

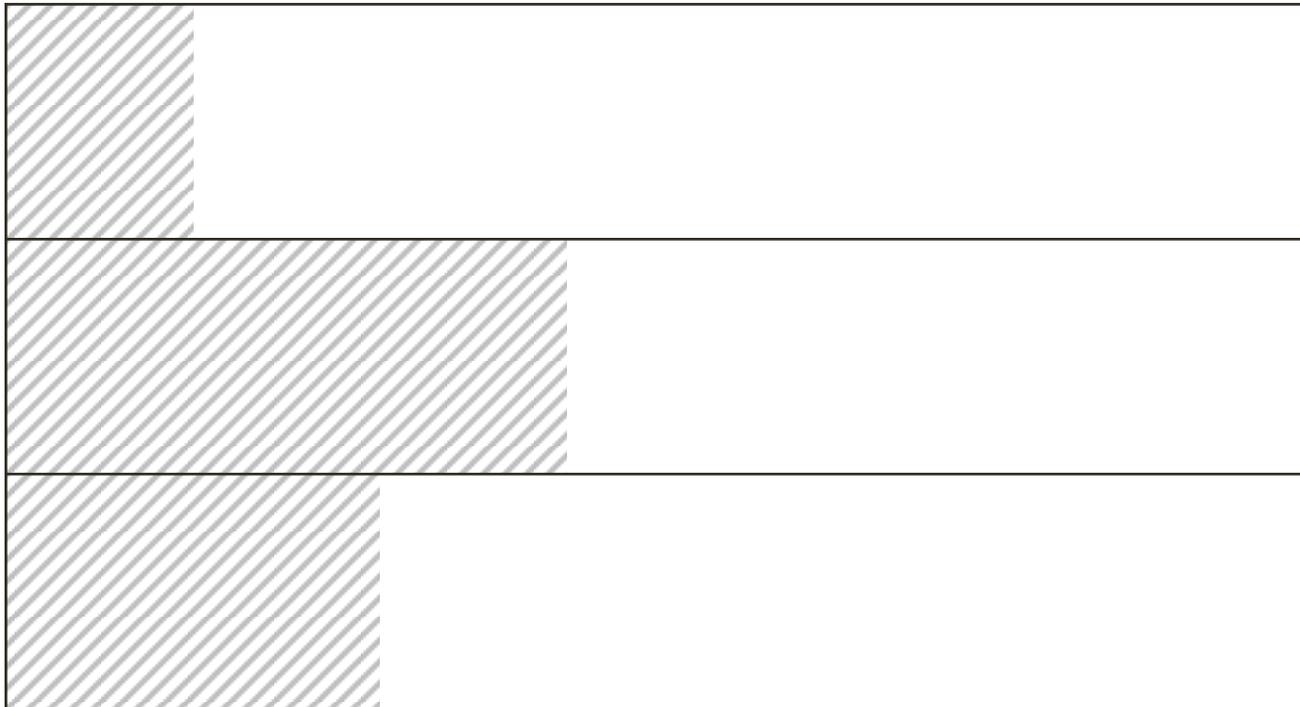
# Hétérogénéité verticale sous-maille des nuages dans LMDZ

*Jean Jouhaud, Jean-Louis Dufresne, Jean-Baptiste  
Madeleine, Frédéric Hourdin, Fleur Couvreux,  
Najda Villefranque, Arnaud Jam*



# Contexte

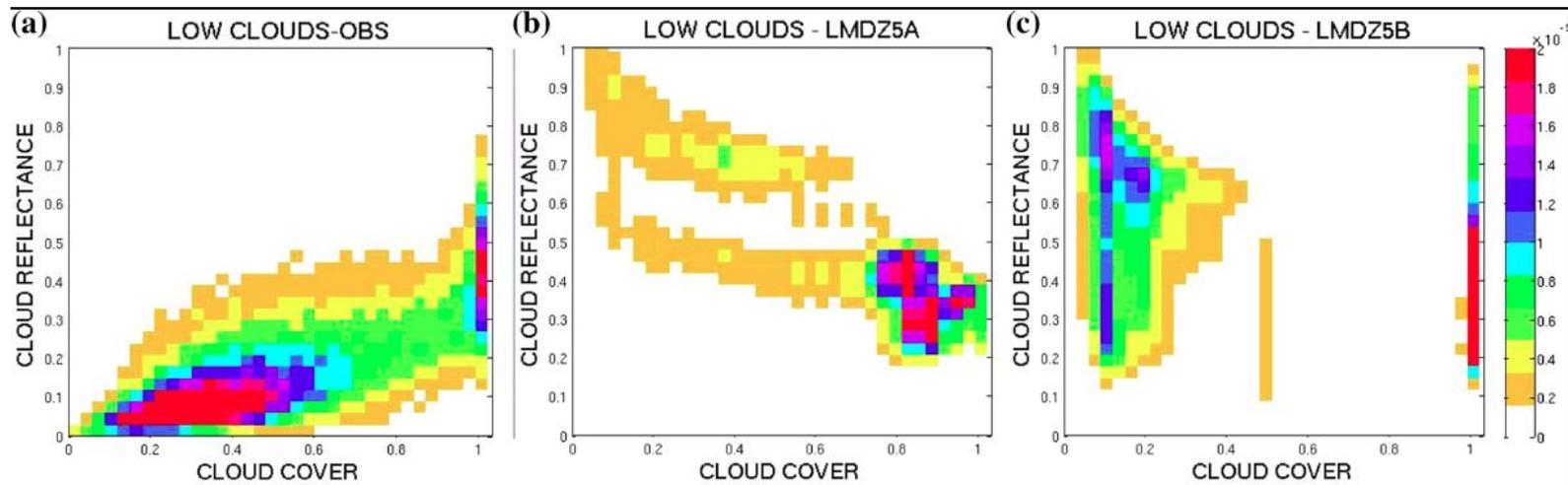
- Modèle type LMDZ : répartition de l'eau dans les couches successives du GCM



Fractions nuageuses dans 3 couches de GCM

# Contexte

- La couverture nuageuse impacte fortement le climat.
- Or, voilà ce qu'on trouve dans les océans tropicaux :



Konsta et al. 2012 : Biais de couverture des nuages bas  
**“Too few, (donc) too bright”**

# Problèmes et Idées

- Problème :
  - On fait des nuages de faible fractions trop réfléchissants
  - Les **paramétrisations** sous-maille actuelles **ne sont qu'horizontales...**
- Idée :
  - → On va ajouter une **hétérogénéité verticale** dans le calcul des fractions nuageuses et de l'eau condensée.

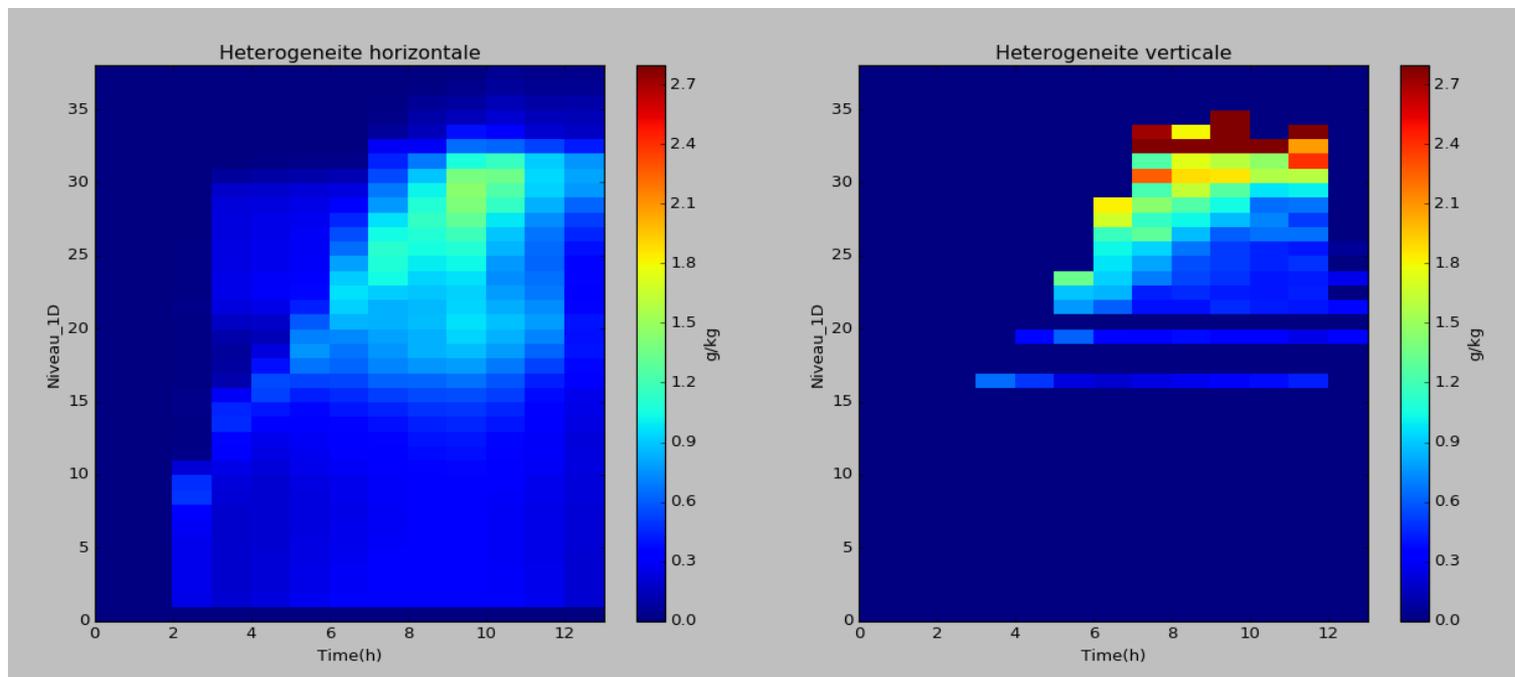
# Raisonnement (intuitif)

