



OSUG



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

$$\text{SSA} \leftrightarrow \text{Albédo}$$

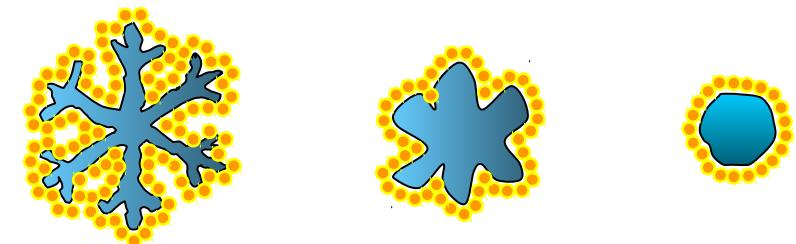
Besoin de comprendre le lien entre l'énergie diffusée et les propriétés micro-géométriques de la neige



Partie "Optique" - Context

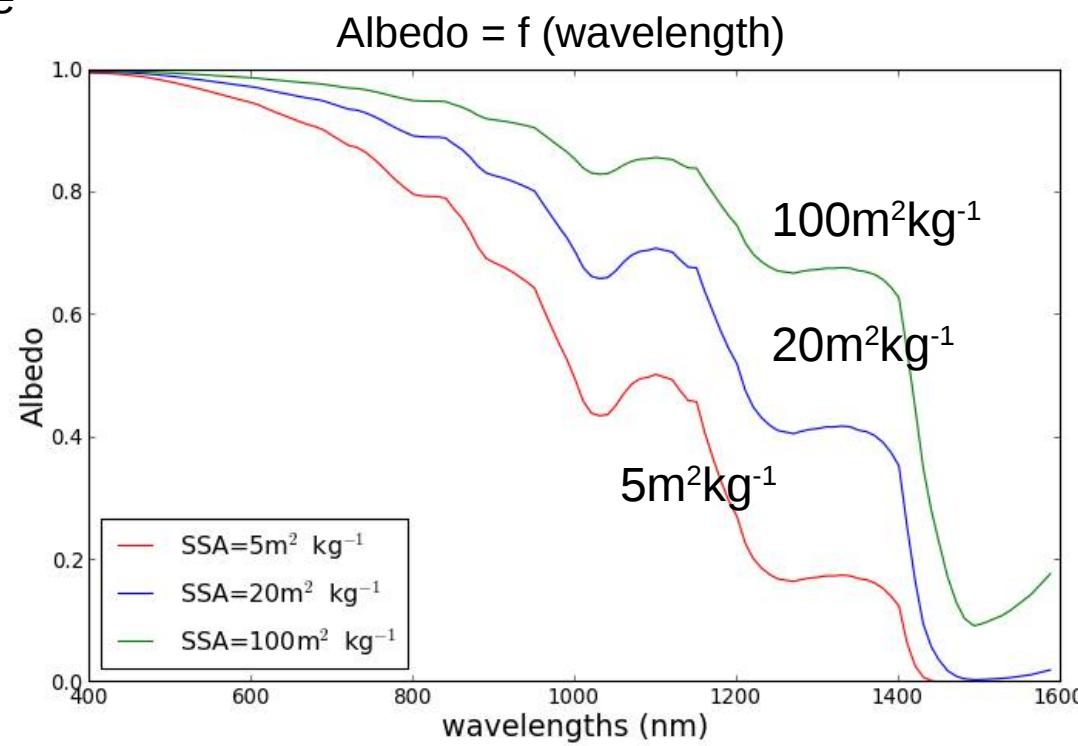
SSA = Surface de l'interface air-neige / masse de glace

Est une mesure de la "taille des grains"



L'albédo dépend de:

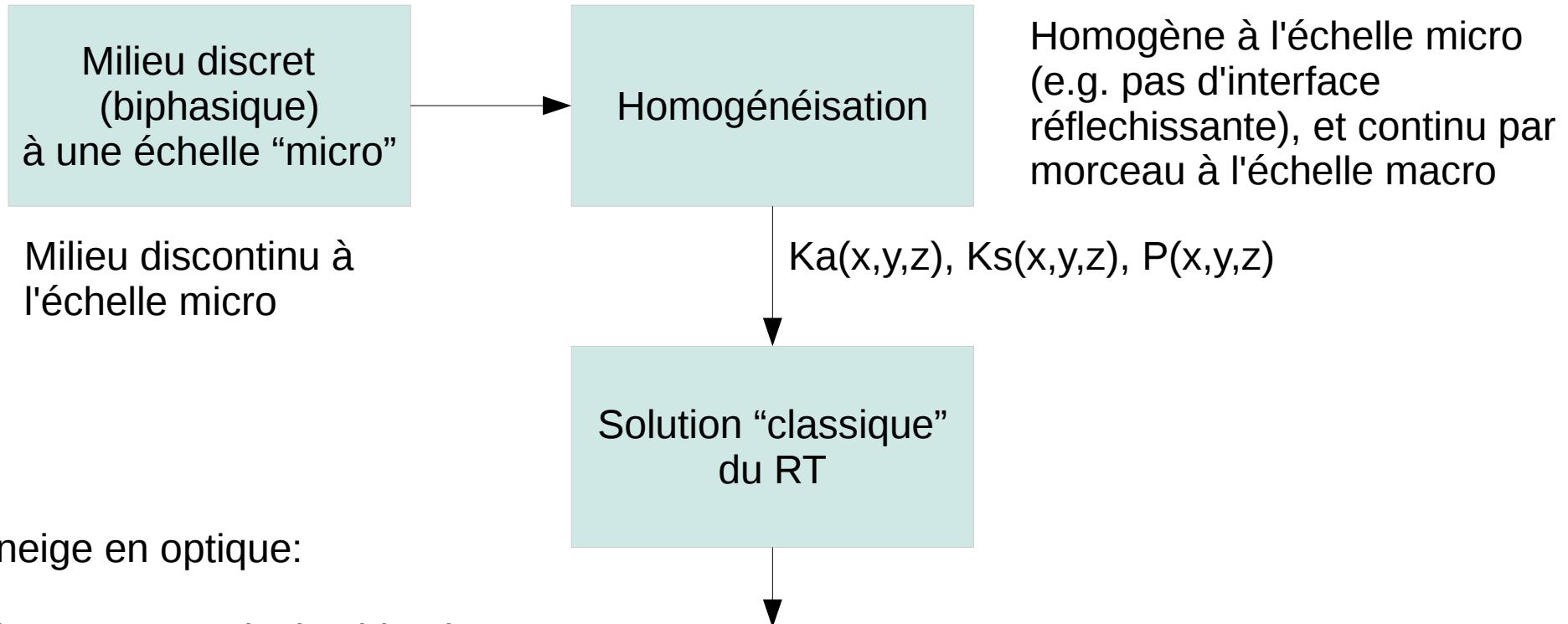
- la géométrie d'illumination
- de la **taille et forme** des grains de neige, c'est à dire de la micro-structure.
- des impuretés
- de la rugosité de surface



Partie "Optique" - Context

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

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



Pour la neige en optique:

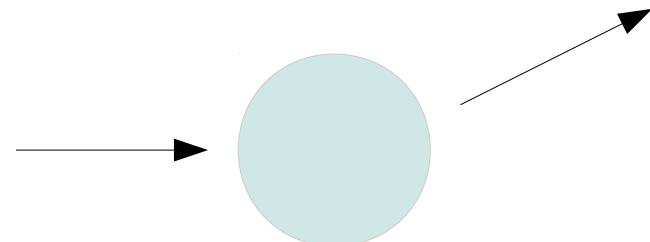
Milieu discret = n^* particules identiques
La fonction de phase p est celle d'1 grain.

