



---

# Diffusion par la neige dans le domaine optique et micro-onde

G. Picard

UJF – Grenoble 1 / CNRS, Laboratoire de Glaciologie et Géophysique  
de l'Environnement (LGGE)

# Partie "Optique" - Context

---

- 1- Mesure de la surface spécifique de la neige par méthode optique
- 2- Compréhension du bilan radiatif des surfaces enneigées

SSA  $\leftrightarrow$  Albédo

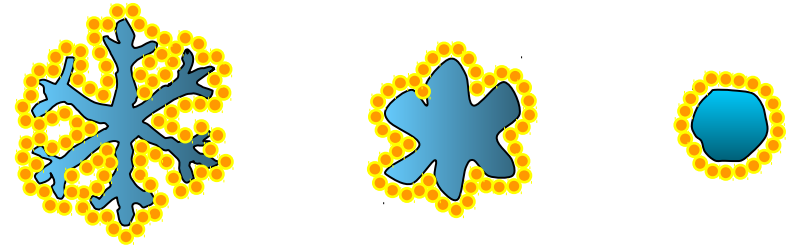
Besoin de comprendre le lien entre l'énergie diffusée et les propriétés micro-géométriques de la neige



# Partie "Optique" - Context

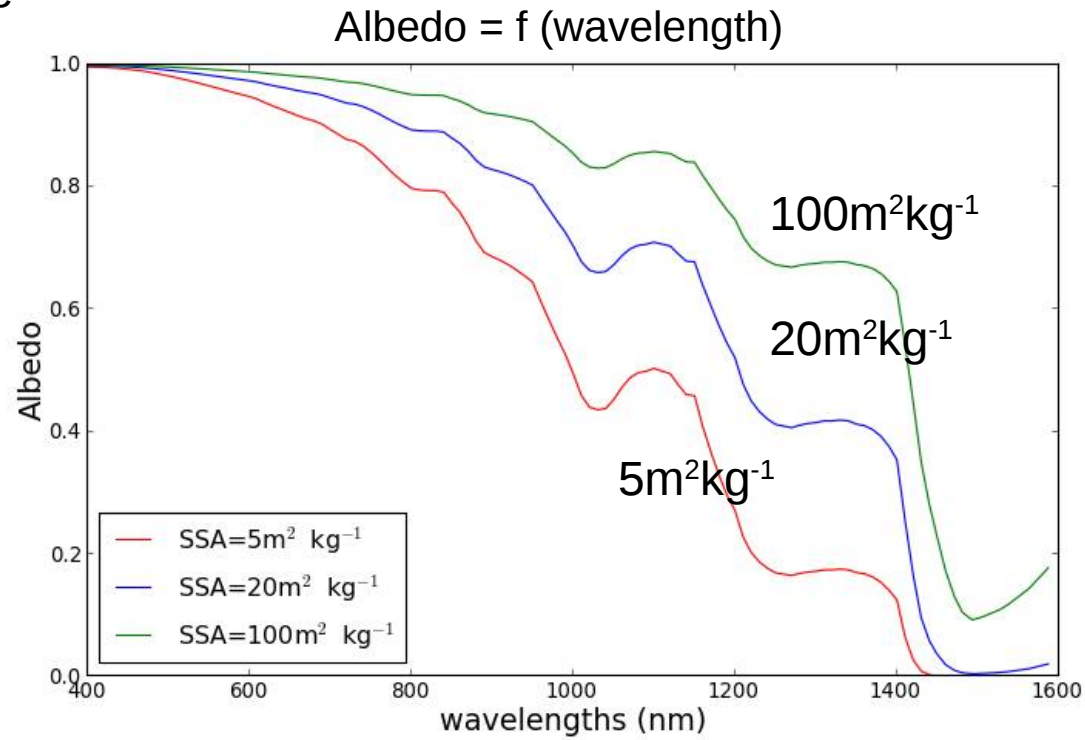
SSA = Surface de l'interface air-neige / masse de glace

Est une mesure de la "taille des grains"



L'albédo dépend de:

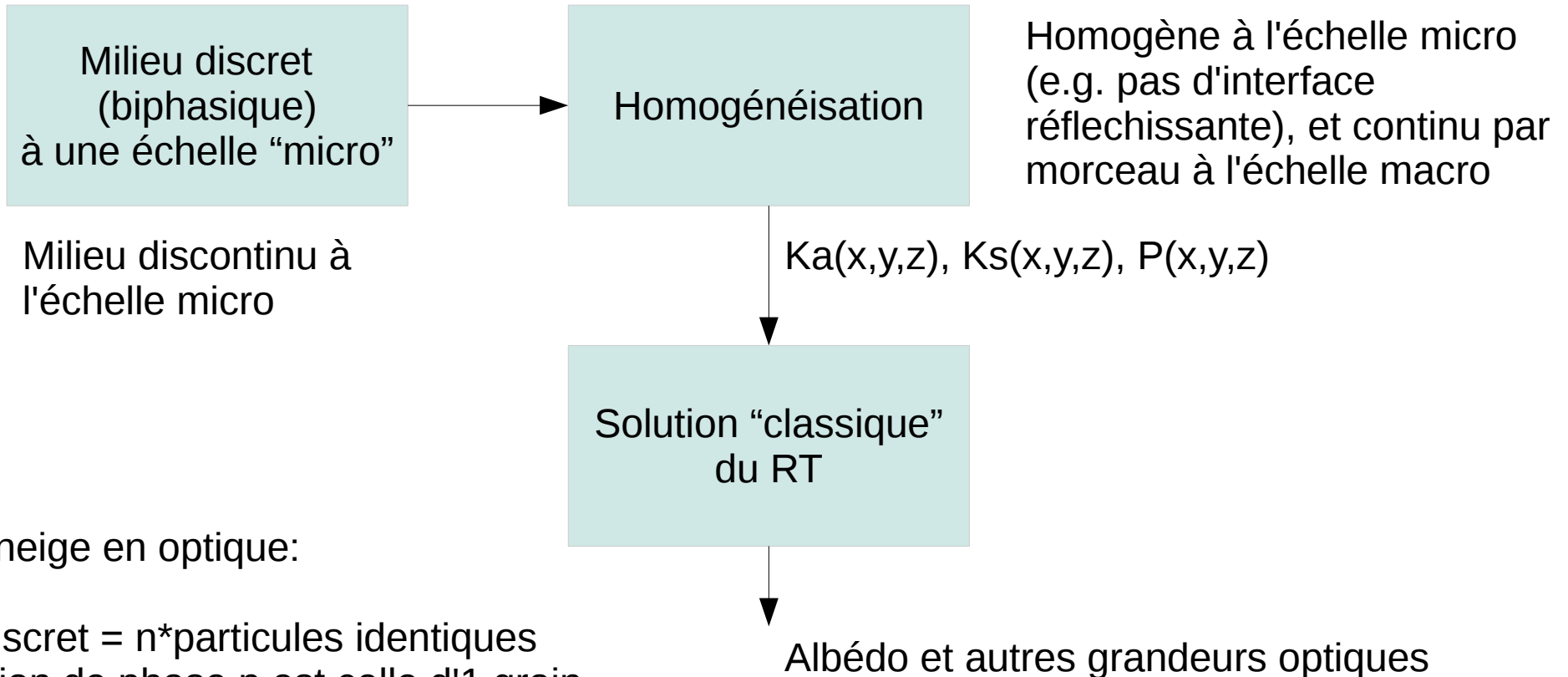
- la géométrie d'illumination
- de la **taille** et **forme** des grains de neige, c'est à dire de la micro-structure.
- des impuretés
- de la rugosité de surface



