 and SiO_2
 - **Processus de synthèse**: sol gel – fusion à hautes T

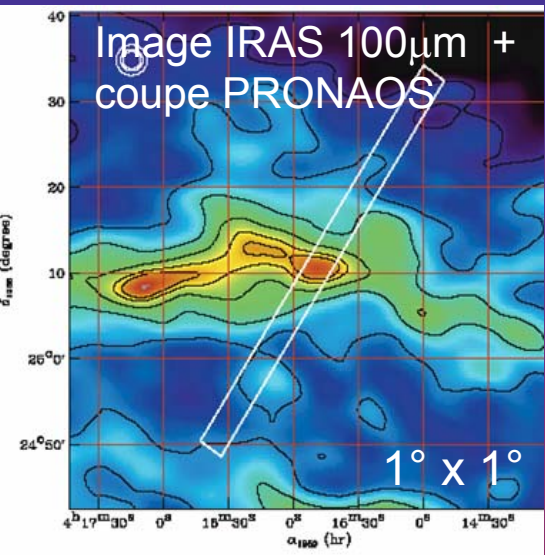
- Forte dépendance en T et en ν de l'absorption:
 - Suivant le domaine de ν , on peut définir **deux** $\beta \neq$
 - Forte **anticorrélation T- β** pour $\lambda=[500\mu\text{m}, 1\text{mm}]$
similaire à celle observée par PRONAOS

- Comportement explicable par la **présence de défauts (OH, Mg^{2+})** dans la structure

Plan de présentation

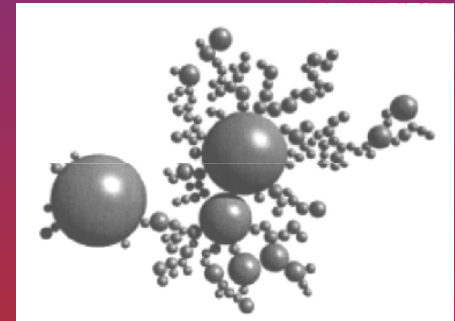
1. Contexte de recherche
2. Étude théorique de l'émission de grains amorphes
3. Étude en laboratoire de l'absorption des grains silicatés à basse température et dans le domaine submillimétrique
4. Gaz et grains dans une condensation froide du Taureau
5. Etude de l'eau, molécule clé du refroidissement des régions pré-stellaires, par son émission dans le submillimétrique, grâce au satellite ODIN
6. Conclusions et perspectives

4. 1. Gaz et grains dans une condensation froide d'un filament du Taureau : L1506



- région de formation d'étoiles les + proches :
d \sim 140 pc
- Excellente région pour étudier propriétés grains + gaz à l'interface MIS dense / MIS diffus
- Filament observé par PRONAOS :
centre : $\beta=1.9$, T=12K, émissivité submm x3.4

Modèle de grains associé (Stepnik et al.2003) :
Apparition d'agrégats VSGs/BGs pour $A_v \sim 2$

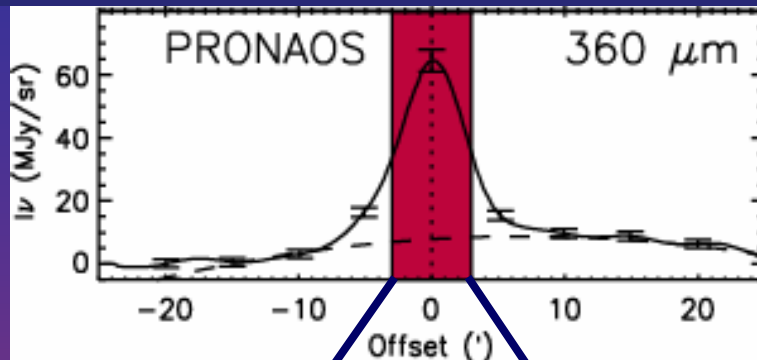


Problématique : Relations entre modifications propriétés des grains et conditions physico-chimiques du gaz (manteaux de glace \rightarrow collage grains optimum ?)

Transition MIS diffus \rightarrow MIS dense

4. 2. Observations moléculaires : $C^{18}O$ & N_2H^+

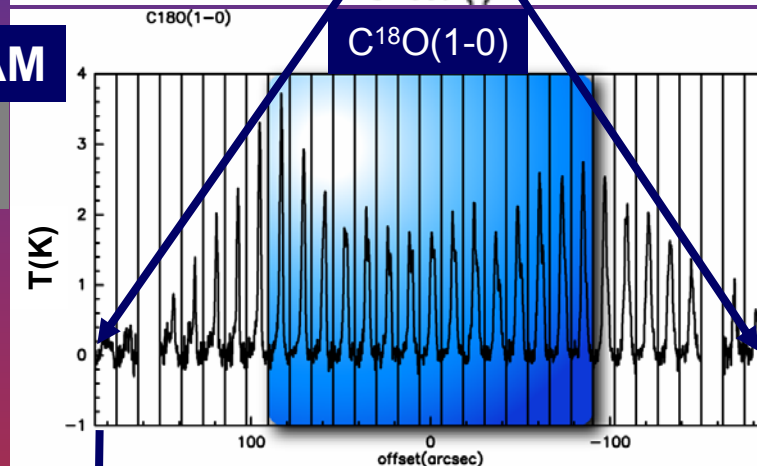
Observations
IRAM & Kitt Peak



Traceurs
environnements froids &
denses :
 $C^{18}O(1-0)$, $C^{18}O(2-1)$
 $C^{17}O(1-0)$, $N_2H^+(1-0)$