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:

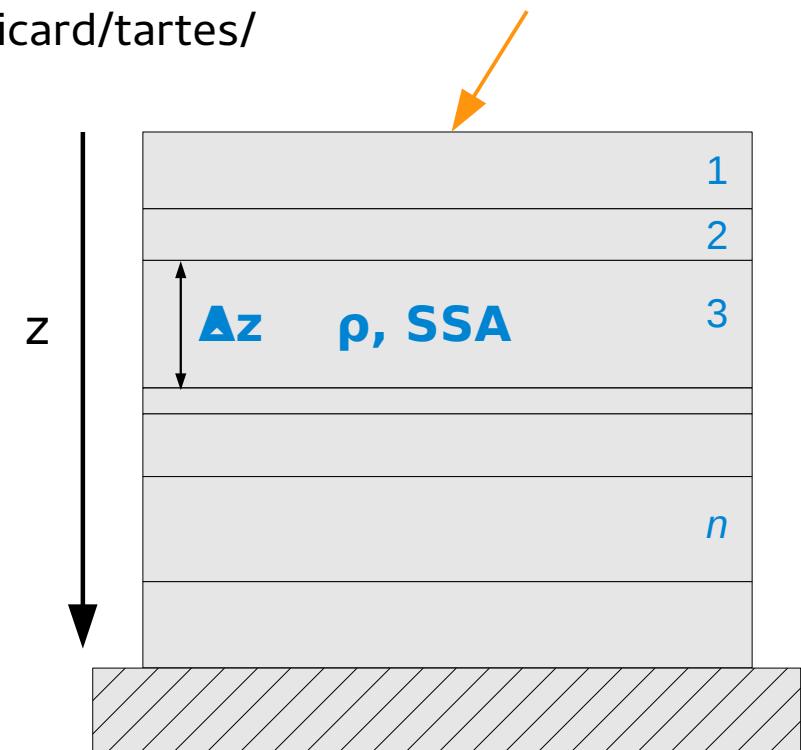
- Couteux mais pour 1 seul grain
- Solution du RT peu couteuse pour les géométries plane-parallèle

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:

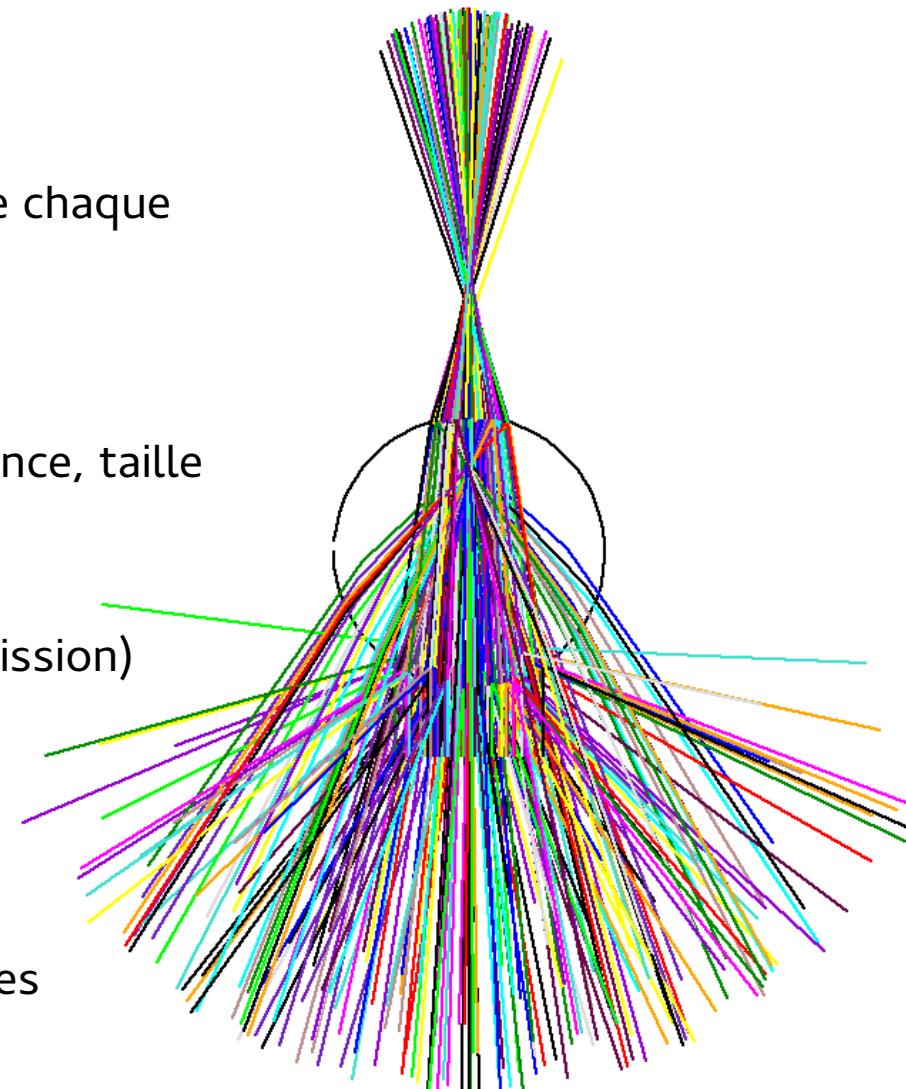
- position, taille et orientation des grains (consité de formes géométriques simples).
- mode d'arrangement (aléatoire, sans pénétration, ...)
- longueur d'onde → indice de refraction et coefficient d'absorption
- géométrie d'illumination
- Position d'instruments (implementation spécifique de chaque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