# Partie "Optique" - Context

Pour modéliser l'albédo on utilise souvent un modèle de transfert radiatif

$$\frac{dI(z, \Omega)}{dz} = -(\kappa_a + \kappa_s) I(z, \Omega) + \frac{\kappa_s}{4\pi} \iint p(\Omega, \Omega') I(z, \Omega') d\Omega' + \kappa_a B_v(T(z))$$

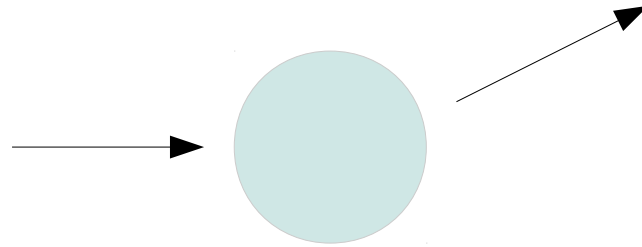


Ex: sphere, ...

# Partie "Optique" - Context

Le calcul de  $K_s$ ,  $K_a$ ,  $p$  part des équations de Maxwell et est généralement difficile.

Sphere: Mie  
etc



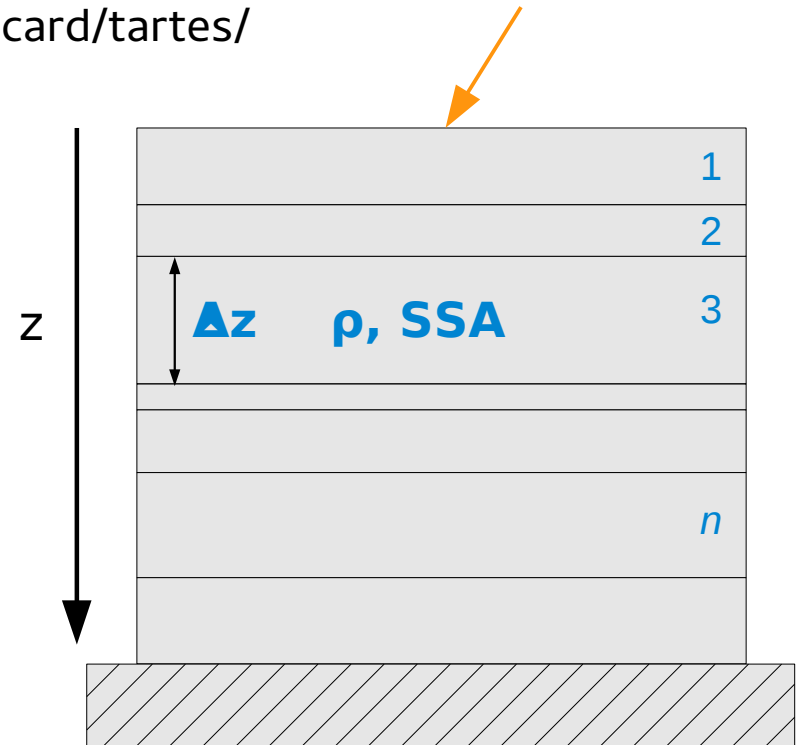
## Calcul numérique:

- Couteux mais pour 1 seul grain
- Solution du RT peu couteuse pour les géométries plane-parallèle

Globalement peu couteux. e.g. <http://lgge.osug.fr/~picard/tartes/>

## Inconvénient:

- difficile de changer la macro-géométrie des couches
- difficile d'ajouter des formes
- très difficile de s'affranchir du passage  
1 grain-> collectif
- impossible d'intégrer l'instrument dans le système  
sinon pour les cas triviaux



# Partie "optique" SnowRAT

---

Calcul explicite des trajectoires des rayons lumineux

## Entrées:

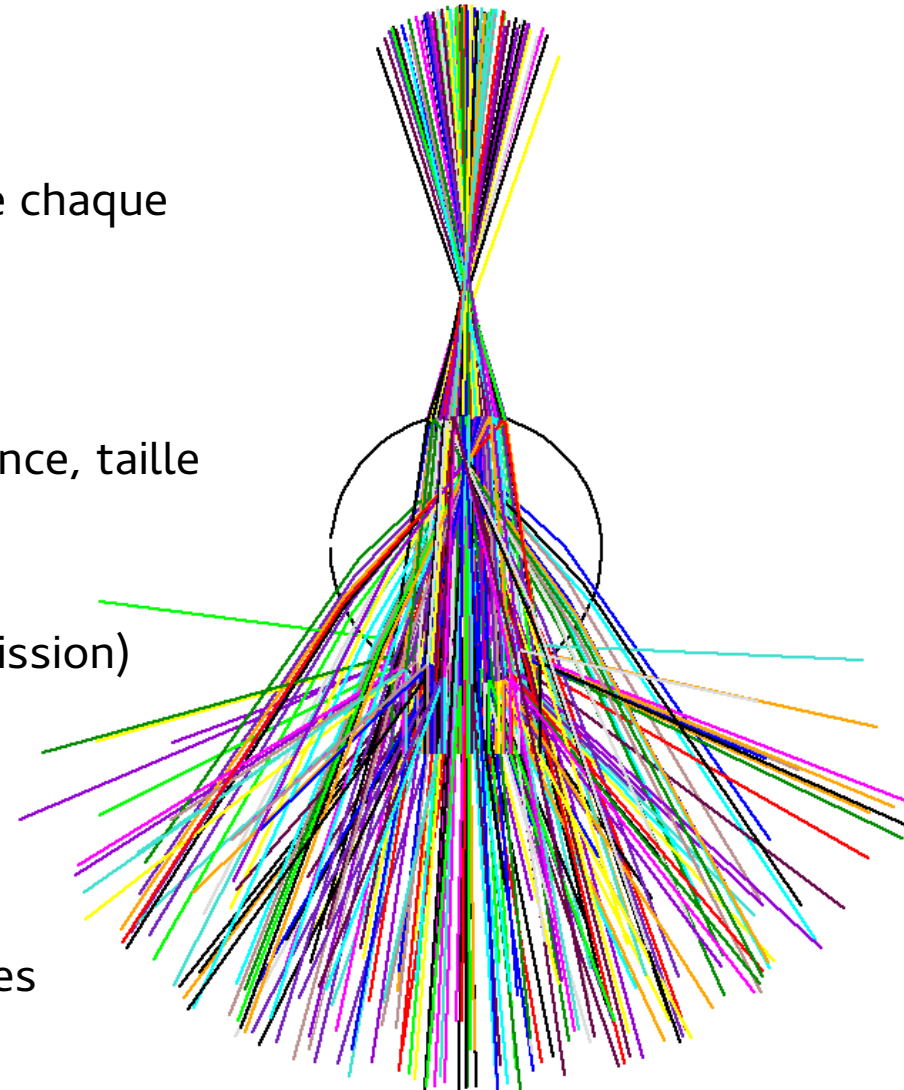
- position, taille et orientation des grains (constitué de formes géométriques simples).
- mode d'arrangement (aléatoire, sans pénétration, ...)
- longueur d'onde  $\rightarrow$  indice de refraction et coefficient d'absorption
- géométrie d'illumination
- Position d'instruments (implementation spécifique de chaque instrument)