IRAM

$\theta=23''$ à 110GHz
 $\Delta\nu=10\text{kHz}$

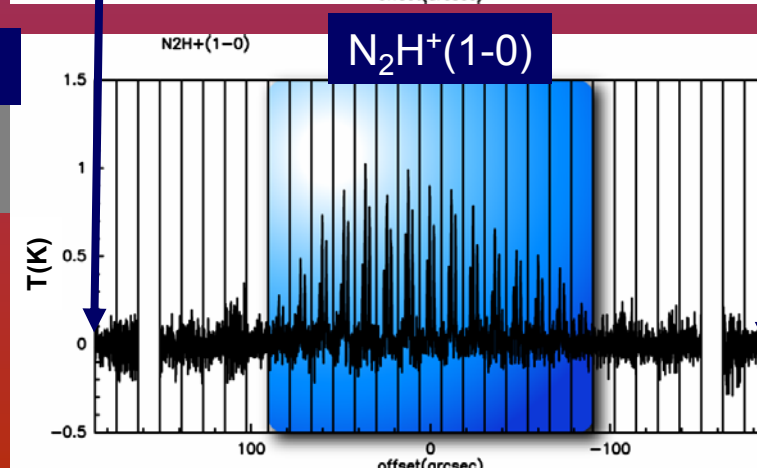


$\Delta\nu=6.5-8\text{km/s}$

Phénomène de
déplétion : Collage de
 $C^{18}O$ à la surface des
grains

IRAM

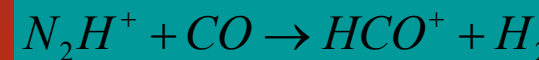
$\theta=27''$ à 93 GHz
 $\Delta\nu=10\text{kHz}$



$\Delta\nu=5-10\text{ km/s}$

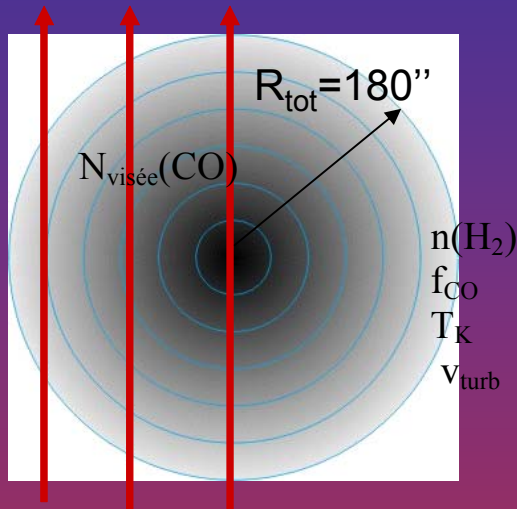
Apparition de N_2H^+
reliée à la disparition
de CO

N_2H^+ : bon traceur des
régions denses



4. 3. Modélisation de la déplétion de C¹⁸O

Modélisation Monte-Carlo de l'aire intégrée des raies C¹⁸O(1-0) et (2-1) le long de la coupe PRONAOS



Modèle sym. sphérique à 1D

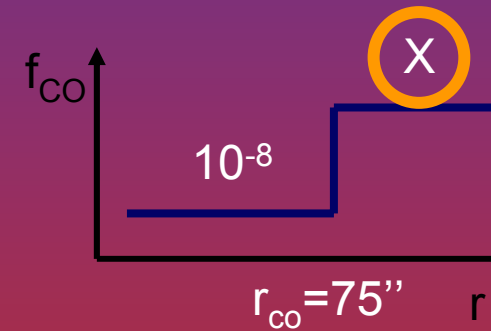
$T_K = 10\text{K}$, $V_{\text{turb}} = 0.1\text{km/s}$

Paramètres libres :

- Abondance fractionnelle $f = N(\text{C}^{18}\text{O})/N(\text{H}_2)$
- Densité du milieu

Abondance fractionnelle :

$$f_{\text{can}}(\text{C}^{18}\text{O}) = 1.7 \cdot 10^{-7}$$

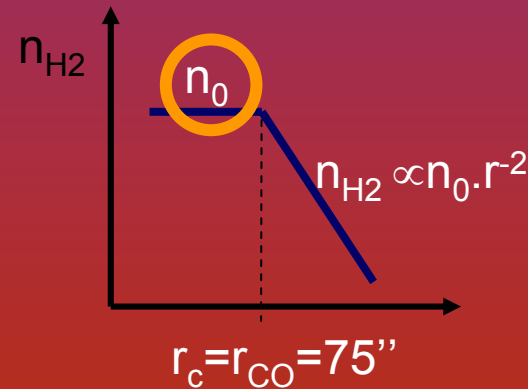


Loi de densité :

Absence de contraintes sur la densité centrale



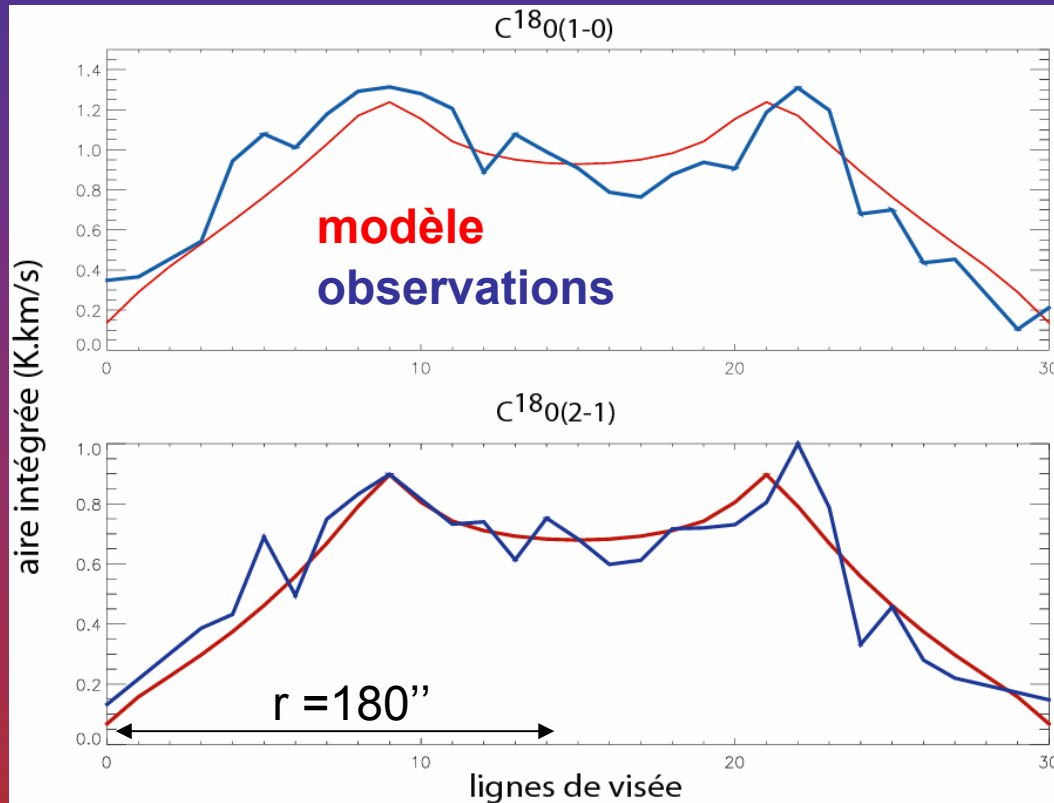
loi de densité « classique »