- Pourquoi ajouter cette hétérogénéité verticale et pas autre chose ?
- Parce qu'on pourra faire des nuages comme ça maintenant, ce qui paraît plus proche de la réalité :



# Raisonnement (scientifique)

- Au-delà de “l’intuitif”, cette hétérogénéité sous maille existe. Et on ne la simule pas du tout.

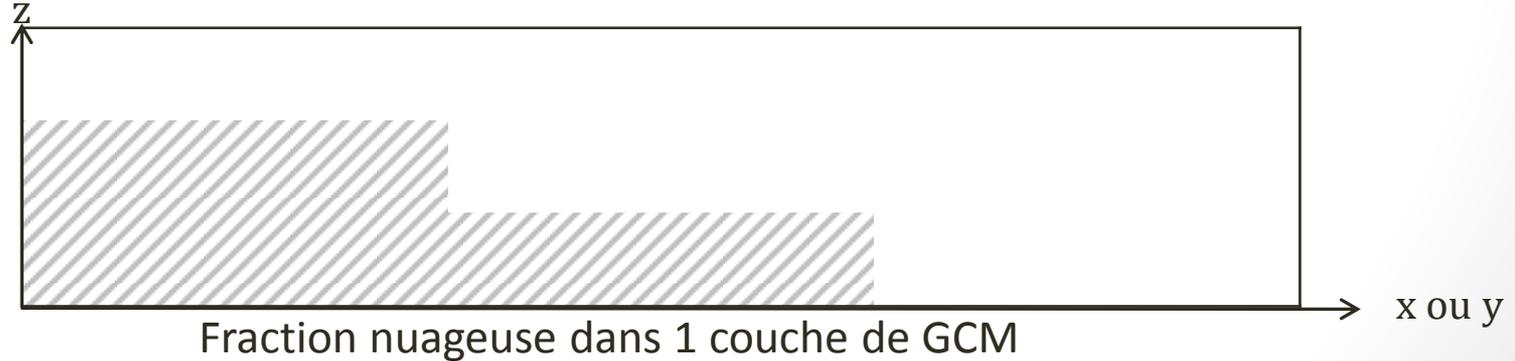


# Avantages notables

- Cette PDF nous permettrait théoriquement de passer de ça :



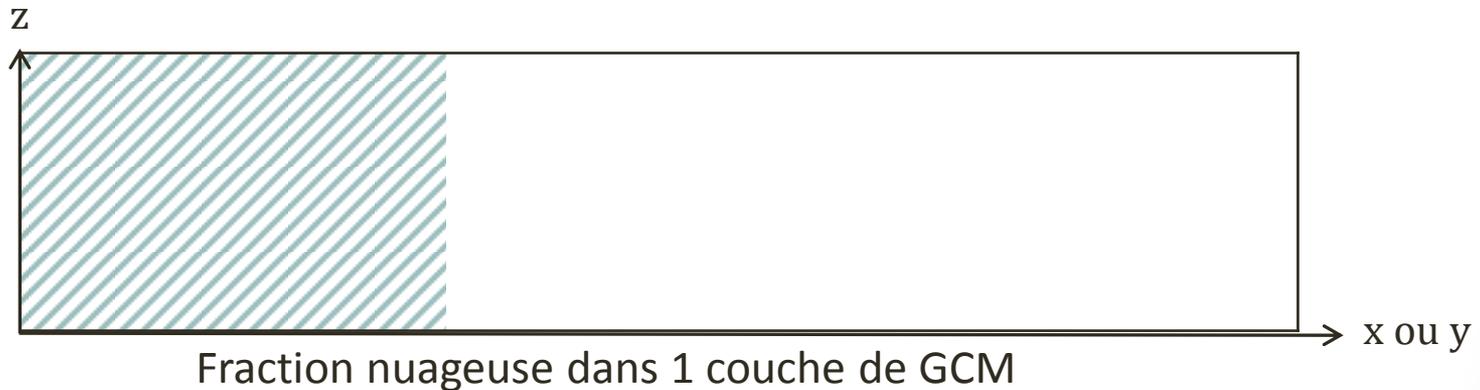
- A ça, par exemple:



# Ce qui n'est pas anodin...

- Aujourd'hui, 1 couche se remplit obligatoirement horizontalement :

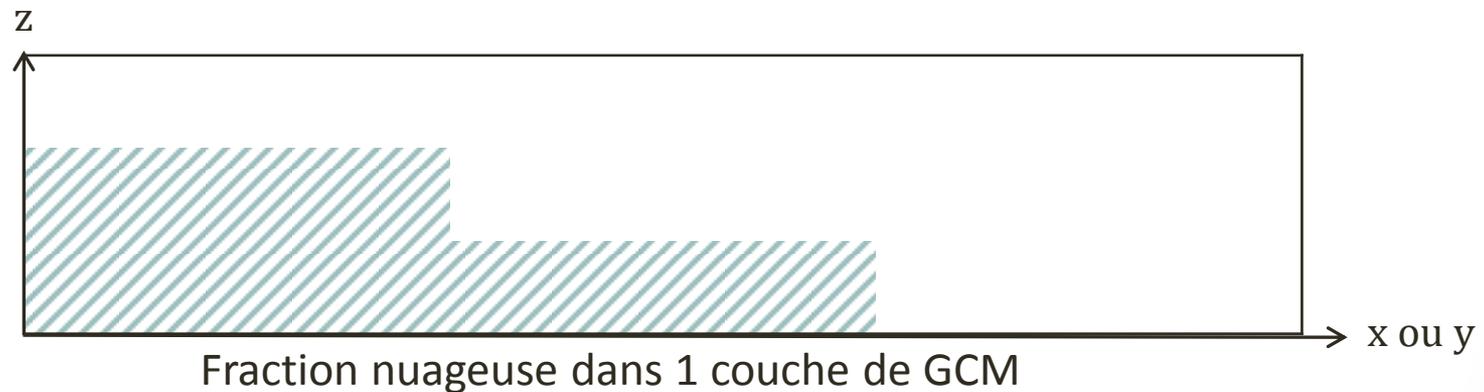
$$\textit{CloudFraction} = CF_{\textit{volumique}} = CF_{\textit{surfacique}}$$



# Ce qui n'est pas anodin...

- Désormais, 1 couche se remplira librement sur l'horizontale ET la verticale :

$$CF_{volumique} \leq CF_{surfacique}$$



# Corolaire et fin de la théorie

- On peut disposer l'eau comme ci-dessous et diminuer la réflectance pour une même  $CF_{surf}$ .
- Cela pourrait résoudre le "too few, donc too bright".