## Physique:

- Hypothèse de l'optique géométrique (pas d'interférence, taille des grains  $\gg$  longueur d'onde).
- Loi de Snell-Descartes (angle de refraction)
- Coefficients de Fresnel (coefficient reflection/transmission)

## Sorties:

- Albédo
- BRDF
- trajectoire des rayons et/ou statistiques divers sur ces trajectoires



# Partie "optique" SnowRAT

---

## Quelques details:

- Tous les grains sont en mémoire. E.g. spheres= $x,y,z,R$  (4 floats)

Limité par la mémoire, en pratique en 2009, quelques centaines de millions de grains

- Lancer de rayon (semi Monte-carlo)

- on cherche l'intersection la plus proche

- on calcule la proba de reflection versus refraction. On choisit aléatoirement l'un ou l'autre

- on propage dans le grain en prenant en compte l'atténuation (pas de Monte-Carlo)

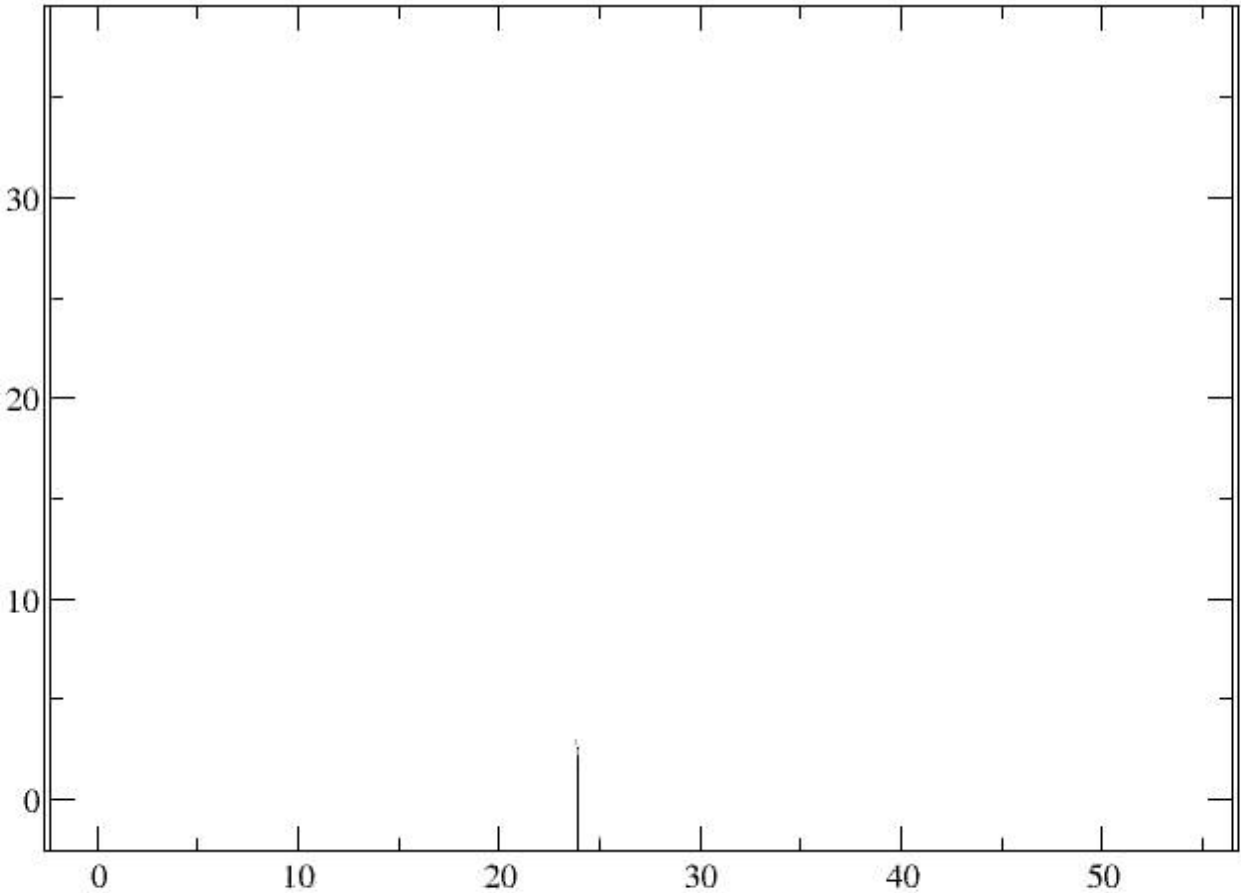
- on itère jusqu'à ce que l'intensité du rayon soit trop faible

Code C++ avec beaucoup de template pour éviter les appels de methode virtuelle

Utilisation sur une grille de calcul (via CIMENT)

# Partie "optique" SnowRAT

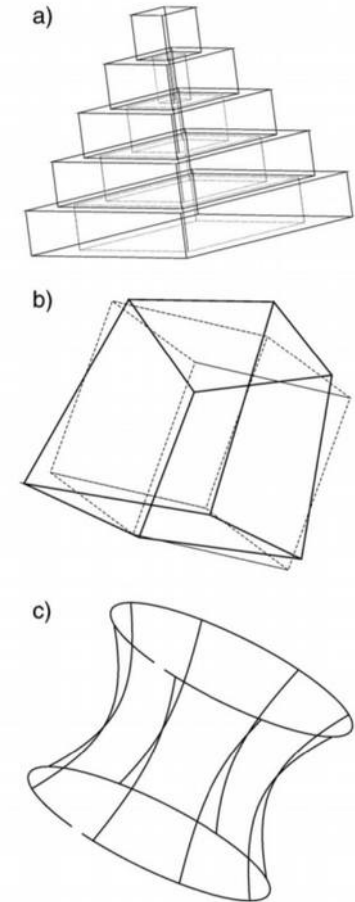
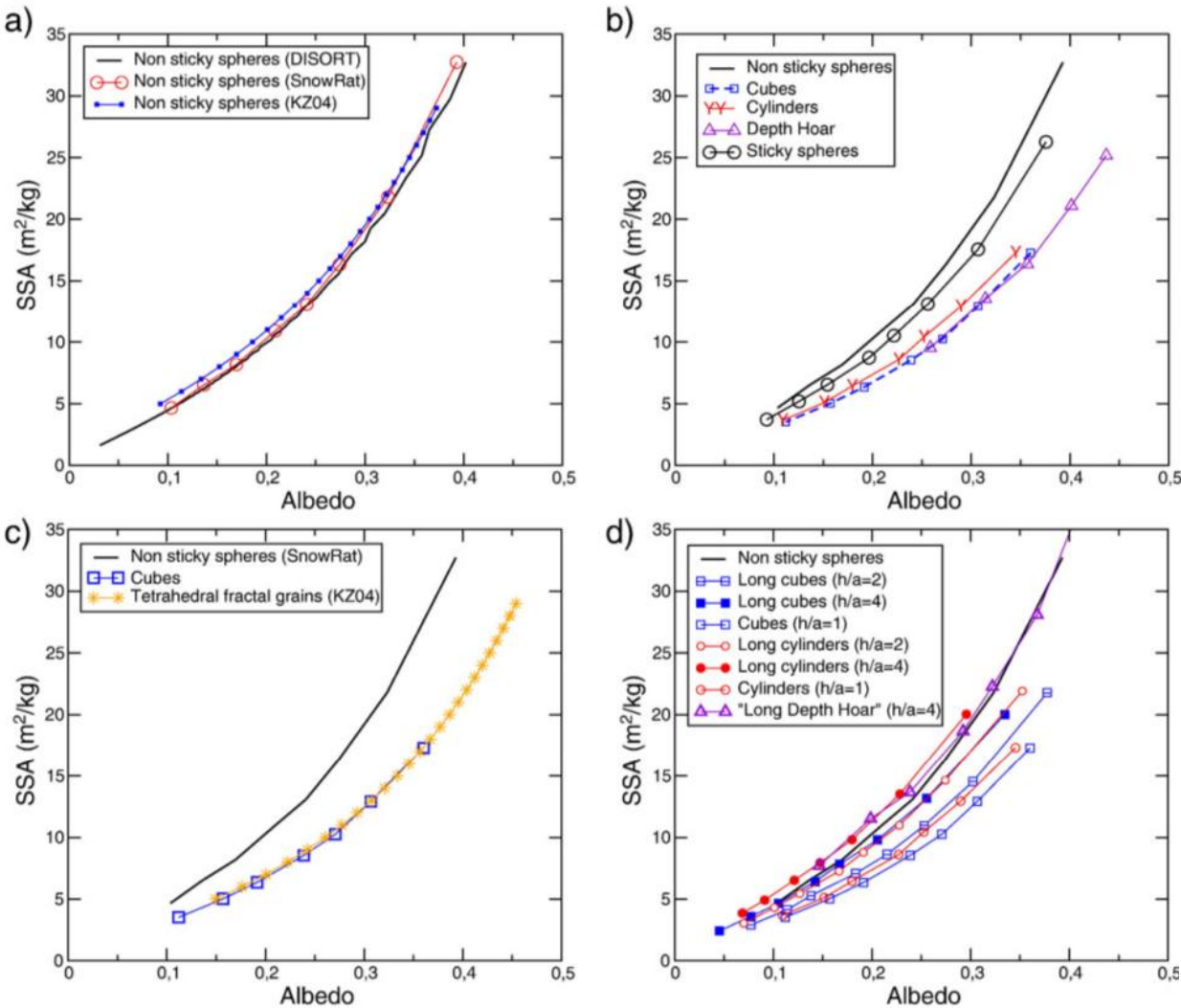
---