Paramètres libres de la modélisation : χ et n_0

4. 4. Résultats de la modélisation de l'émission de $C^{18}O$

Procédure de minimisation par moindres carrés



Conditions physiques locales d'apparition de la déplétion :

$$n_0(H_2) \approx 1.8 \cdot 10^4 \text{ cm}^{-3}$$
$$V_{\text{turb}} = 0.1 \text{ km/s}$$

$X = f_{CO} \approx 3.2 \cdot 10^{-7}$
Déplétion d'un facteur 30 entre couches internes et externes

Phénomène de déplétion/ apparition glace de CO pour $A_v \sim 6$

Apparition des agrégats $A_v \sim 2$



Apparition des agrégats non reliée à la présence de glace de CO
→ manteaux de H_2O ?

4. 5. Conclusions

Forte déplétion de C¹⁸O dans les parties internes du filament
apparition de la déplétion pour $n(\text{H}_2) \sim 2 \cdot 10^4 \text{ cm}^{-3}$ et $A_V \sim 6$
rayon de déplétion de 75 "

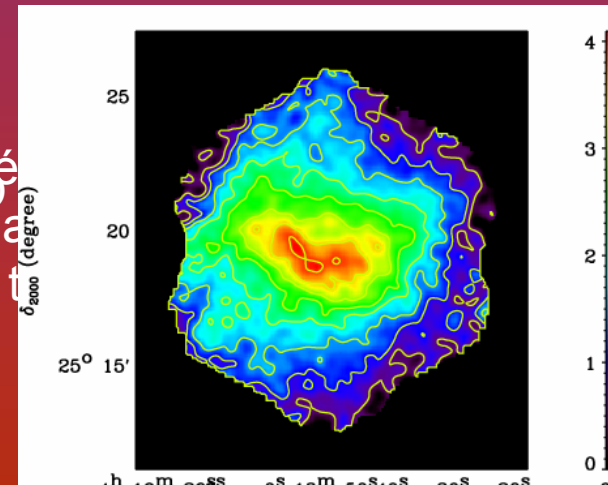
Corrélation gaz-grains : formation d'agrégats à $A_V \sim 2$
⇒ Non reliée à la formation de manteaux de glace de CO
favorisée par manteaux de glace de H₂O ?

Cinématique du nuage :

Mise en évidence d'un mouvement de rotation associé à un mouvement de contraction
des couches périphériques

Boudet et al. , A&A, en préparation

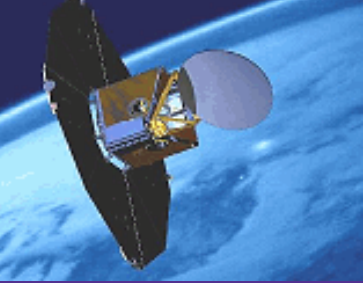
- Grains : Meilleure résolution spatiale : MAMBO + é
- Grains : Meilleure résolution spatiale : MAMBO + é
- Etude d'autres traceurs moléculaires
- Etude de la cinématique du nuage (traceurs t



Plan de présentation

1. Contexte de recherche
2. Étude théorique de l'émission de grains amorphes
3. Étude en laboratoire de l'absorption des grains silicatés à basse température et dans le domaine submillimétrique
4. Gaz et grains dans une condensation froide du Taureau
5. Etude de l'eau, molécule clé du refroidissement des régions pré-stellaires, par son émission dans le submillimétrique, grâce au satellite ODIN
6. Conclusions et perspectives

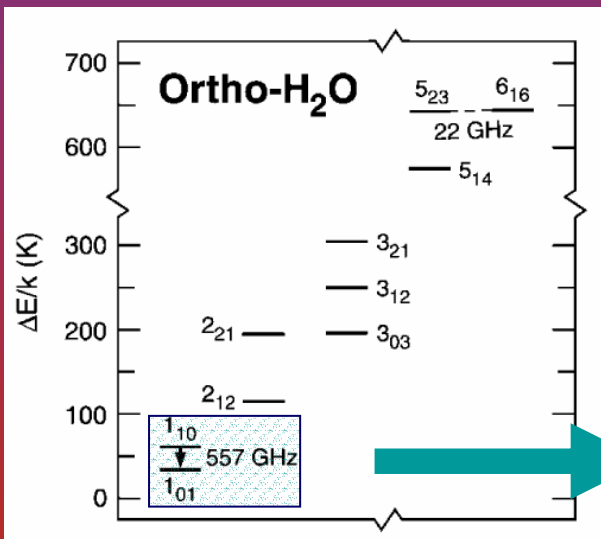
5.1. Le satellite ODIN



Objectifs scientifiques : Aéronomie/Astronomie

- Comètes/ Atm. planétaires
- Physico-chimie des régions de formation stellaires

Espèces clés étudiées reliées au processus de refroidissement des cœurs pré-stellaires : H_2O , CO , O_2 , Cl et NH_3
 \Rightarrow transitions fondamentales



Étude de la raie $o-H_2O$, AOS

➤ \varnothing Télescope = 1.1m

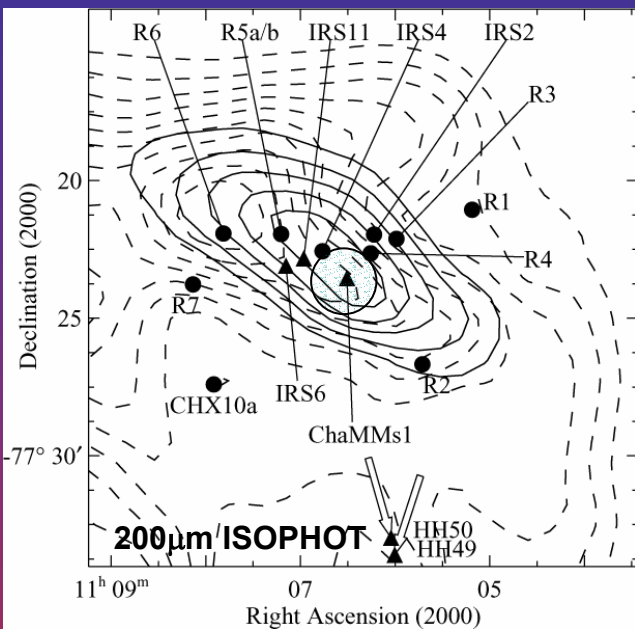
➤ Récepteurs :