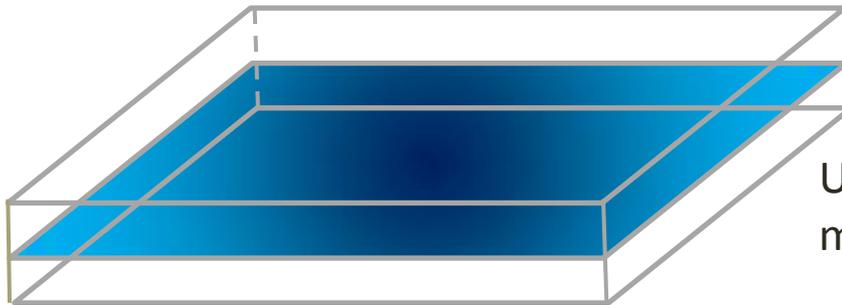
Fraction nuageuse dans 1 couche de GCM

# Comment ajouter cette PDF verticale ?

- Calcul actuel de la fraction nuageuse :

$$CF = \int_{s=0}^{s \rightarrow \infty} P(s) \cdot ds$$

- OR :  $P(s)$  est une **distribution horizontale**  $\rightarrow s = \bar{s}_z$

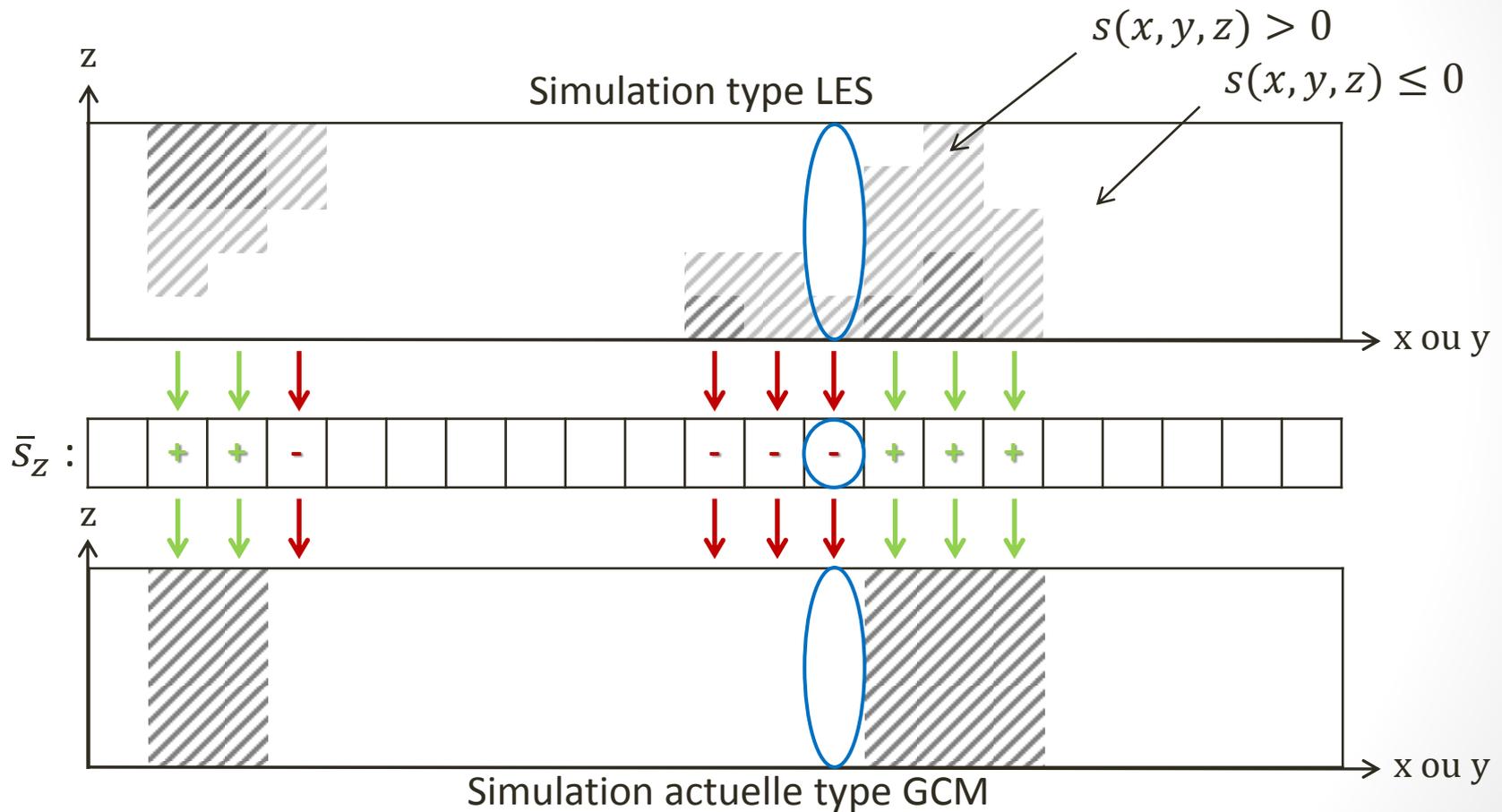


Une couche du modèle LMDZ

- Le calcul actuel est donc :

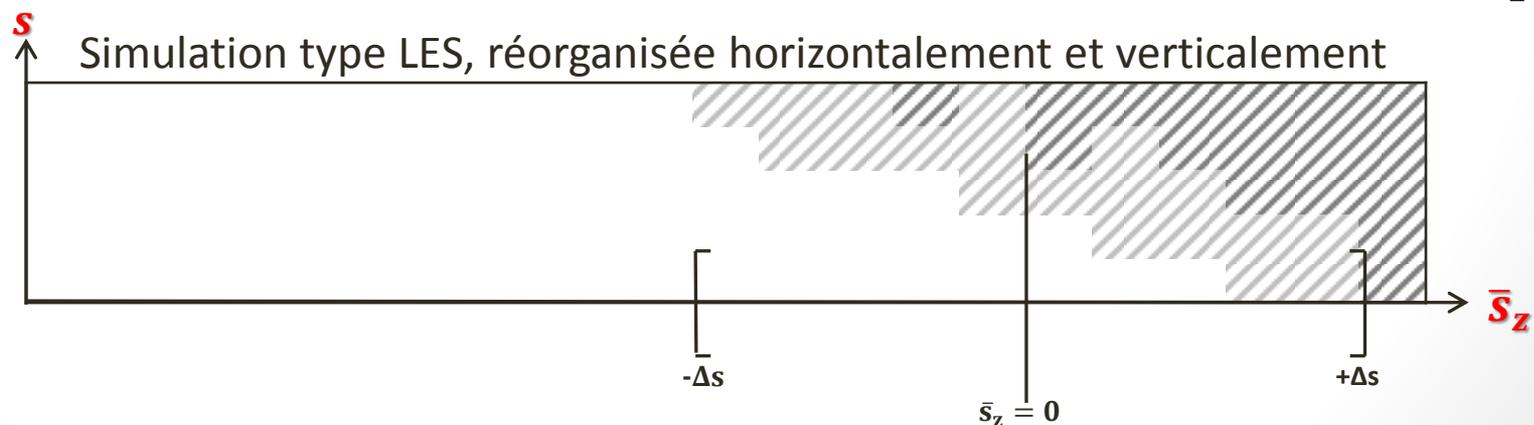
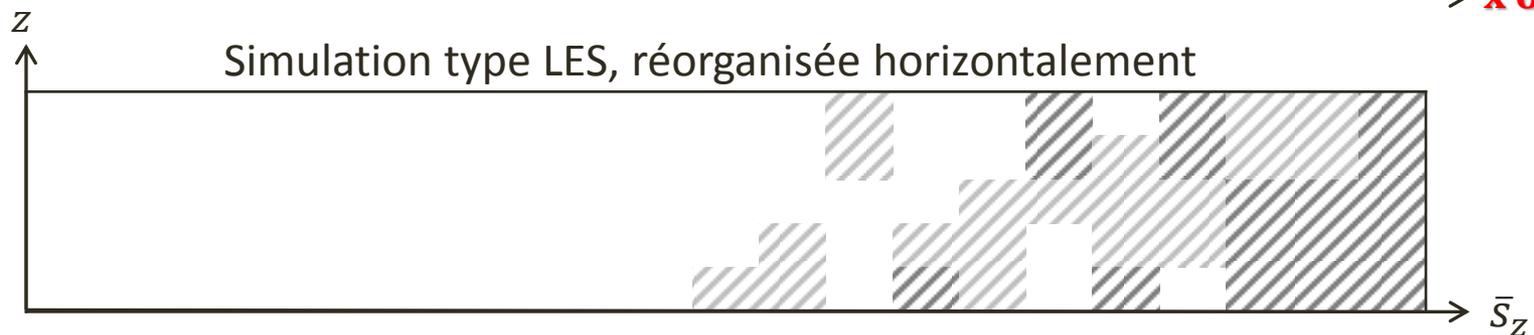
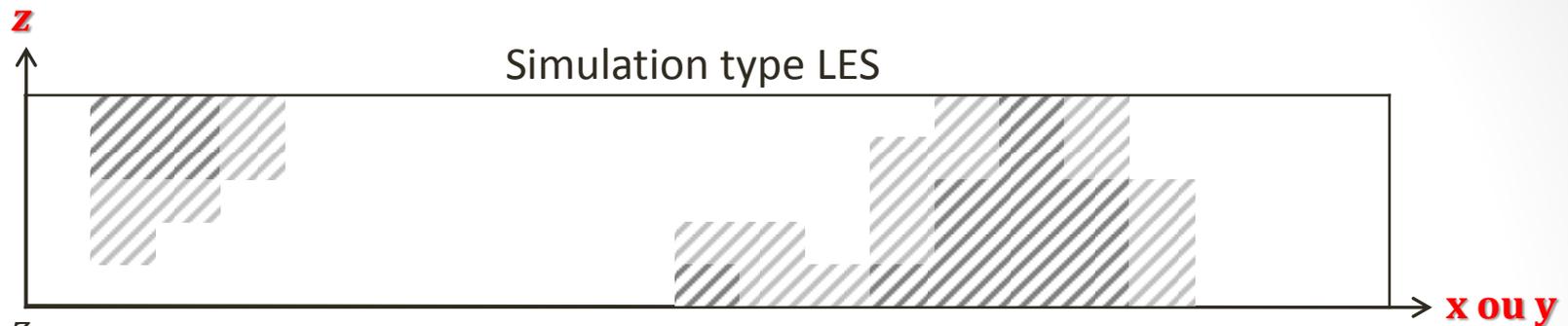
$$CF = \int_{\bar{s}_z=0}^{\bar{s}_z \rightarrow \infty} P(\bar{s}_z) \cdot d\bar{s}_z$$