# Partie "optique" SnowRAT

**G. Picard**, L. Arnaud, F. Domine, M. Fily, Determining snow specific surface area from near-infrared reflectance measurements: numerical study of the influence of grain shape, *Cold Region Science and Technology*, 56 (1), pp 10-17, 2009, doi: 10.1016/j.coldregions.2008.10.001



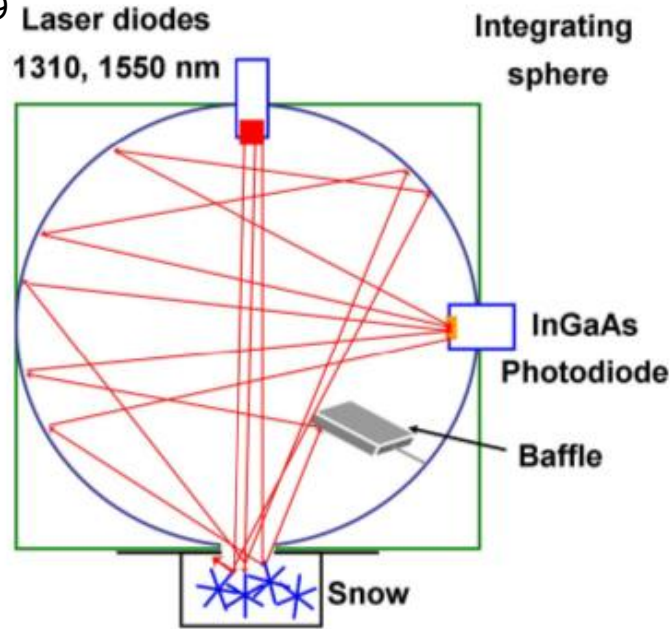
**Table 1**

$b$  value for various shapes to be used in Eq. (4) for estimating SSA from albedo measurement when grain shape is known

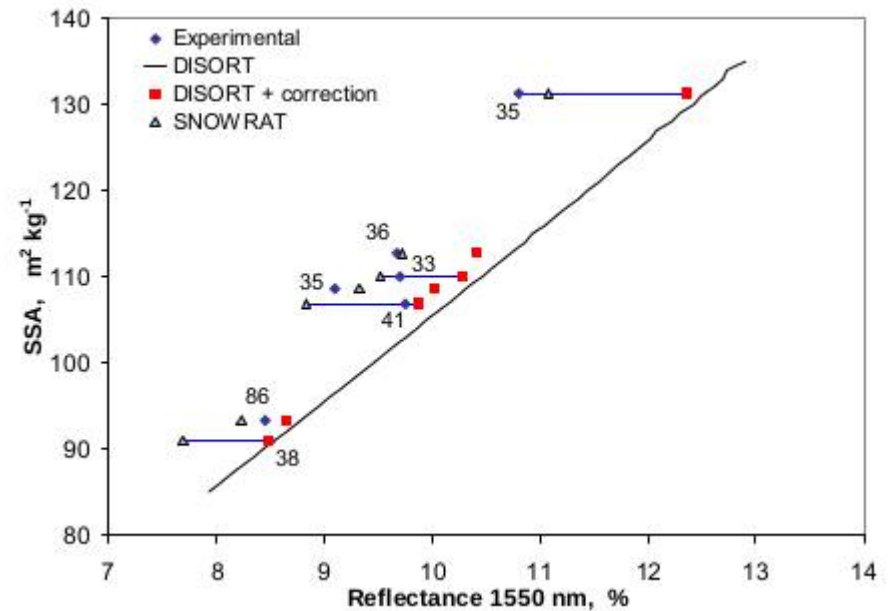
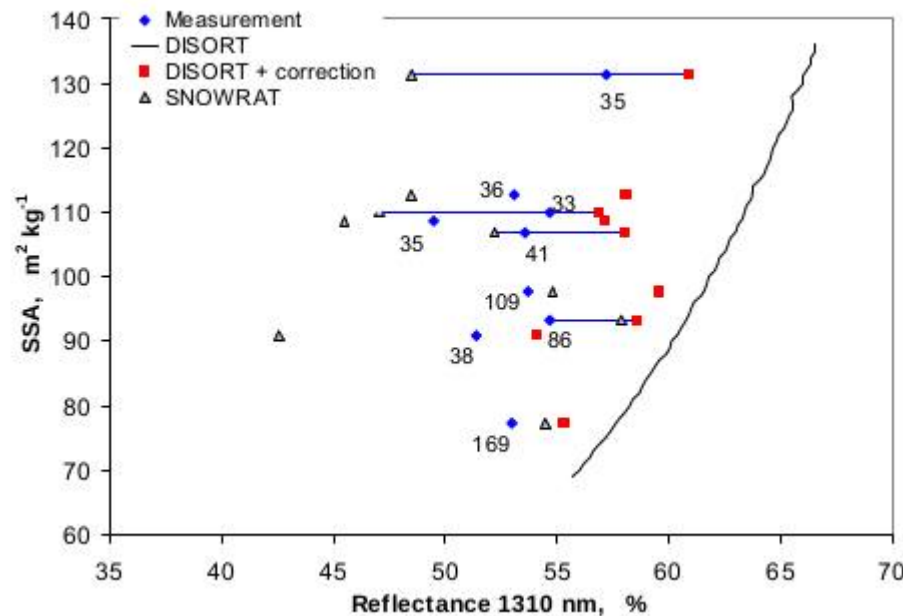
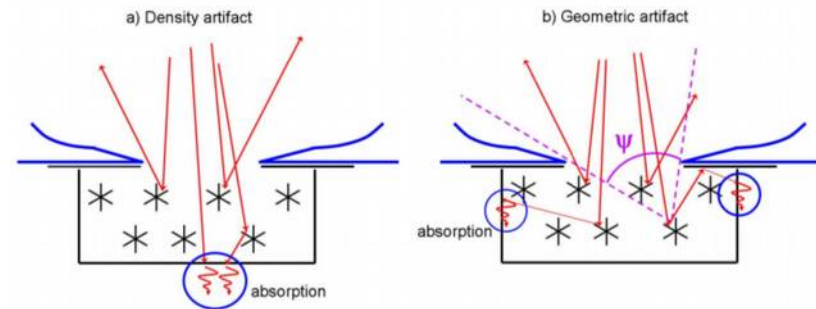
	$b$ from SnowRat	$b$ after Kokhanovsky and Zege (2004)
Non-sticky sphere	4.44	4.53
Random sphere	4.07	
Cubes	3.39	
Cylinder	3.67	
Depth hoar	3.16	
Cuboid (aspect ratio 4)	4.5	
Long cylinder (aspect ratio 4)	4.83	
Tetrahedral fractal		3.62