4 Submm 486-581GHz
+ 118.75GHz (O_2)

➤ 3 spectromètres :
- acousto-optique (AOS)
- 2 autocorrélateurs

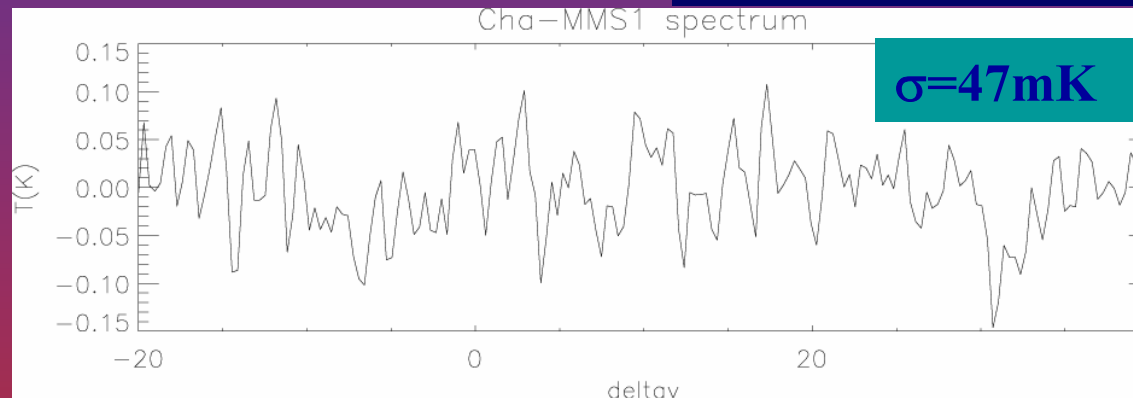
$\Delta v \sim 0.08 - 1 \text{ km/s}$

5.2. Emission o-H₂O (1₁₀→1₀₁) de la source Cha-MMS1



Cha-MMS1 : nuage dense du complexe du Chamæleon qui contiendrait une proto-étoile de classe 0

Nb d'h. d'observation : 9h



Boudet et al., en prép.

Limite sup. o-H₂O (557Ghz) à 5σ :

$$X(\text{o-H}_2\text{O}) / X(\text{H}_2) \leq [2.7 \cdot 10^{-8} - 5.5 \cdot 10^{-8}]$$

Phénomène de désorption non efficace ?

Poursuite de l'analyse de cœurs froids et denses avec TMC1, MBM7, ρ-OphB1 ..