# Une représentation incomplète

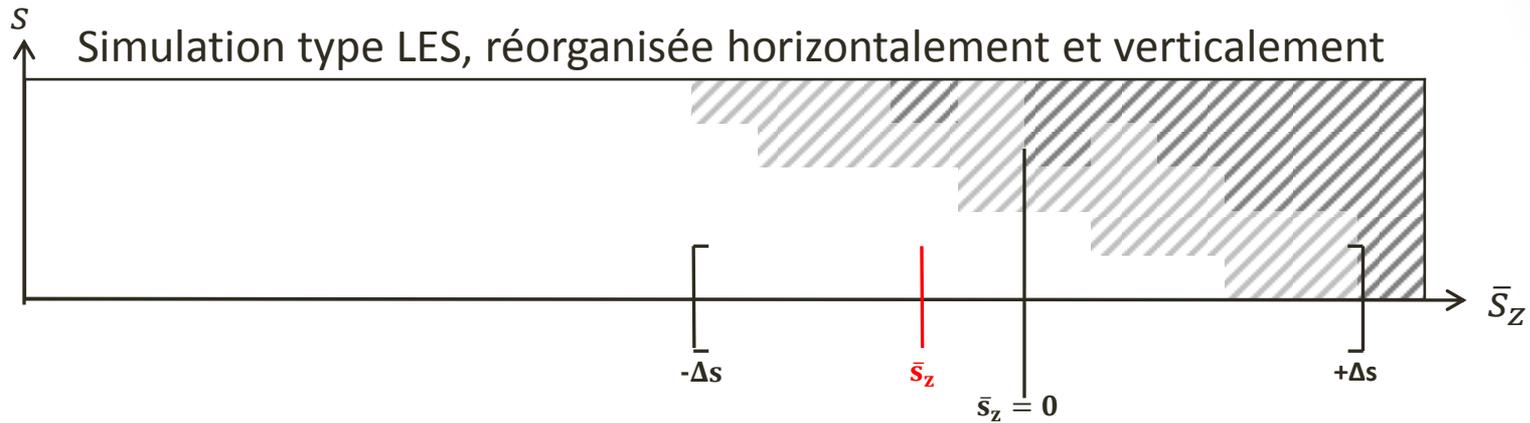


✓ 1 étape clé pour comprendre la correction : la réorganisation statistique

# Idée : Réorganisation statistique



# Nouvelle Fraction Volumique

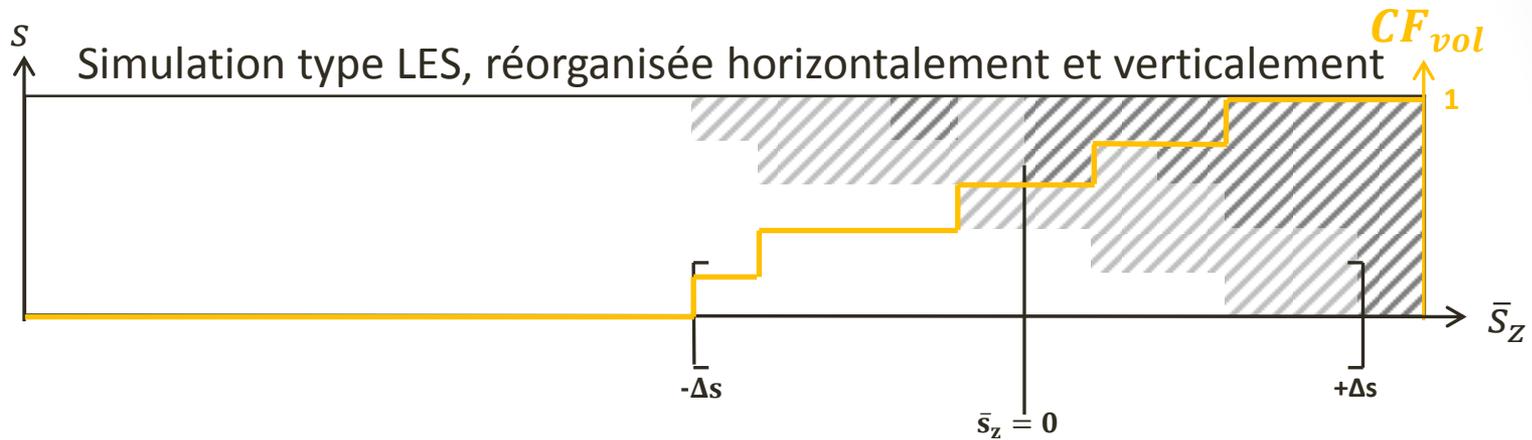


- Calcul de la fraction volumique

$$CF_{vol} = \int_{\bar{s}_z = -\infty}^{\bar{s}_z = +\infty} \left( \int_{s=0}^{s=+\infty} Q_{vol}(s, \bar{s}_z) \cdot ds \right) \cdot P(\bar{s}_z) \cdot d\bar{s}_z$$

Distribution verticale      Distribution horizontale

# Nouvelle Fraction Volumique



- Calcul de la fraction volumique

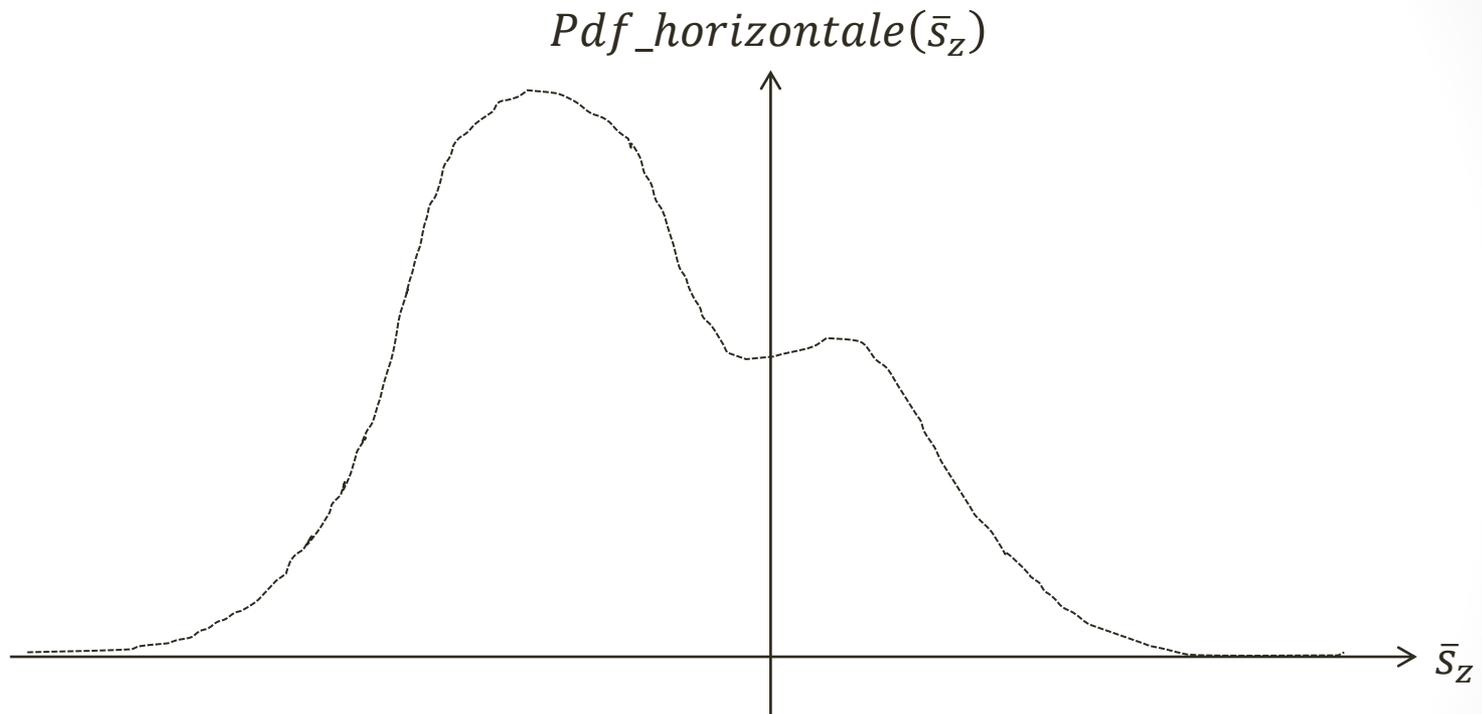
$$CF_{vol} = \int_{\bar{s}_z = -\infty}^{\bar{s}_z = +\infty} \left( \int_{s=0}^{s=+\infty} Q_{vol}(s, \bar{s}_z) \cdot ds \right) \cdot P(\bar{s}_z) \cdot d\bar{s}_z$$