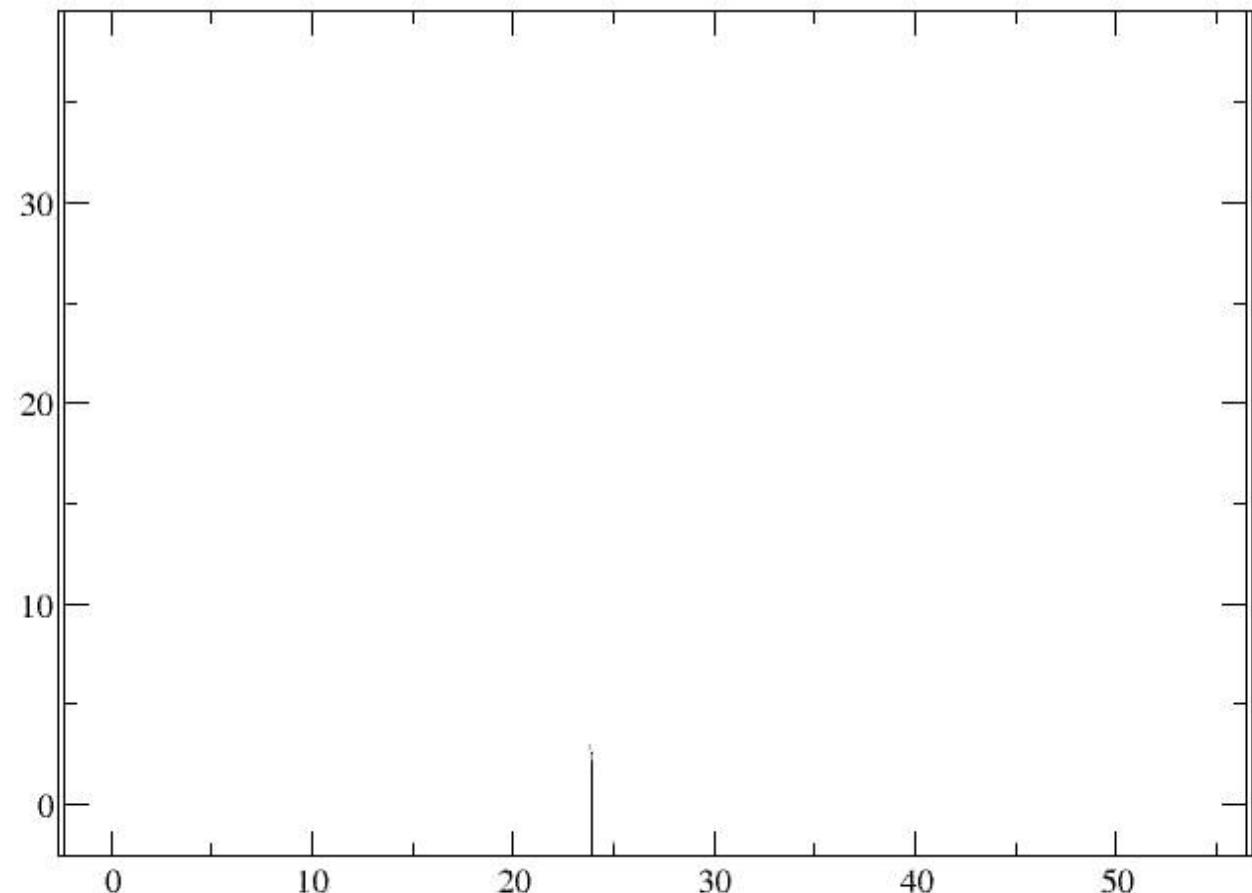
- Lancer de rayon (semi Monte-carlo)

- 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 eviter 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

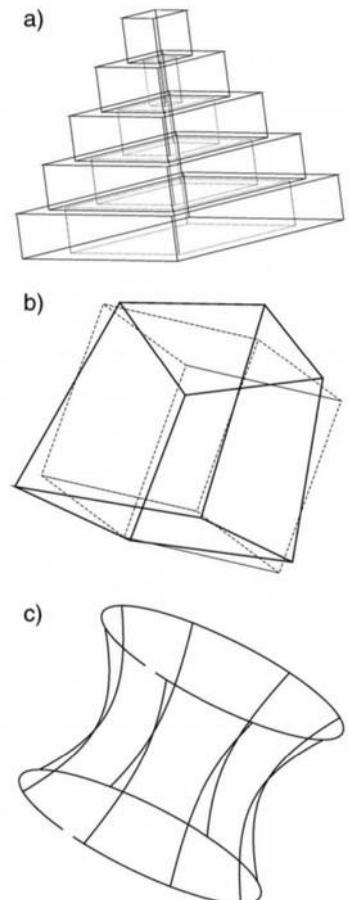
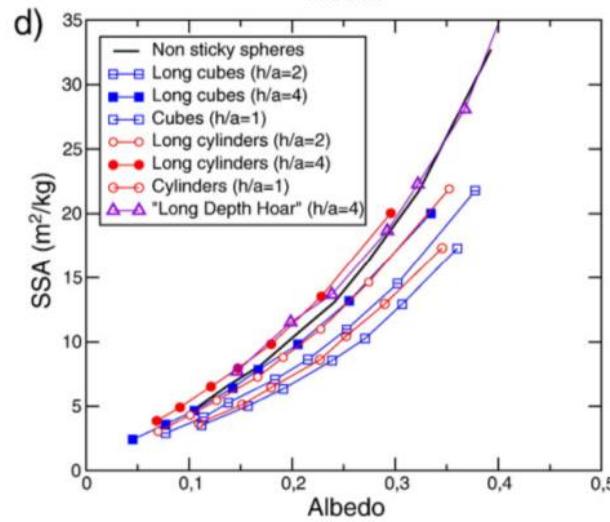
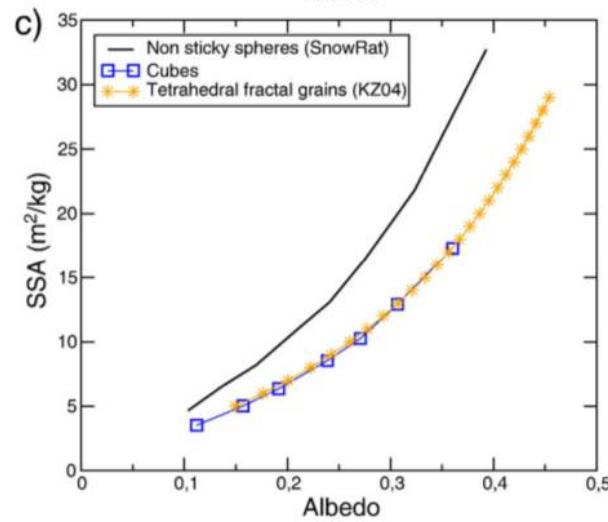
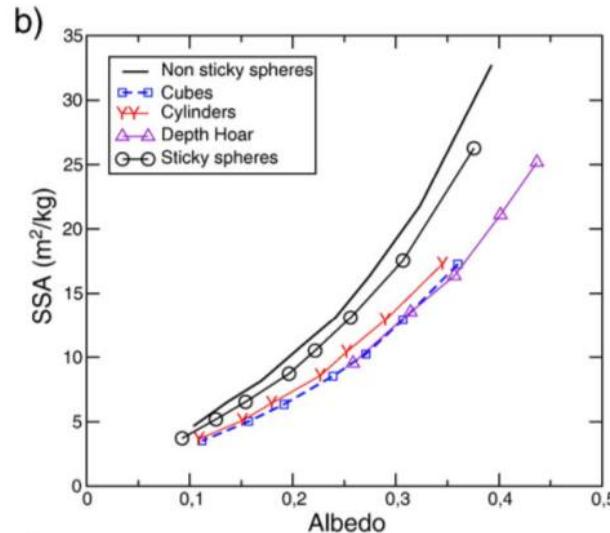
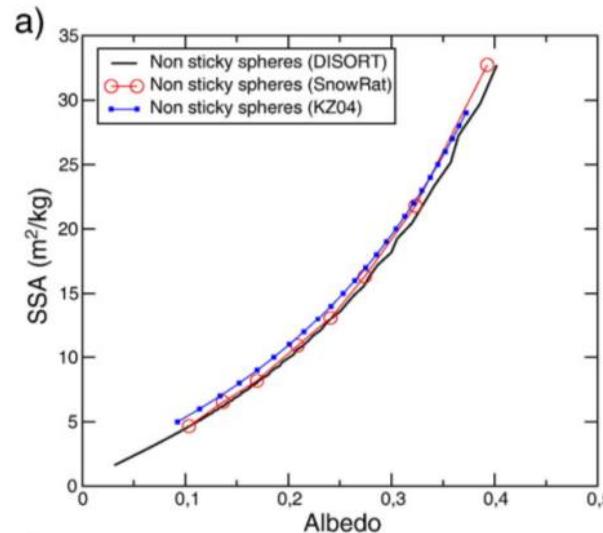