→ limite supérieure à la détection de l'eau sur des objets denses vus par ODIN

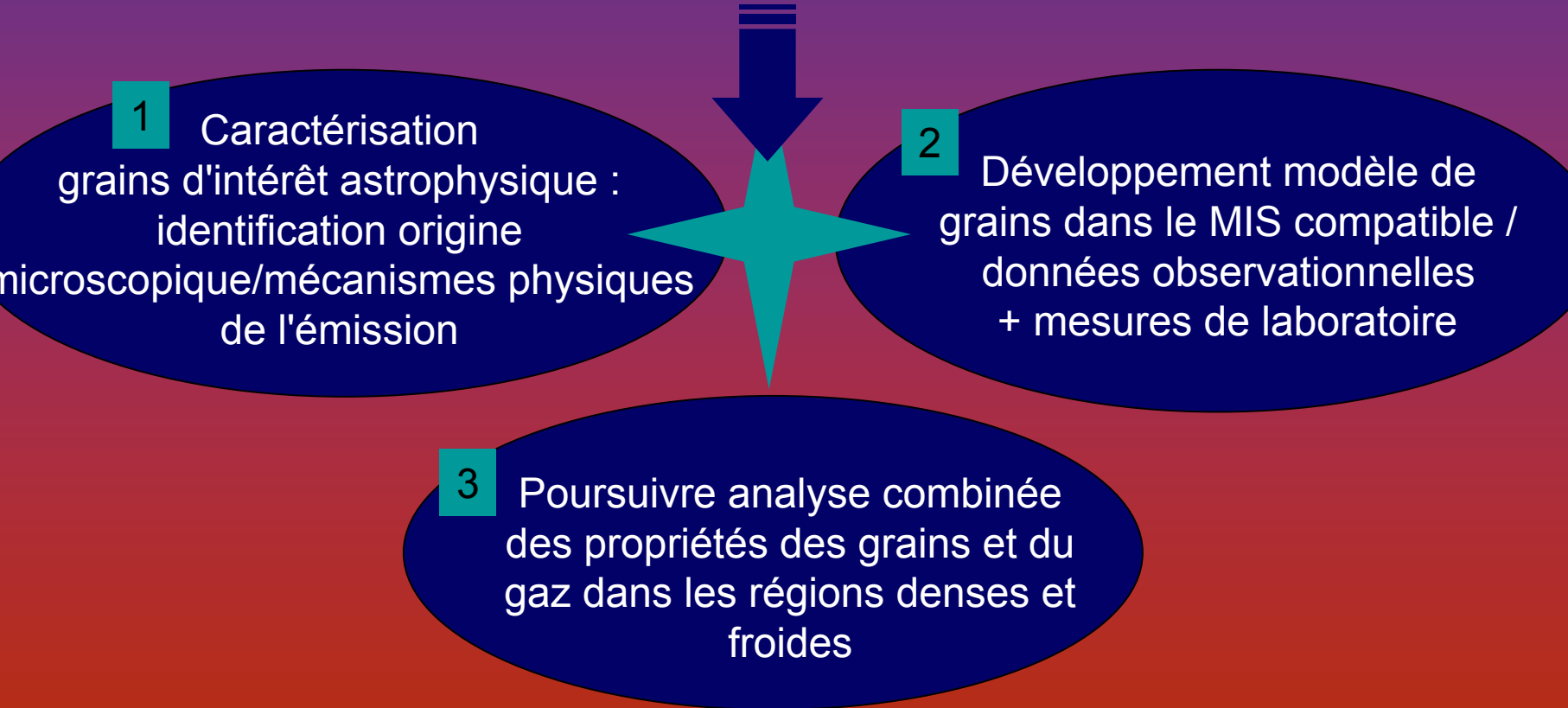
Plan de présentation

1. Contexte de recherche
2. Étude théorique de l'émission de grains amorphes
3. Étude en laboratoire de l'absorption des grains silicatés à basses températures et dans le domaine submillimétrique
4. Gaz et grains dans une condensation froide du Taureau
5. Etude de l'eau, molécule clé du refroidissement des régions pré-stellaires, par son émission dans le submillimétrique, grâce au satellite ODIN
6. Conclusions et perspectives

6. 1. Conclusions & Perspectives

Modèle TLS + mesures labo. → forte Δ° propr. émission des grains avec T et v
⇒ **Besoin d'un Nouveau Modèle de grains du MIS**

Préparation PLANCK et HERSCHEL : connaissance émission des grains /
soustraction des avant-plans galactiques & cond. physico-chimiques du gaz



6. 2. Perspectives

1

Caractérisation
grains d'intérêt astrophysique :
identification origine
microscopique/mécanismes physiques
de l'émission

ent du champ des matériaux étudiés :
de des échantillons silicatés
matériaux carbonés et de glaces

égation des particules sur leur spectre
d'absorption

- ❖ Identifier et préciser les défauts ou le type de désordre :
 - Influence du degré d'amorphisation
 - Relation avec modèle TLS +Schlömann

Futures mesures en laboratoire : léna, CESR , IAS

6. 3. Perspectives

2 Développement modèle de grains dans le MIS compatible / données observationnelles + mesures de laboratoire

❖ Approfondissement du modèle TLS-Schlömann : DIRBE/PRONAOS/Archeops/MAP & mesures de laboratoire paramètres d'ajustement ...

→ Impact sur la détermination des masses MIS diffus

❖ + agrégation des grains / interaction gaz-grains

❖ modèle TLS, couplé aux observations : informations sur propriétés physiques intrinsèques des poussières

❖ Couplage données SPITZER, HERSCHEL- PLANCK : étude statistique $T - \beta \Rightarrow$ étape supplémentaire dans l'élaboration d'un nouveau modèle de grains

6. 4. Perspectives

3

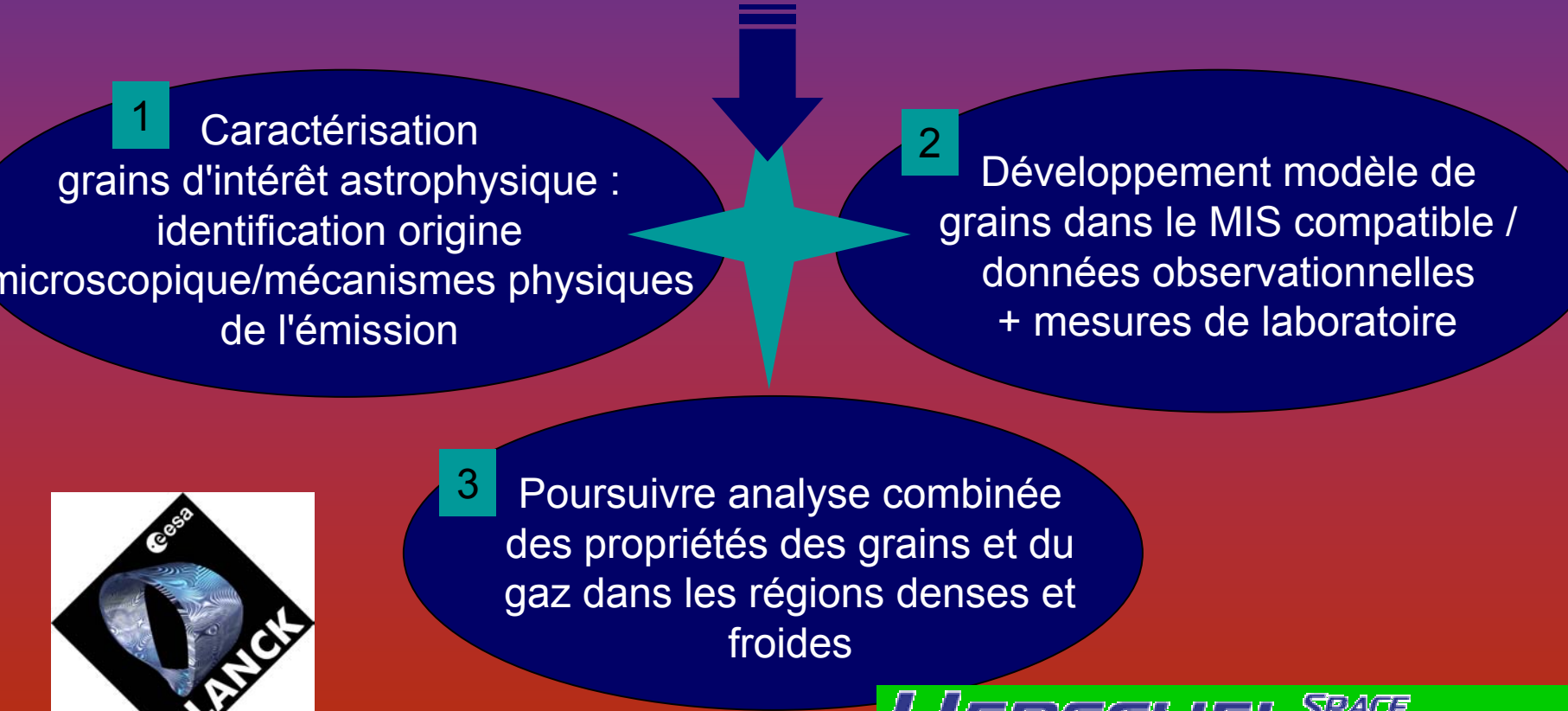
Poursuivre analyse combinée des propriétés des grains et du gaz dans les régions denses et froides