Distribution verticale
Distribution horizontale

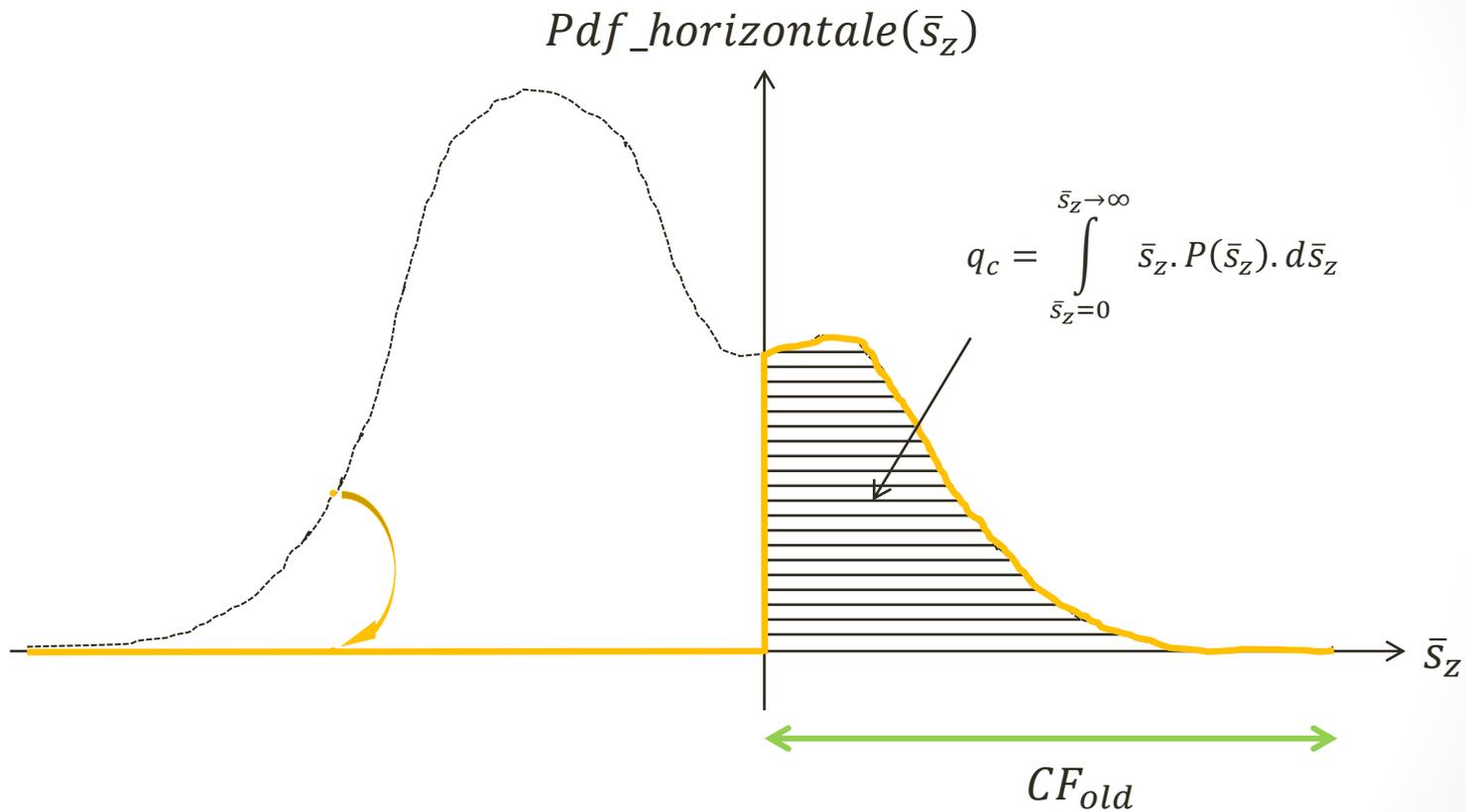
# Description du calcul

- Les PDF horizontales et verticales apparaissent désormais dans le même calcul :
  - ✓ Mais comment fonctionne le calcul ?
  - ✓ Et comment la nouvelle PDF verticale agit sur la PDF horizontale ?