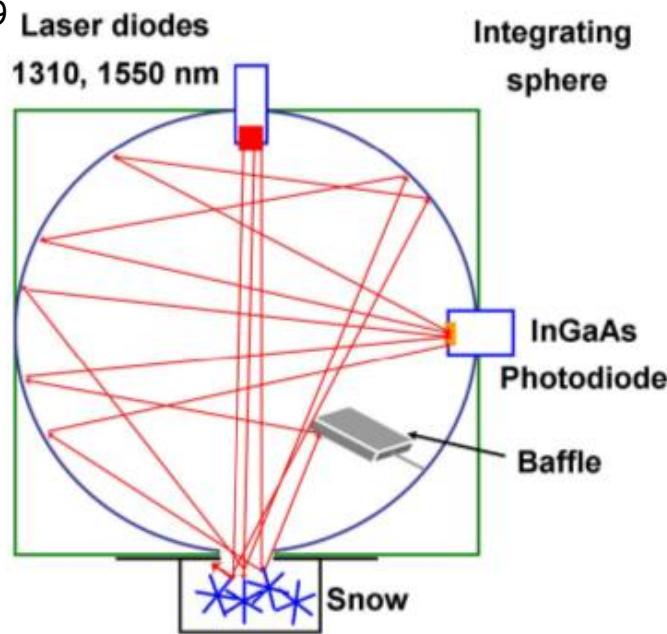
Table 1

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

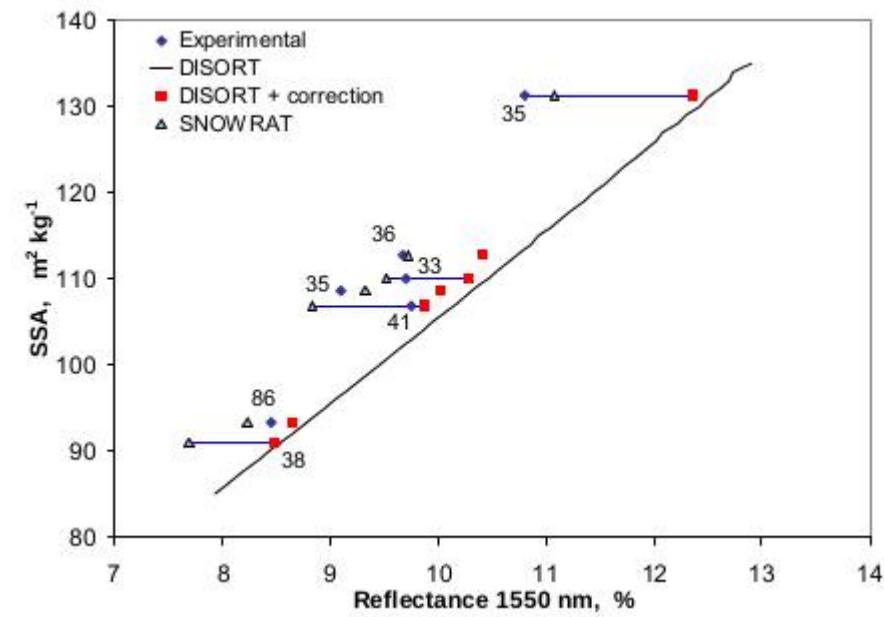
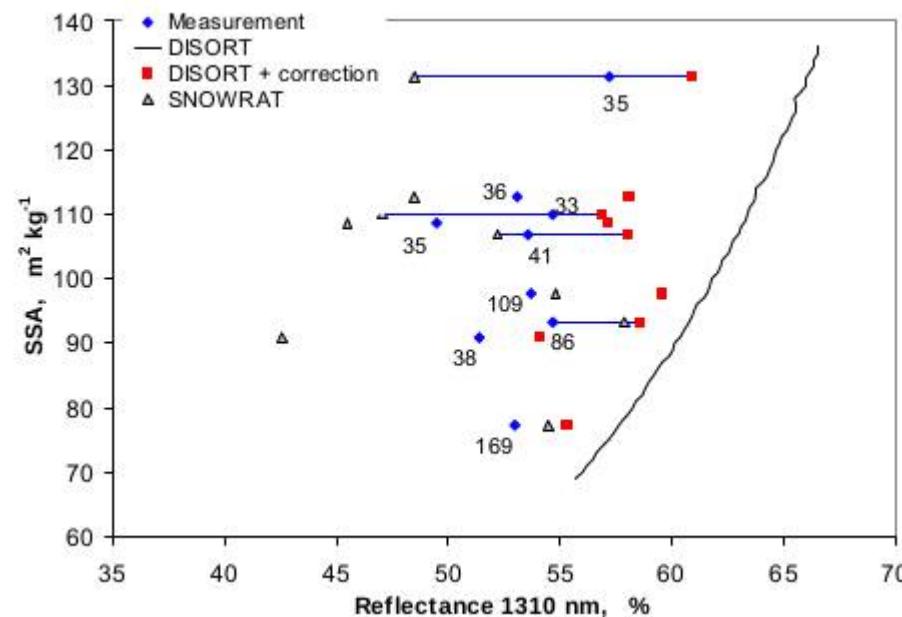
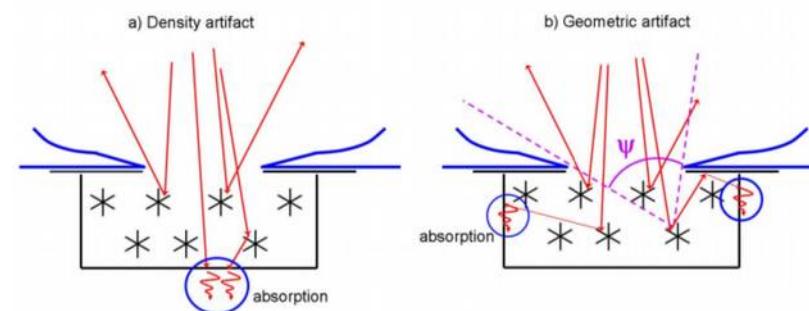
	<i>b</i> from SnowRat	<i>b</i> after Kokhanovsky and Zege (2004)
Non-sticky sphere	4.44	4.53
Random sphere	4.07	
Cubes	3.39	
Cylinder	3.67	
Depth hoar	3.16	
Cuboid (aspect ratio 4)	4.5	
Long cylinder (aspect ratio 4)	4.83	
Tetrahedral fractal		3.62