- ❖ Poursuite analyse H₂O des cœurs froids avec ODIN (TMC-1, ρ Oph B1, B2, L134N)
- ❖ Processus d'agrégation des grains (SPITZER, MAMBO, SCUBA...)
- ❖ Rôle des molécules H₂O accrétés sur les grains
→ groupement OH dans le cadre du modèle TLS ?
- ❖ Etude combinée PLANCK/HERSCHEL de nuages froids

6. 5. Conclusions & Perspectives

Modèle TLS + mesures labo. \rightarrow forte Δ° propr. émission des grains avec T et v
 \Rightarrow **Besoin d'un Nouveau Modèle de grains du MIS**

Préparation PLANCK et HERSCHEL : connaissance émission des grains /
soustraction des avant-plans galactiques & cond. physico-chimiques du gaz

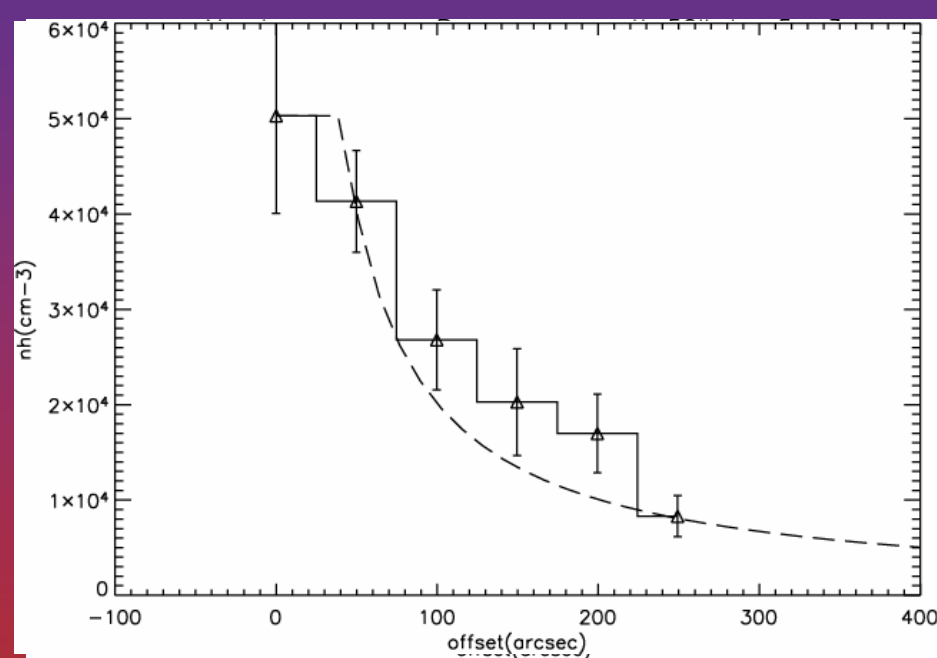
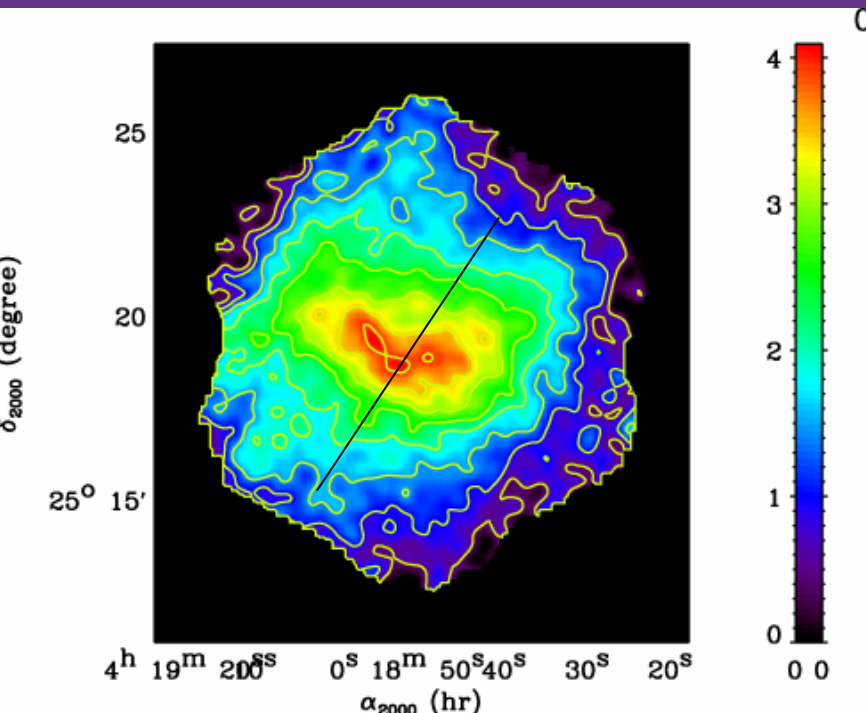


De nouvelles contraintes sur la densité du milieu

Observations MAMBO (Nov. 2004) de l'émission continuum des poussières à 1.3mm

⇒ Connaissance de la densité du milieu

⇒ seul paramètre libre : abondance fractionnelle

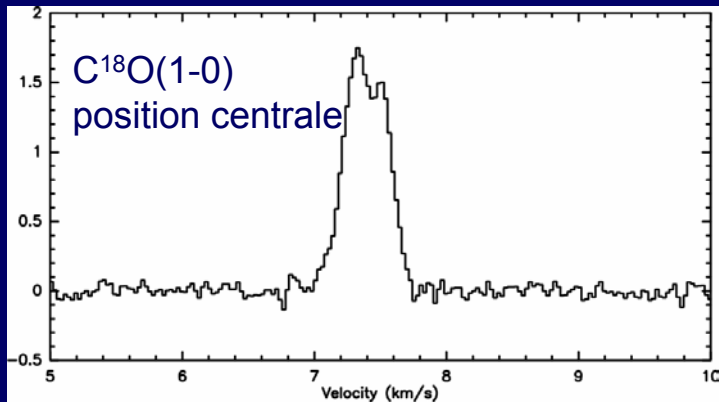


Modèle inversion linéaire

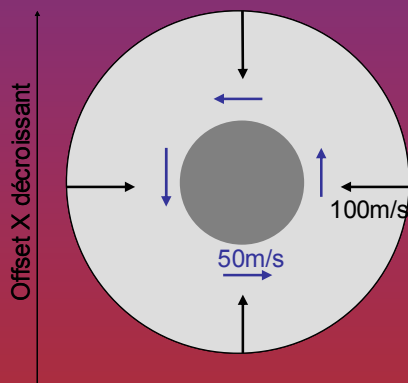
⇒ $r_c = 40''$ et décroissance en $1/r$; $n_0 = n_{\text{H}_2} = 2.5 \cdot 10^4$