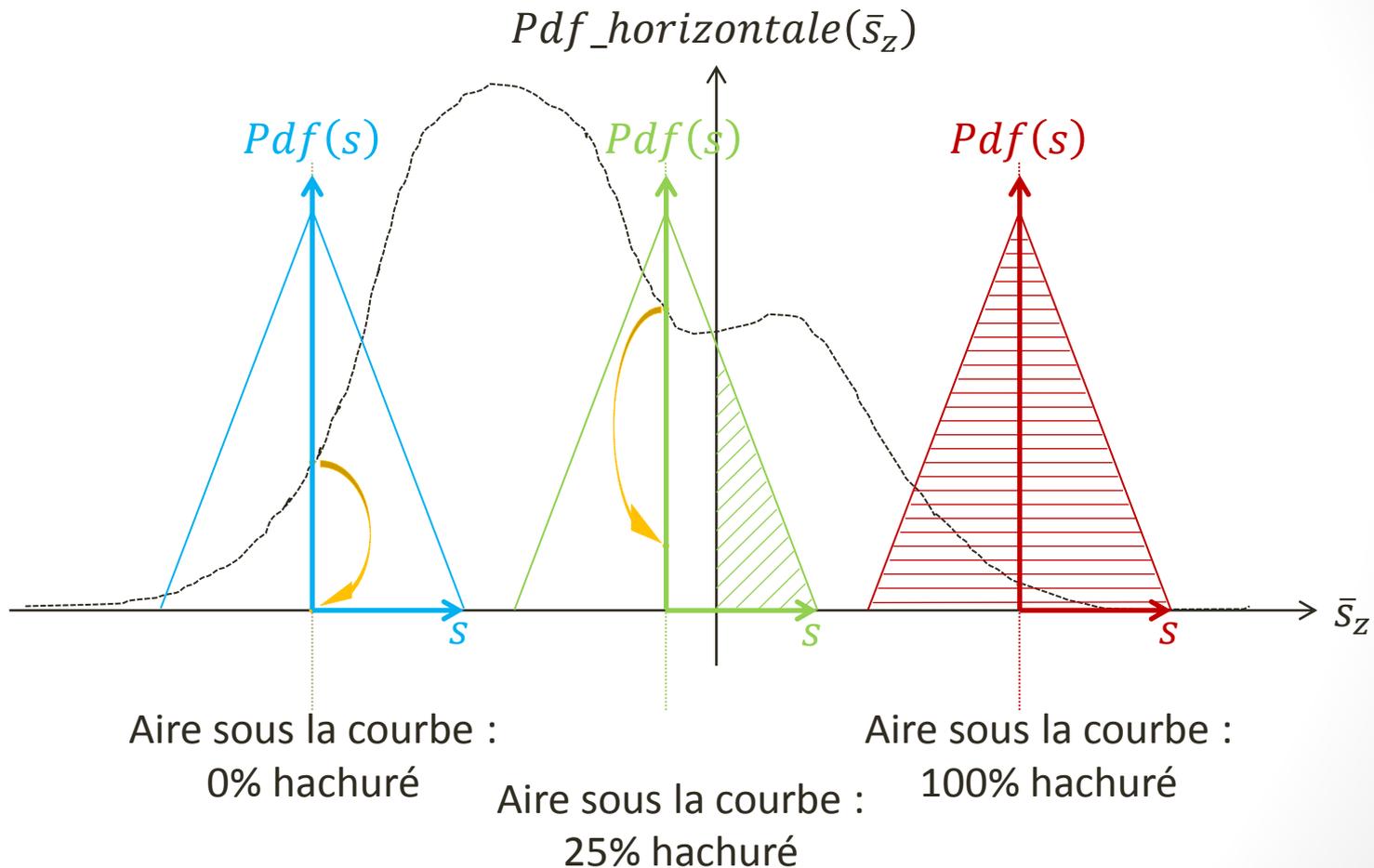
# Description du calcul



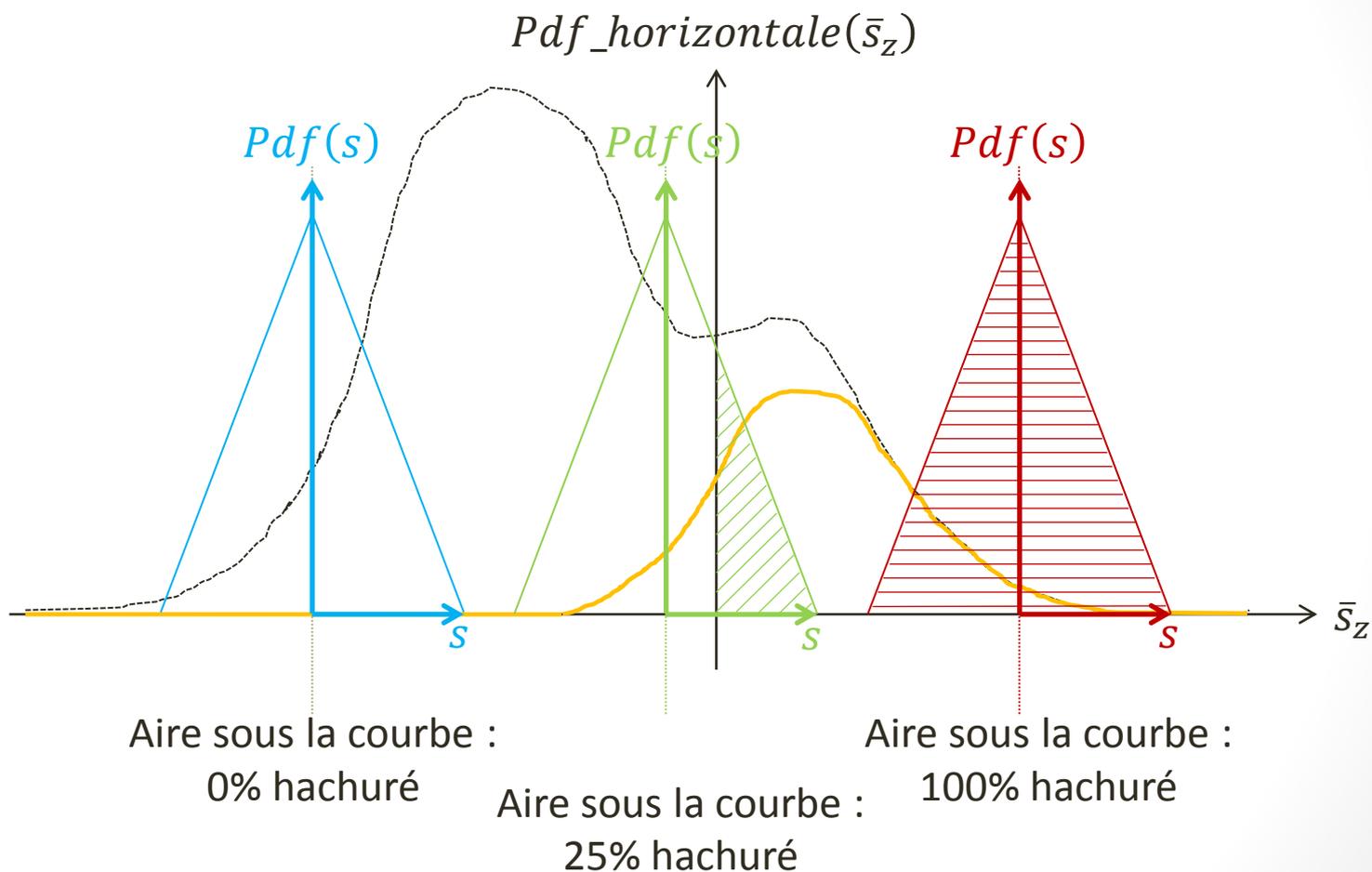
# Description du calcul



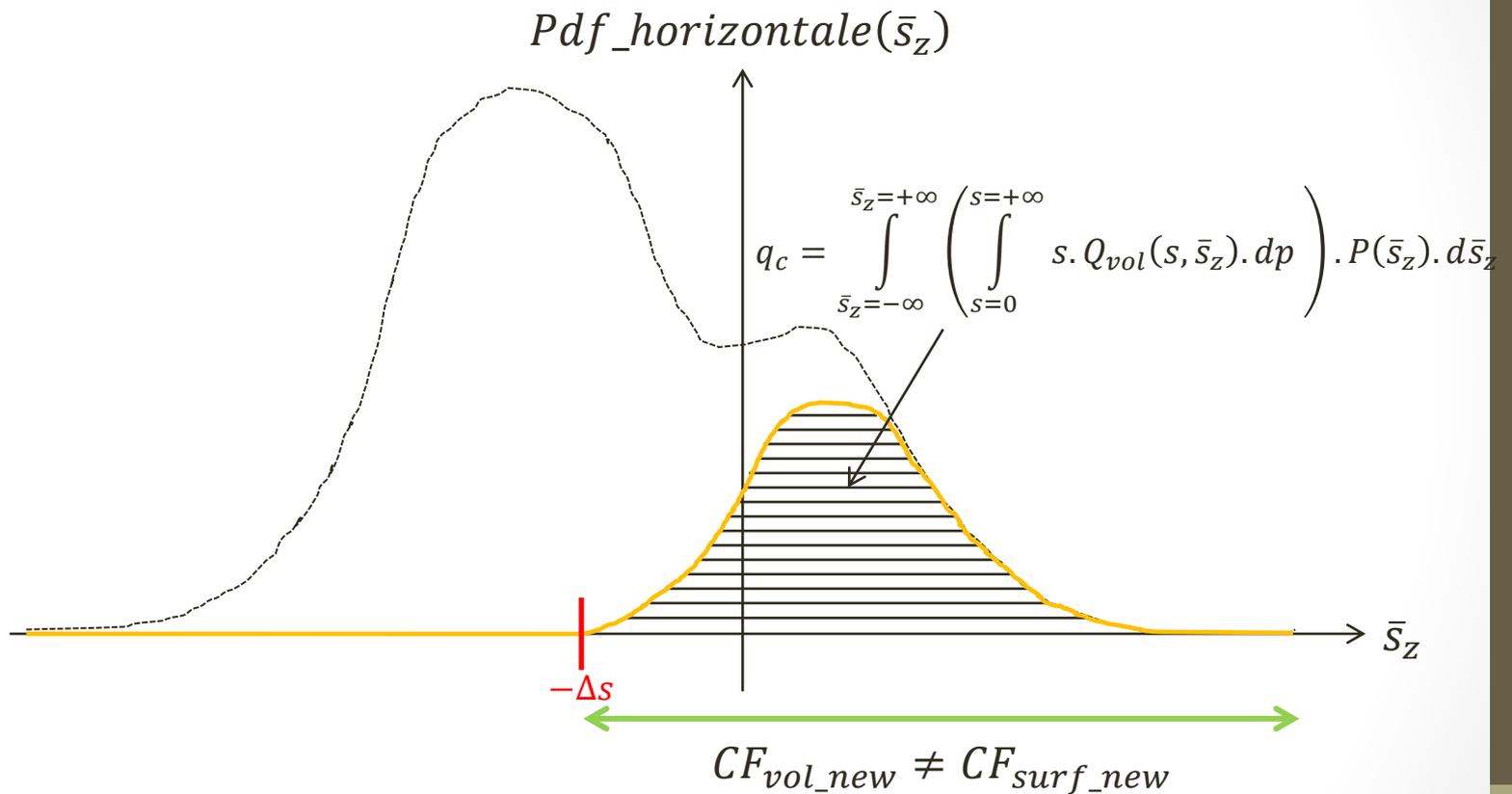
# Description du calcul



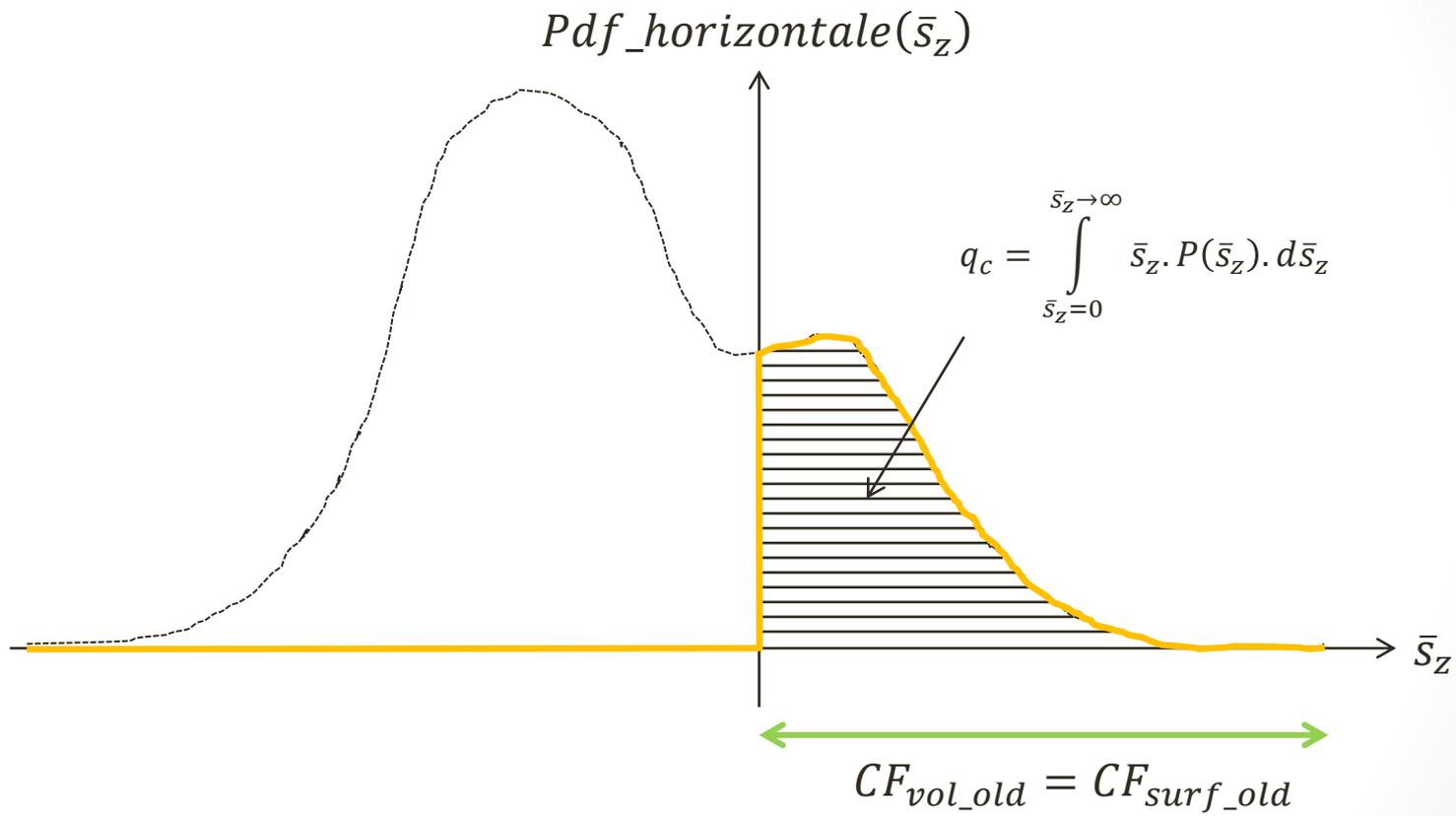