# Partie "optique" SnowRAT

J.-C. Gallet, F. Domine, C. Zender, and G. Picard. Measurement of the specific surface area of snow using infrared reflectance in an integrating sphere at 1310 and 1550 nm, *The Cryosphere*, Vol.3, pp. 167-182, 2009. doi:10.5194/tc-3-167-2009

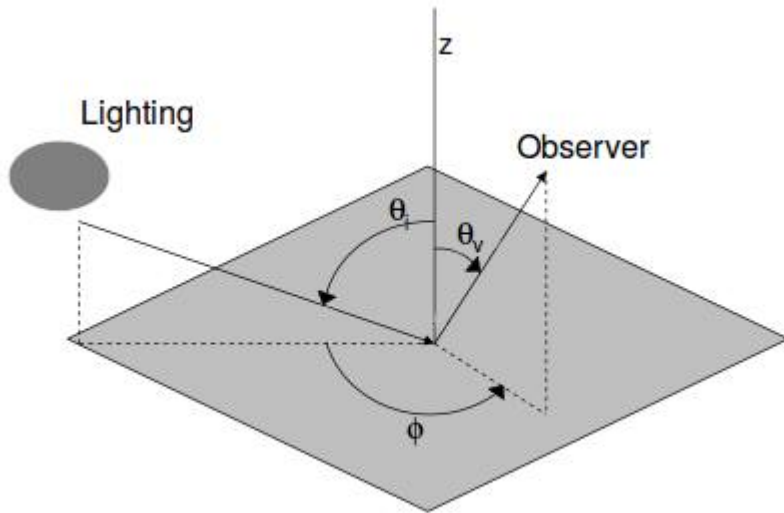


Modélisation explicite de la sphere integrante et du porte échantillon



# Partie "optique" SnowRAT

M. Dumont, O. Brissaud, G. Picard, B. Schmitt, J.-C. Gallet, and Y. Arnaud. High-accuracy measurements of snow Bidirectional Reflectance Distribution Function at visible and NIR wavelengths – comparison with modelling results, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10, 2507-2520, 2010, doi:10.5194/acp-10-2507-2010



Observations  
1.5 $\mu\text{m}$

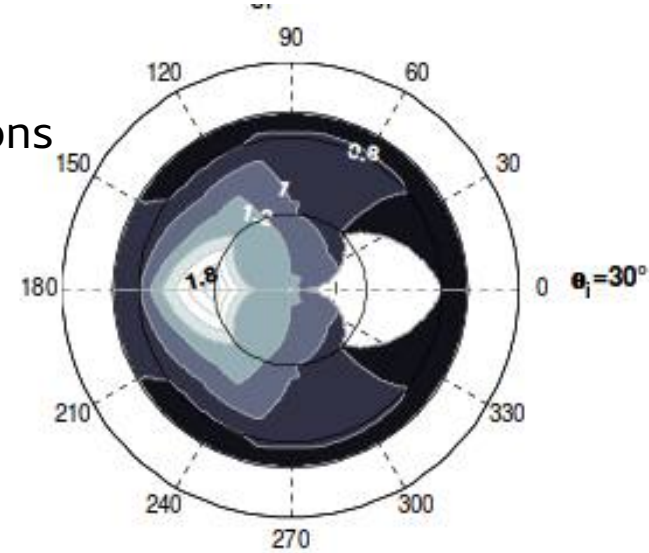
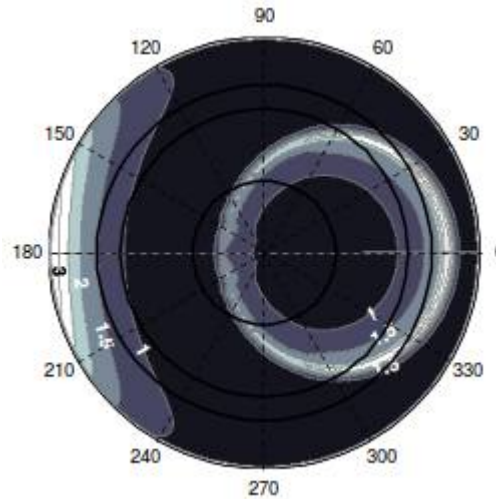
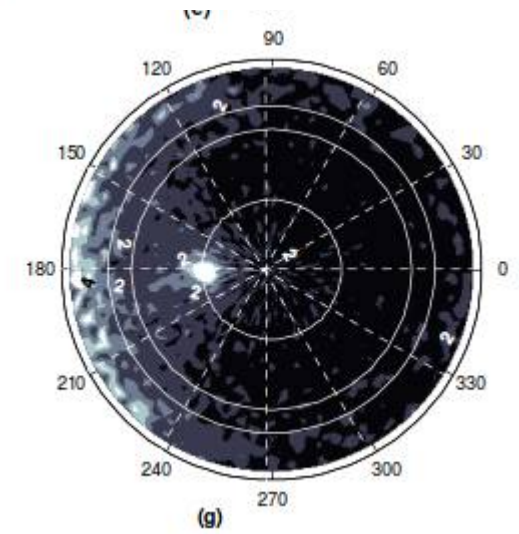


Fig. 1. Lighting and viewing configuration.