Modélisation Monte-Carlo avec nouvelles contraintes sur la densité : $X = 2e^{-7}$

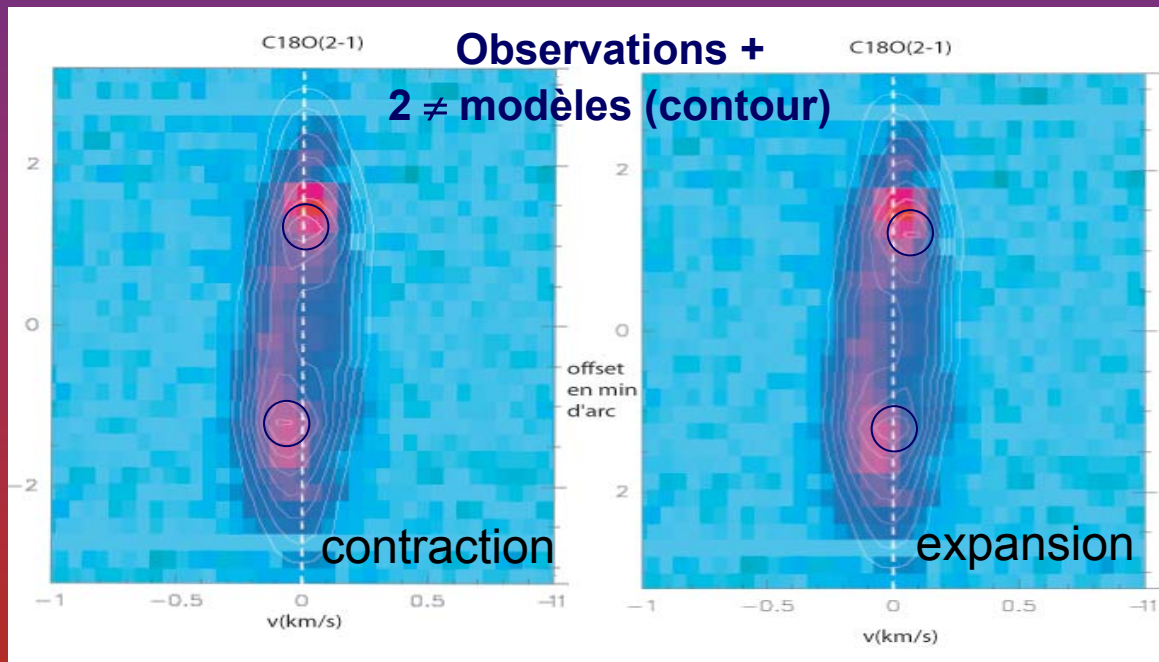
Structure en vitesse de C¹⁸O



- Raies dédoublées au centre du filament : **expansion/contraction du nuage ?**
- Décalage des raies $\Delta v \sim 0.1 \text{ km/s}$: **rotation du nuage ?**

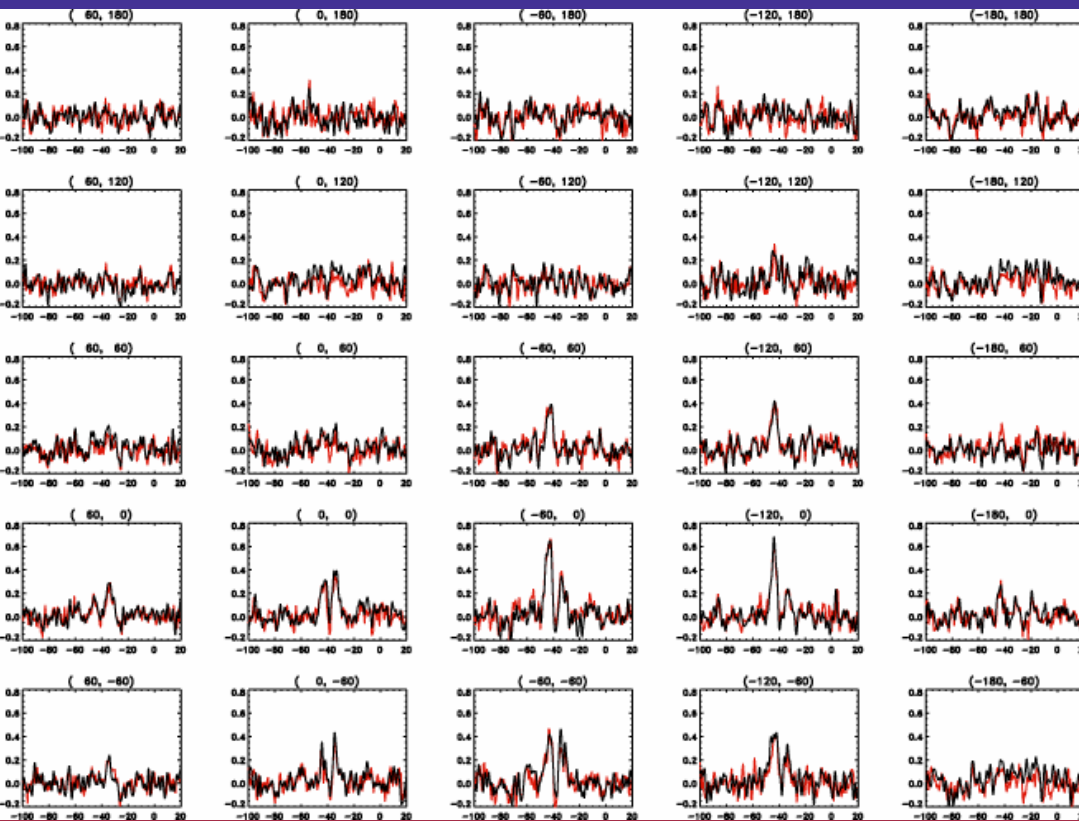


Rotation + mouvement radial
des couches périphériques



⇒ Bonne coïncidence entre pics de vitesse
pour nuage en contraction

Emission o-H₂O (1₁₀→1₀₁) de la source W3



W3 : région de formation
d'étoiles

Serveur CNES ODIN

Chaîne de traitement des
données AOS
de niveau 0

Carte 5'×5'