# Description du calcul



# Description du calcul



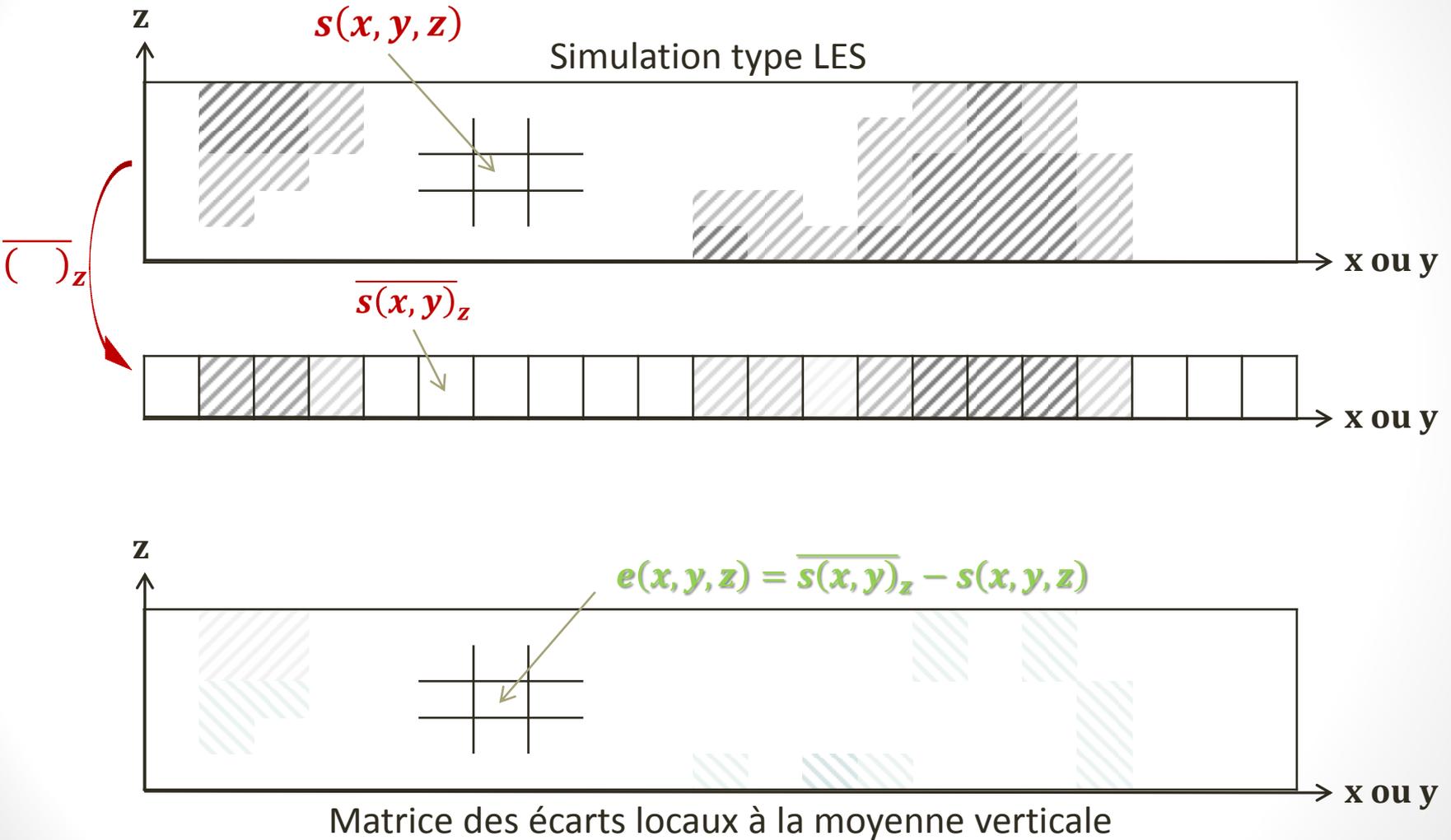
# Description du calcul



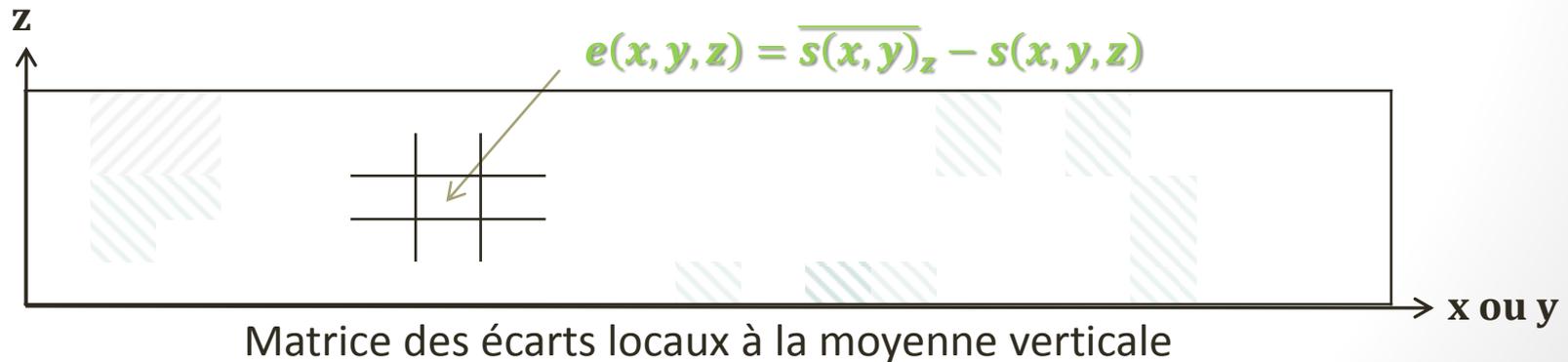
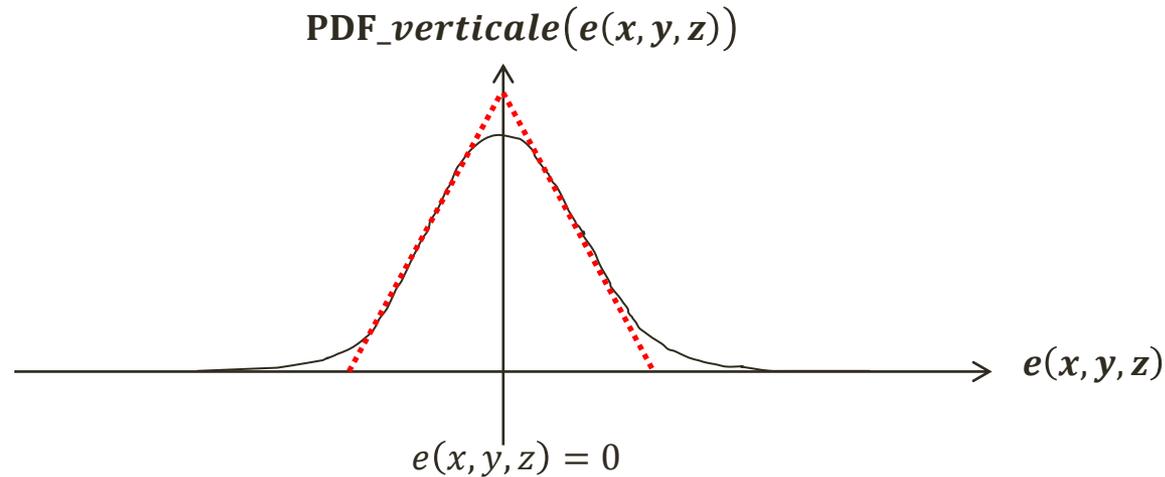
# Choix de la PDF verticale

- On a vu le fonctionnement de ce nouveau calcul, et ses impacts :