RT (sphere)



SnowRAT (cylindre)

# Partie "optique" SnowRAT

---

Résoudre des problèmes de design de code:

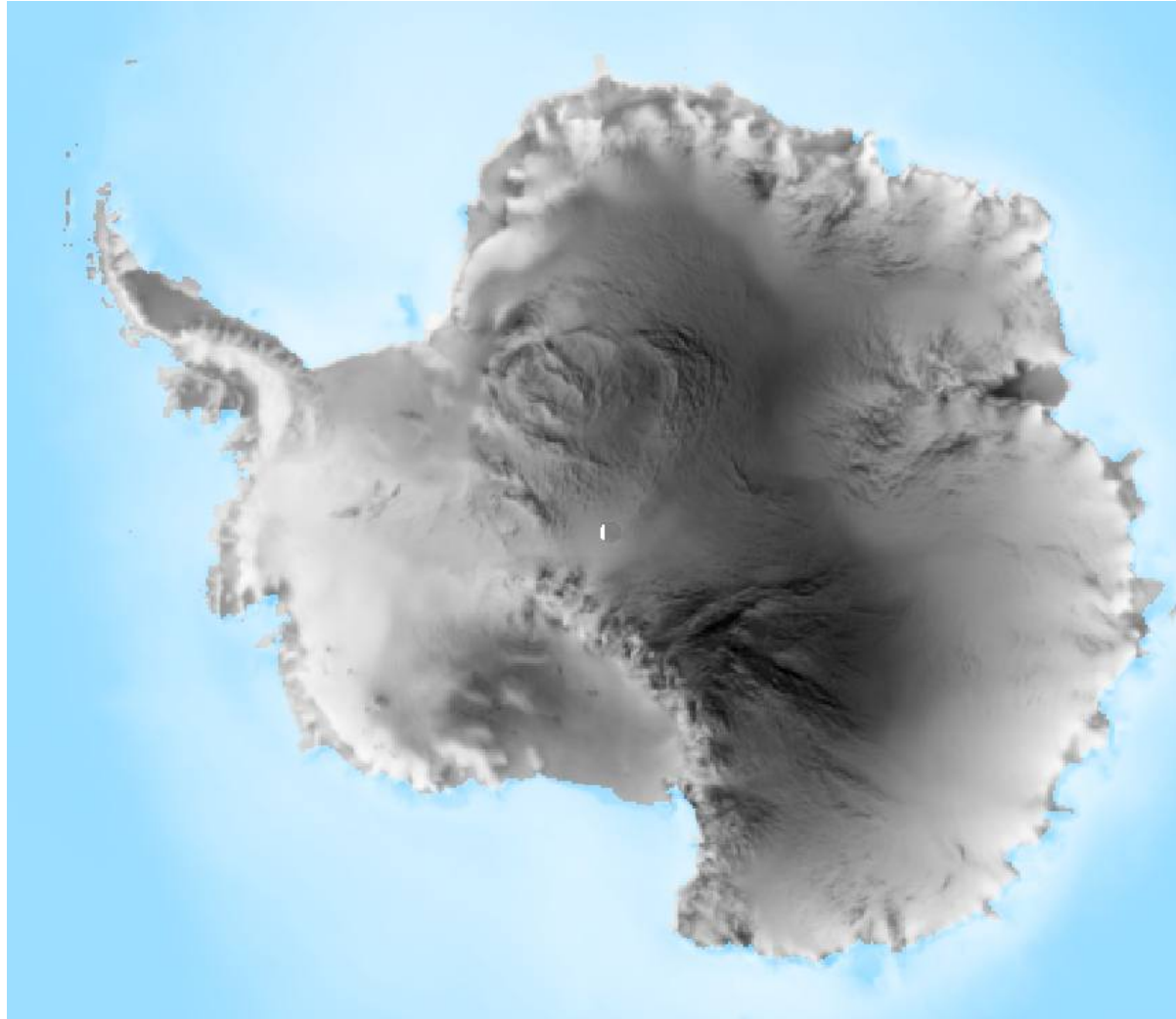
- Frontières reflectives ou autres approches pour étendre le milieu (→ domaine visible)
- Mélange de forme de grain
- Profiter du multi-core, de la compression de flottant et des GPU.
  
- Interfacage python

Implementation des triangles → vers la tomographie

## Partie "microonde" - Contexte

---

Observation de l'émission thermique de l'Antarctique dans le domaine micro-onde 1-100GHz (ondes millimétriques)

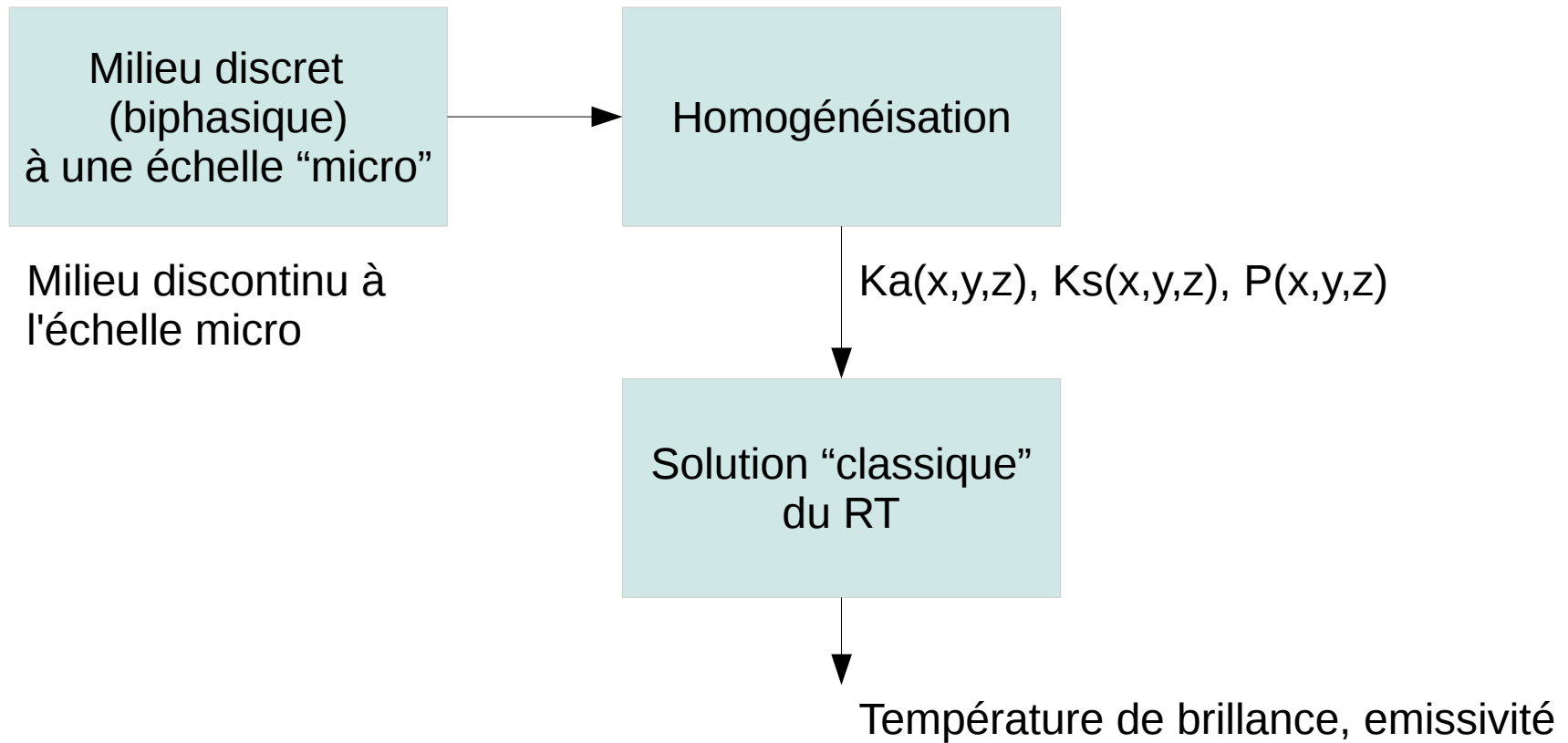


Application climat/neige: température, propriétés de la neige et du manteau neigeux.