Wilson, Mason ... Boudet & al., A&A, 2003

— Traitement données CCSR — Traitement données C. Wilson

Validation programmes informatiques de traitement des données

⇒ Utilisation pour l'analyse d'un cœur dense : Cha-MMS1

Propriétés d'absorption et d'émission des grains

Loi de Kirchoff : $e = Q_{\text{abs}}$

Propriétés d'absorption équivalentes aux propriétés d'émission des grains

Coeff d'absorption (cm^{-1}) : $T = \frac{(1 - R^2)e^{-\alpha d}}{1 - R^2 e^{-2\alpha d}}$

$$\alpha(\omega) = \frac{2\omega}{c} \text{Im}\left(\sqrt{\varepsilon(\omega)}\right)$$

Coeff d'absorption massique (cm^2g^{-1}) :

$$\kappa(\lambda, f) = \frac{\alpha(\lambda, f)}{\rho \cdot f}$$

Dans le submm :

$$\kappa_{\omega} = \frac{3}{4} \frac{1}{\rho} \frac{Q_{\text{abs}}}{a}$$

$$Q_{\text{abs}} = Q_{\text{abs}}(\lambda_0) \cdot (\lambda / \lambda_0)^{-\beta}$$

Théorie de Mie : $Q_{\text{abs}} \propto \omega \varepsilon'' / (\varepsilon')^2$, $\varepsilon'' \ll \varepsilon'$

α prop. $\omega \varepsilon'' / (\varepsilon')^{1/2}$, $\varepsilon'' \ll \varepsilon'$

α propr. à Q_{abs} pour $\varepsilon'' \ll \varepsilon'$ et $\varepsilon' \sim \text{const.}$

κ , α et Q_{abs} ont la même dépendance fréquentielle β

Processus de relaxation

Modulation de l'écart énergétique $E(t)$ entre niveaux (dps de μ moment dipolaire) avec un décalage de phase qui provoque une dissipation d'énergie

$$E(t) = \sqrt{(\Delta + \mu E_0 \cdot \cos \omega t)^2 + \Delta_0^2}$$

Redistribution des populations entre les niveaux énergie quand le système quitte l'état d'équilibre et lorsque E change.

Cette redistribution se fait avec un temps caractéristique τ qui dépend de l'environnement

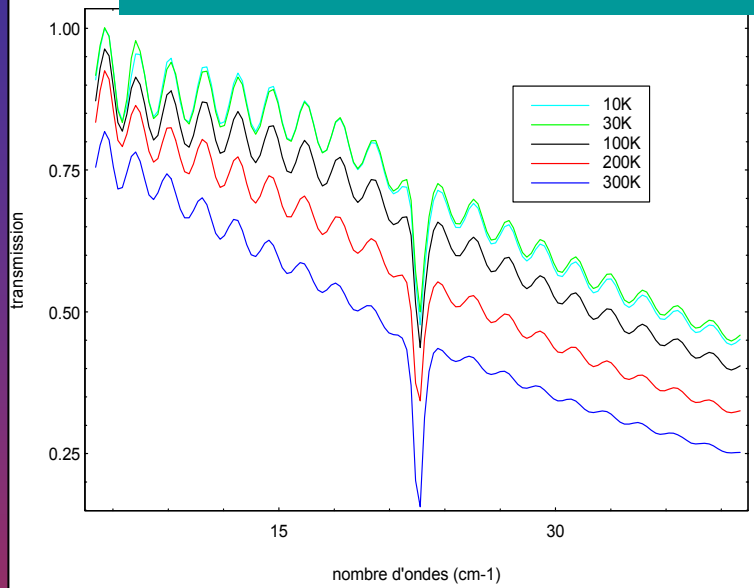
$$\frac{dn}{dt} = -\frac{n - n_0(t)}{\tau(t)}$$

$$n_0(t) = [1 + \exp(2 \cdot E(t) / kT)]^{-1}$$

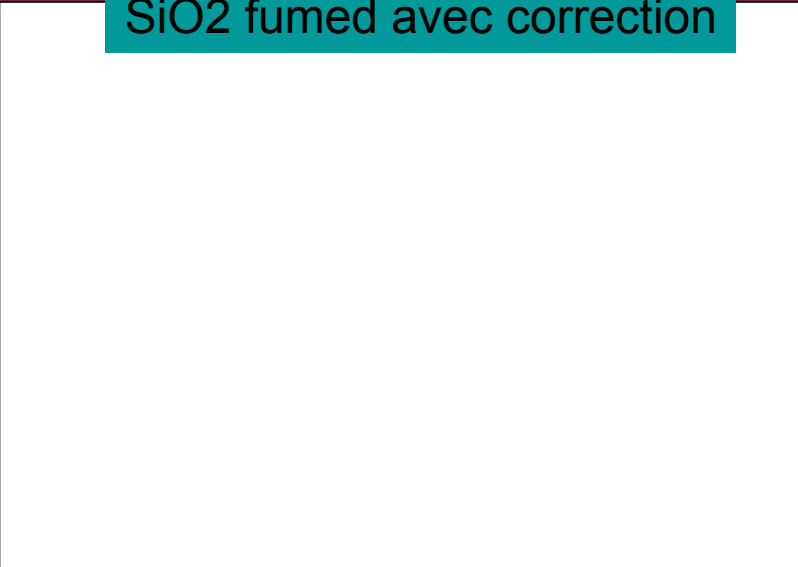
Provoque un chgt dans le moment dipolaire moyen qui est relié à la susceptibilité complexe. La partie imaginaire de la susceptibilité provoquera l'absorption de la lumière

Transmission des échantillons

SiO2 fumed avant correction



SiO2 fumed avec correction



MgSiO3 sol-gel