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

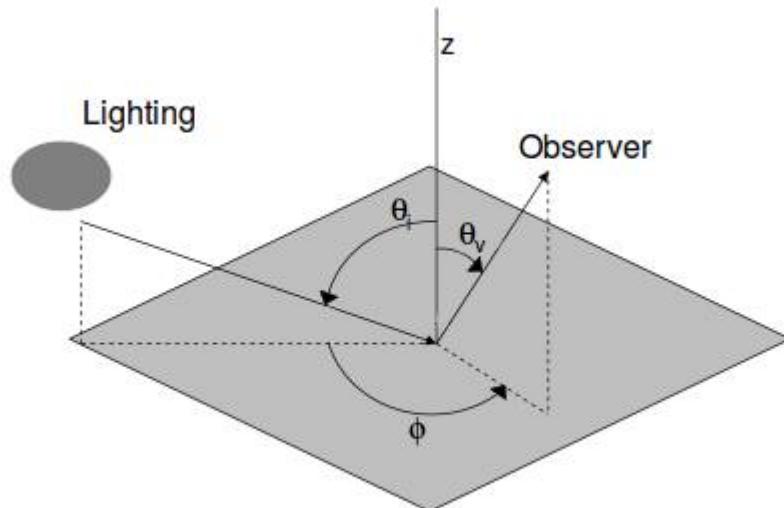


Modélisation explicite de la sphère intégrante et du porte échantillon



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 μ m

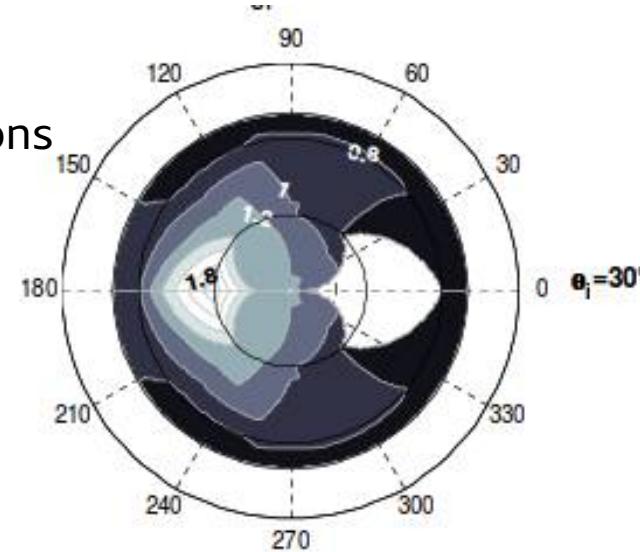
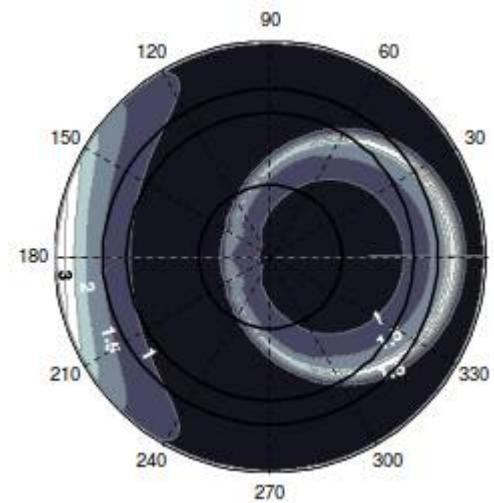
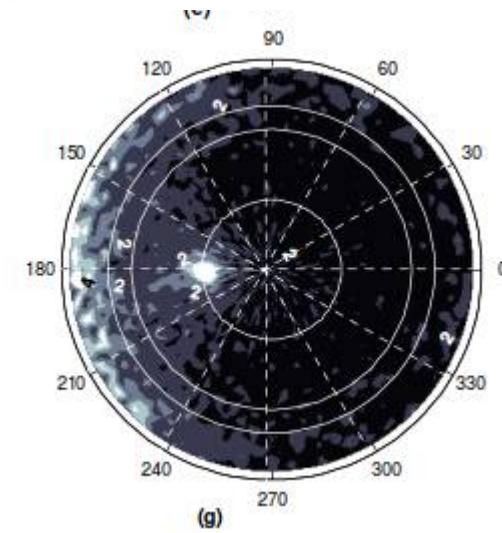


Fig. 1. Lighting and viewing configuration.



RT (sphere)



SnowRAT (cylindre)