# Partie "microonde" - Contexte

---

Problématique similaire



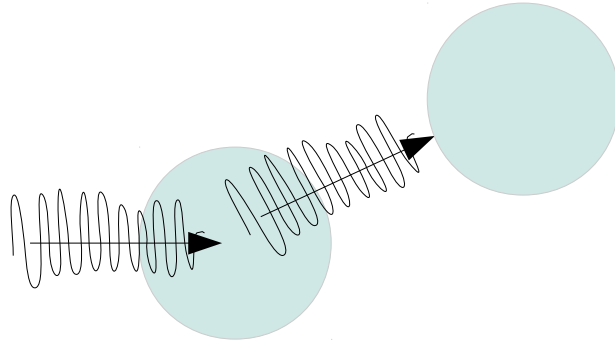
Dans les micro-ondes:

- Domaine de Rayleigh (diffuseurs petits)
- Difficulté majeure: **milieu dense!**

# Partie "microonde" - Contexte

---

Problématique similaire ?



**Optique:**

Pas d'interférence

Champ lointain

Comportement du milieu =

$n \times$  comportement d'un grain

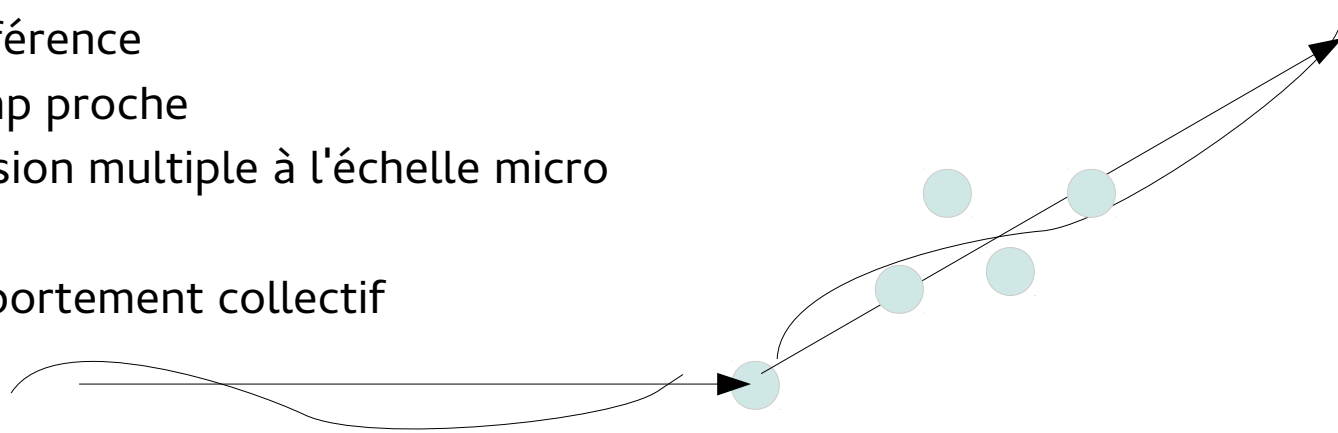
**Micro-ondes:**

Interférence

Champ proche

Diffusion multiple à l'échelle micro

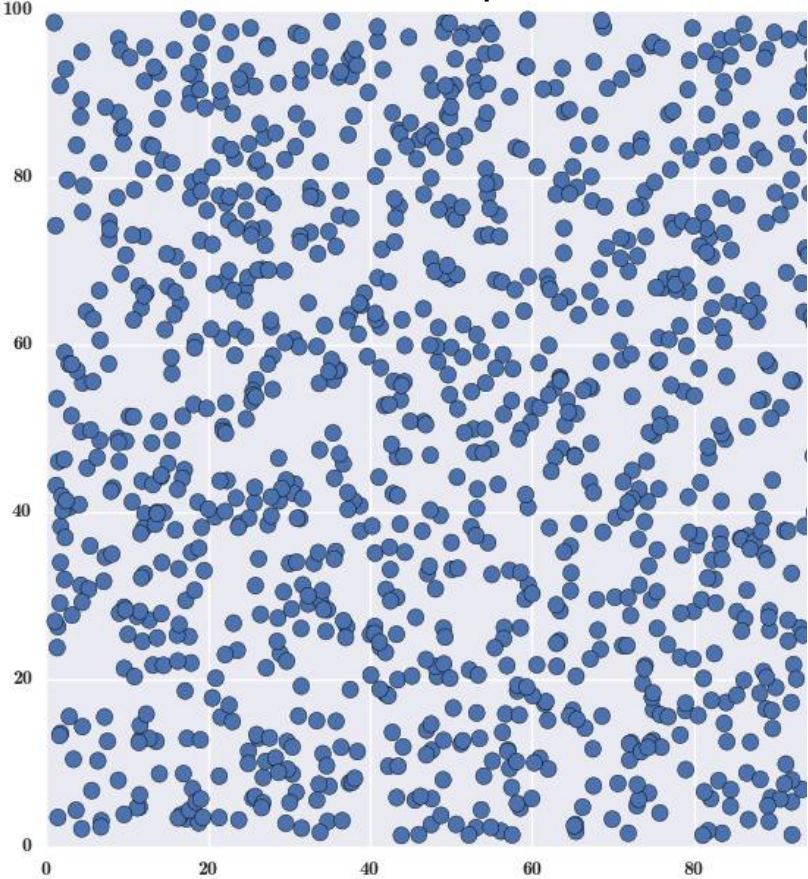
Comportement collectif



Conclusion: L'organisation spatiale de la micro-structure de l'échelle du "grain" jusqu'à celle de la longueur d'onde détermine  $K_s$ ,  $K_a$  et  $P$

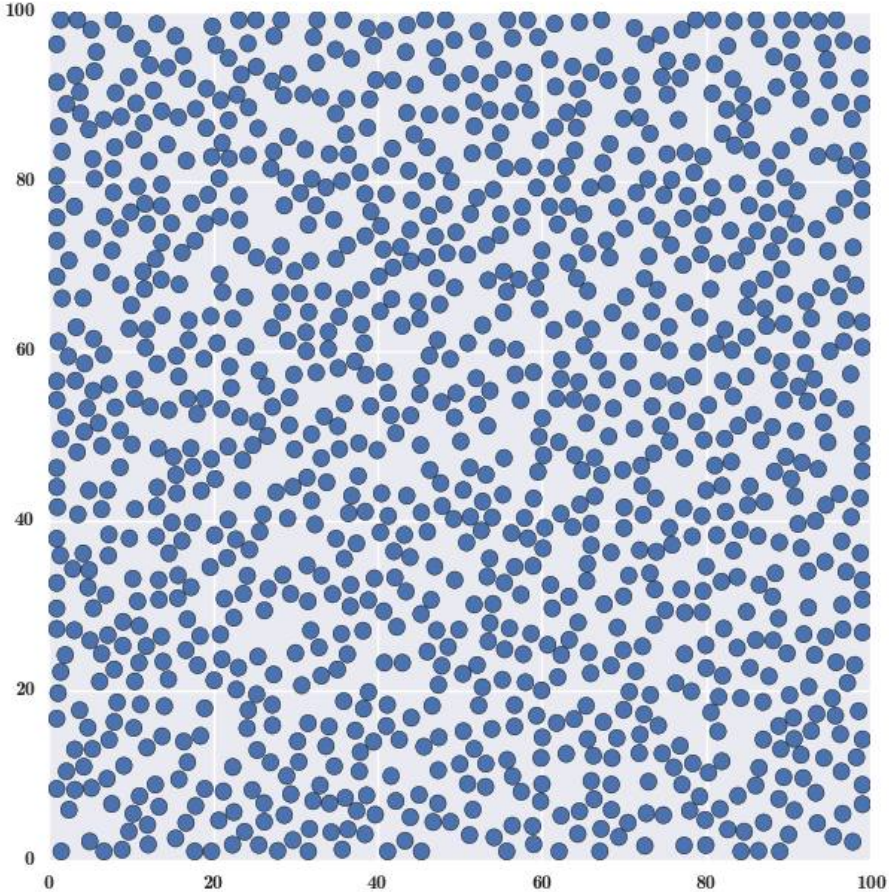
# Partie "microonde" - Contexte

Freely positioned sphere  
(100% random position)