Partie "optique" SnowRAT

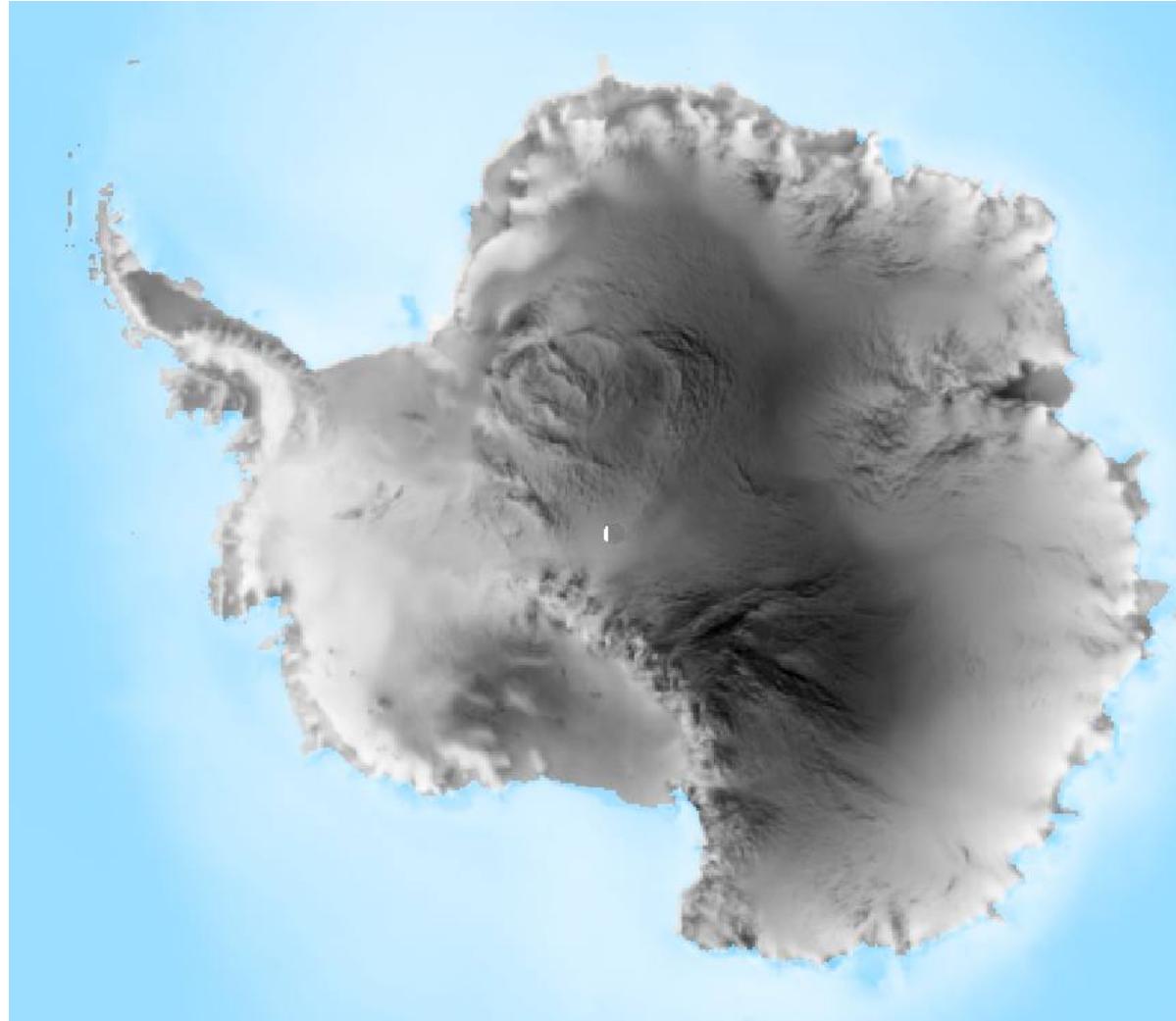
Résoudre des problèmes de design de code:

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

Implementation des triangles \rightarrow vers la tomographie

Partie "microonde" - Contexte

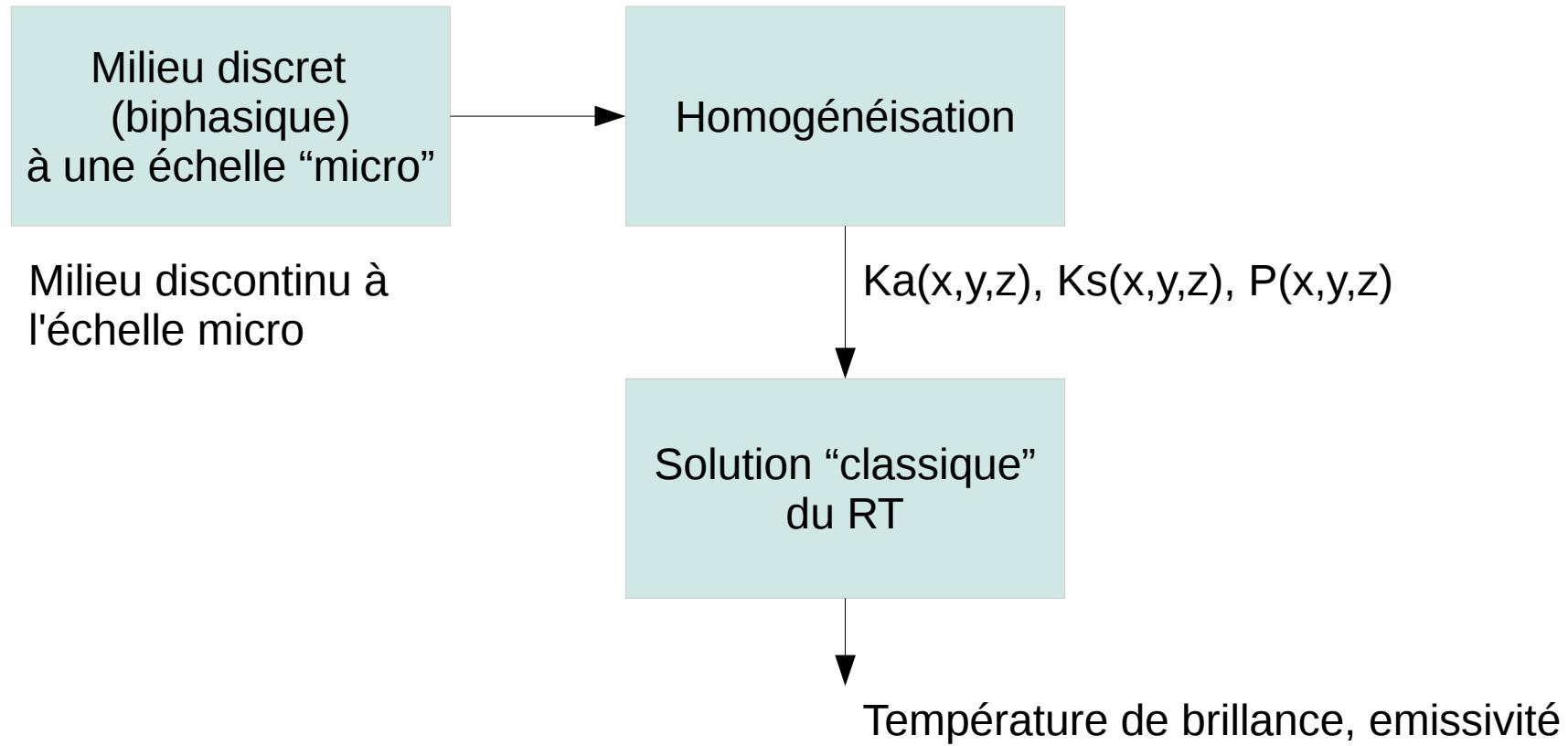
Observation de l'émission thermique de l'Antarctique dans le domaine micro-onde 1-100GHz (ondes millimétriques)



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

Partie "microonde" - Contexte

Problématique similaire

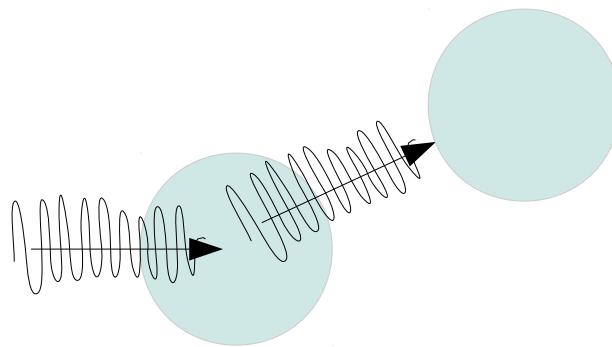


Dans les micro-ondes:

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

Partie "microonde" - Contexte

Problématique similaire ?



Optique:

Pas d'interférence
Champ lointain

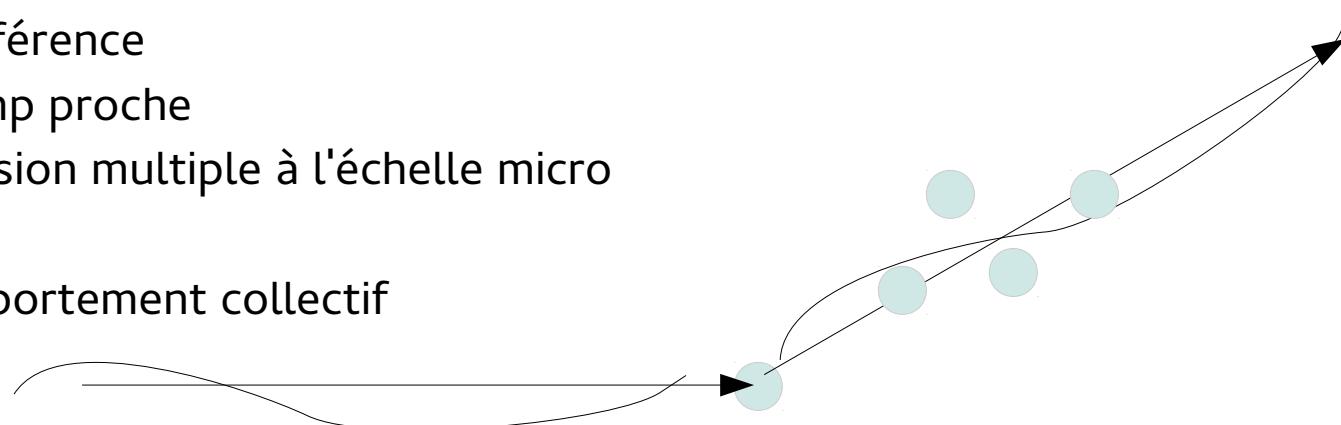
Comportement du milieu =

$$n \times \text{comportement d'un grain}$$

Micro-ondes:

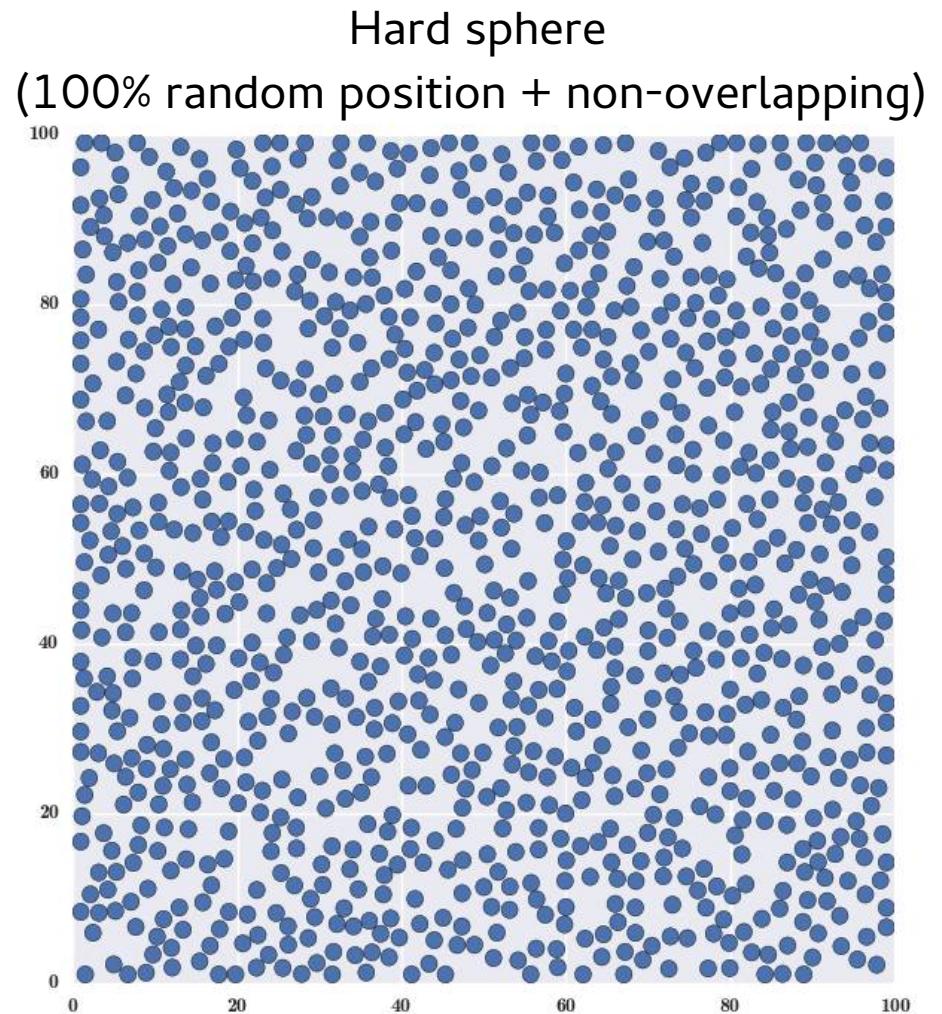
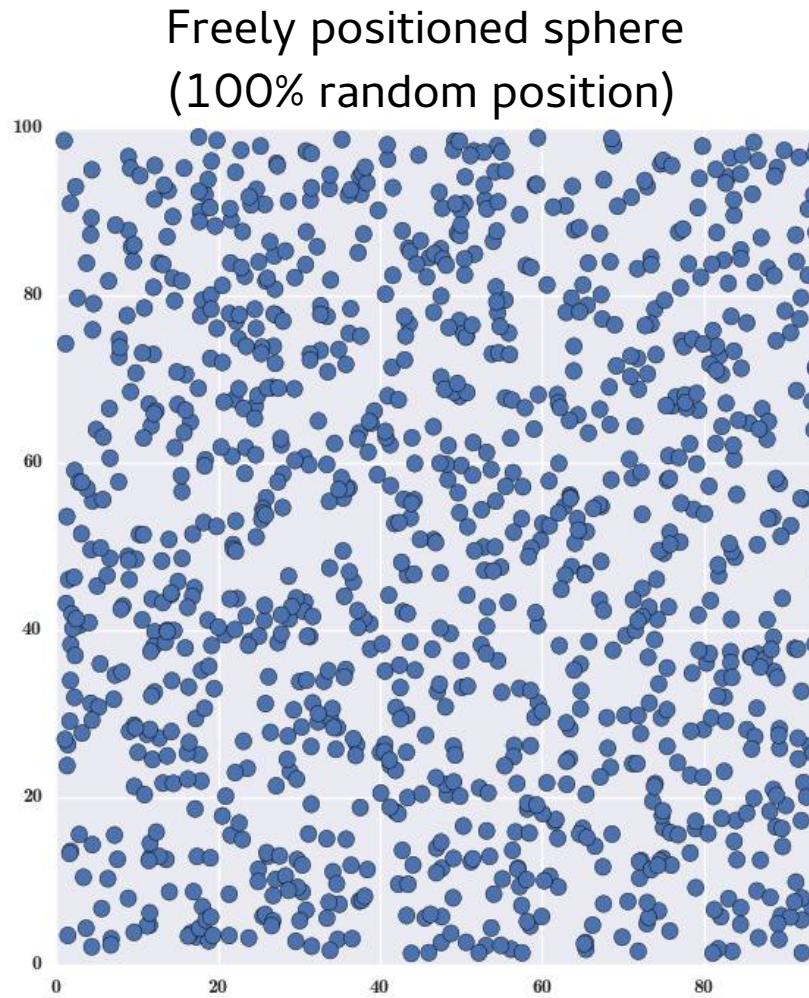
Interférence
Champ proche
Diffusion multiple à l'échelle micro