Hard sphere

(100% random position + non-overlapping)



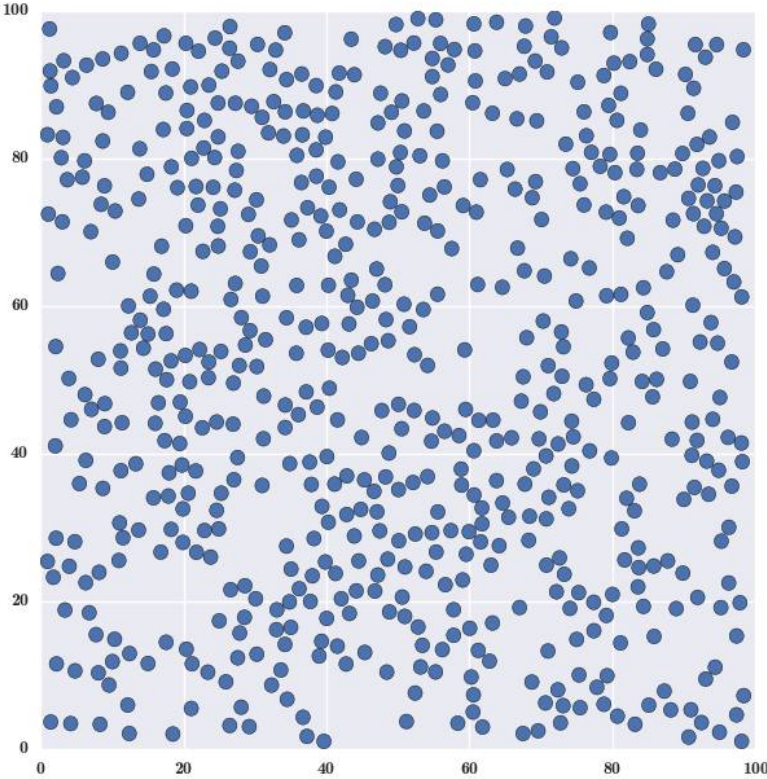
fractional volume  $f = 35\%$

Both media have ~ the same density and SSA but different electromagnetic behaviour

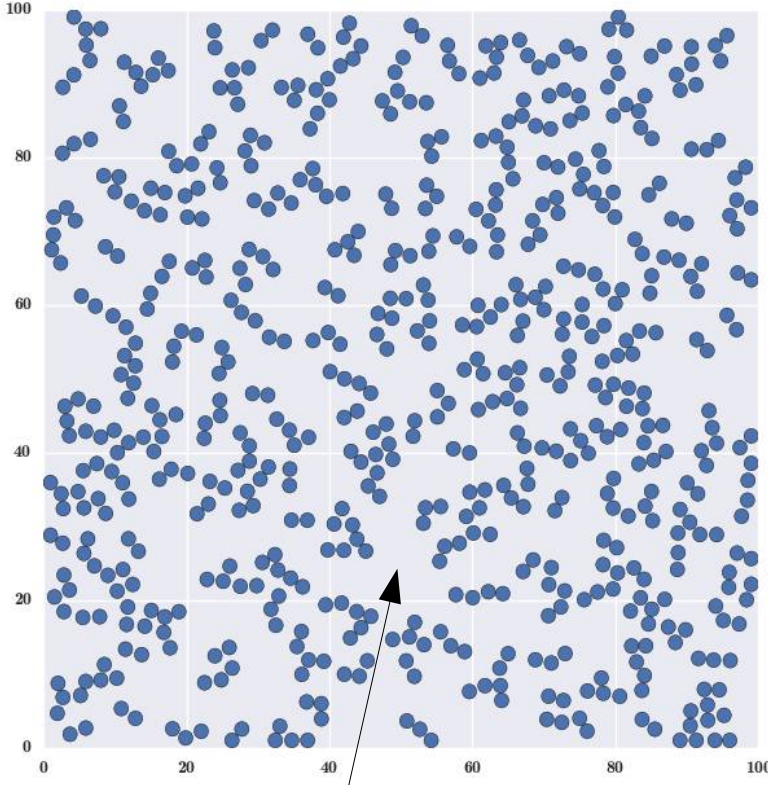


# Partie "microonde" - Contexte

Hard sphere (2D)



+ stickiness



More voids

# Partie "microonde" - Contexte

Théorie développée s'appuie sur le concept de "random media" et décrit le milieu soit:

- des particules orientées aléatoirement dont la position est décrite par le probabilité de position relative (cf slide précédente)
- un milieu diphasique décrit par la probabilité jointe de présence de glace

## En pratique:

Moment d'ordre 1: densité ou nombre de particules

Moment d'ordre 2: fonction d'auto-correlation ou pair-correlation

Moment supérieur non pris en compte

H. Lowe and G. Picard, Microwave scattering coefficients of snow in MEMLS and DMRT-ML revisited: the relevance of sticky hard spheres and tomography-based estimates of stickiness, *The Cryosphere Discussion*, 9, 2495-2542, 2015

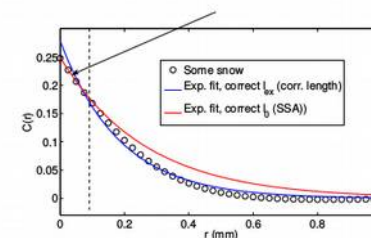
1- Réconciliation des deux approches (reformulation dans le même cadre) séparées depuis 20 ans!

2- La neige ne peut être représentée ni par des sticky hard-sphere (approche DMRT) ni par un milieu décrit par une fonction d'autocorrelation exponentielle

Expansion of the covariance at the origin: (Kirste, Porod 1962)

$$C(r) = \phi_i(1 - \phi_i) - \frac{s}{4}r + \frac{s}{4}\left(\frac{\overline{H^2}}{32} - \frac{\overline{K}}{96}\right)r^3 + \mathcal{O}(r^4)$$

- ▶  $s$ : surface area per unit volume
- ▶  $\overline{H^2}$ : mean curvature
- ▶  $\overline{K^2}$ : Gaussian curvature



# Partie "microonde" - Contexte

Projet ESA "Microsnow"

Développement d'une nouvelle génération de modèle micro-onde basée sur une prise en compte explicite de la fonction d'auto-correlation

Le point dur: quelle fonction d'auto-correlation pour la neige ?

- Quelle forme(s) analytique(s) ?
- Quel paramètre pour représenter cette forme analytique ?
- Comment prévoir l'évolution de ces paramètres en lien avec le métamorphisme ?