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

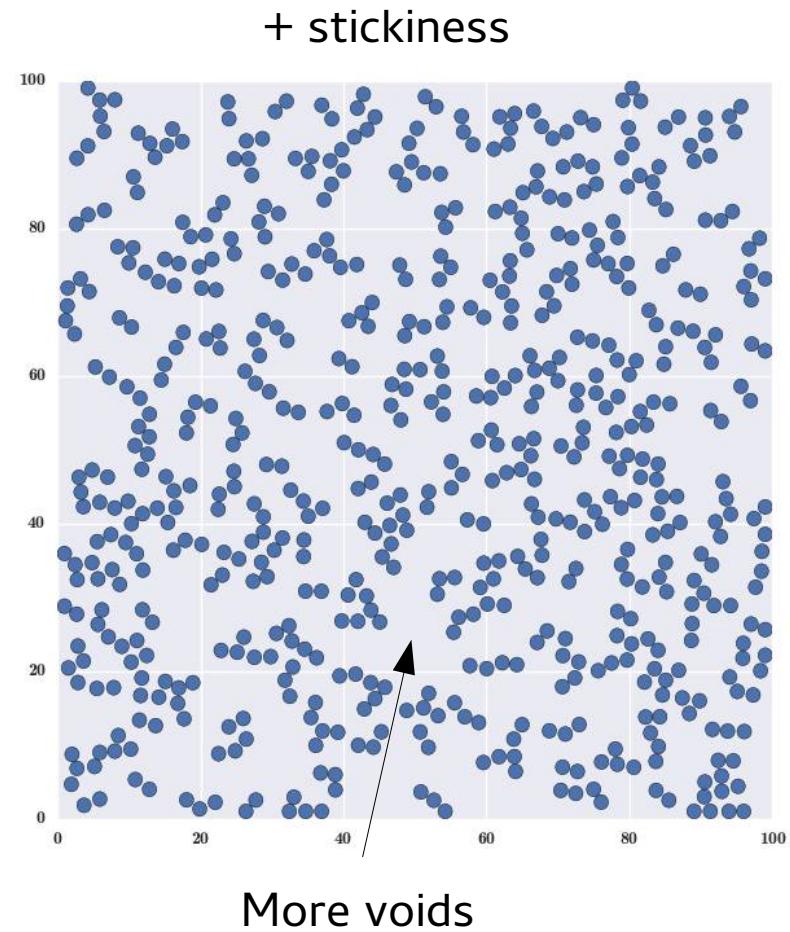
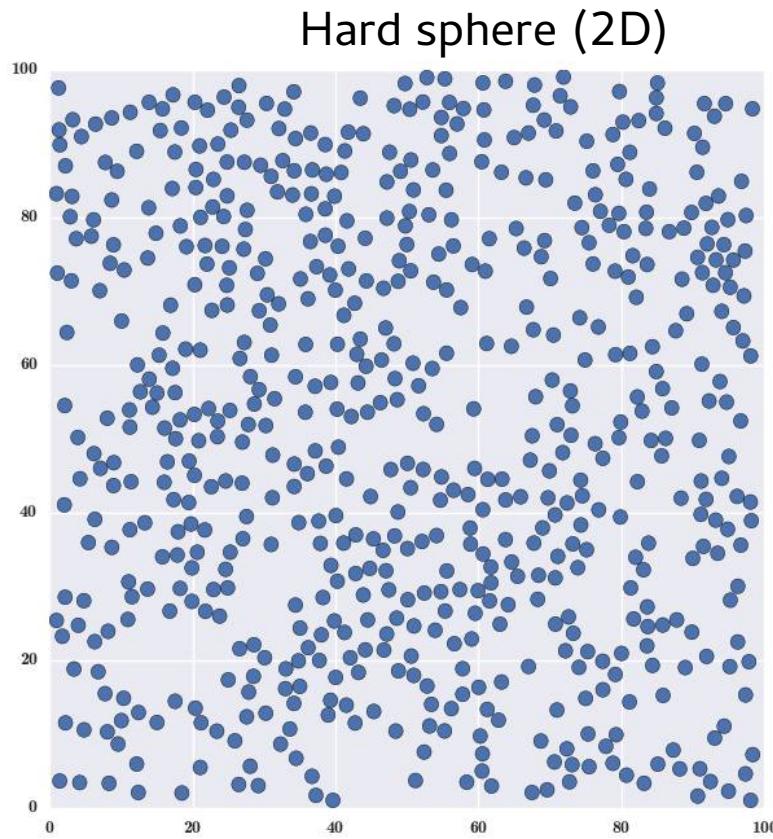
Partie "microonde" - Contexte



fractional volume $f = 35\%$

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

Partie "microonde" - Contexte



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 la 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

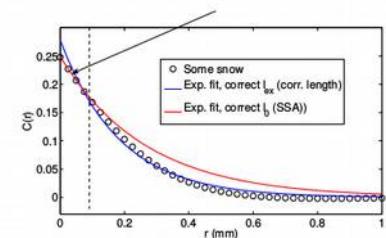
1- Réconciliation des deux approches (reformulation dans le même cadre) séparées depuis 20 ans!

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 ?