  - ✓ Mais d'où vient la forme triangulaire de la PDF verticale ?
  - ✓ Et qu'est ce donc que ce  $\Delta s$  ?

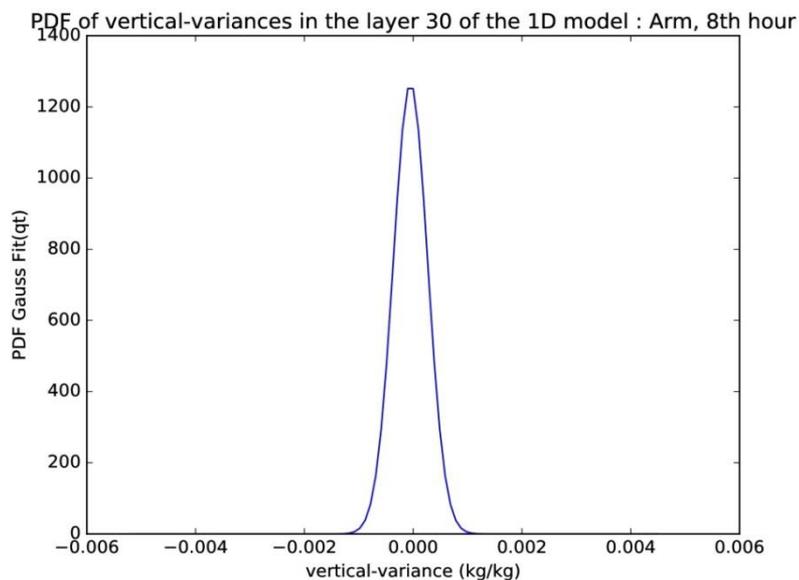
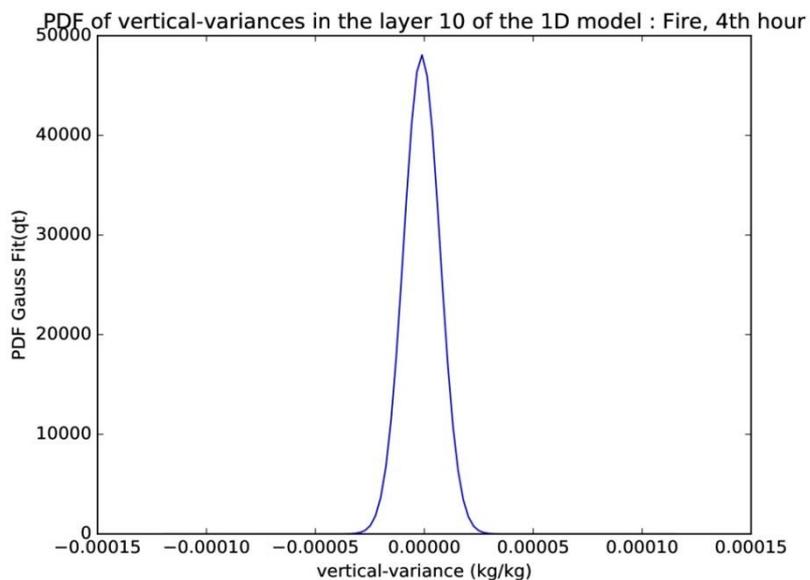
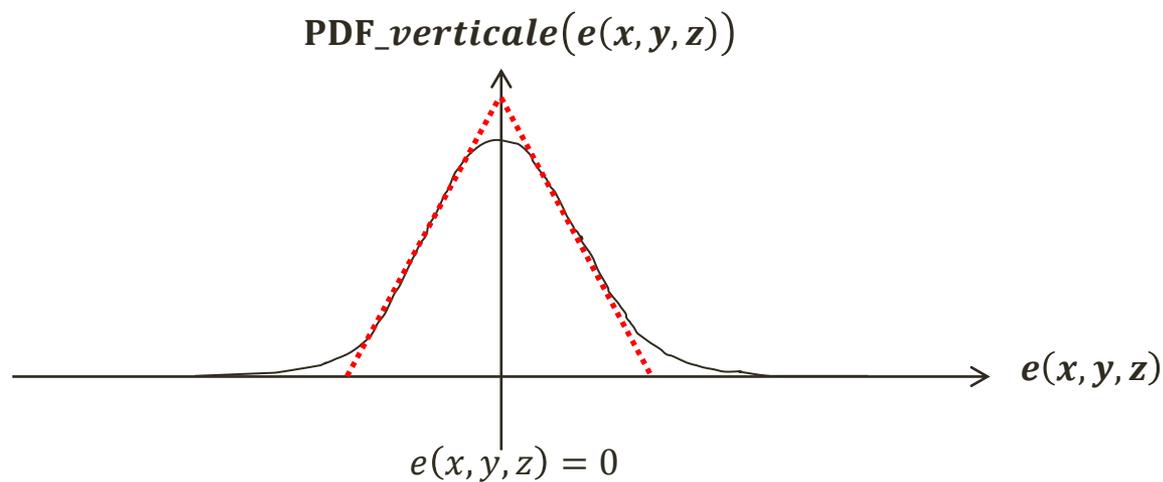
# Calcul de l'hétérogénéité verticale



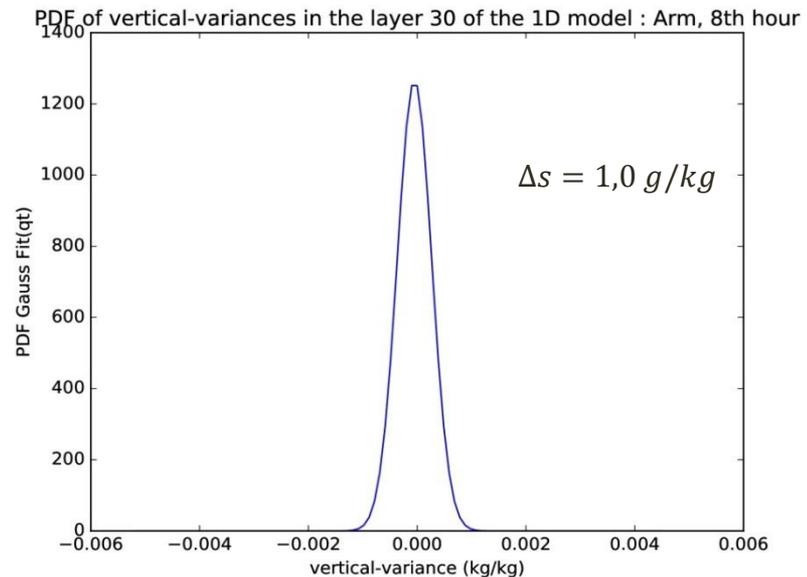
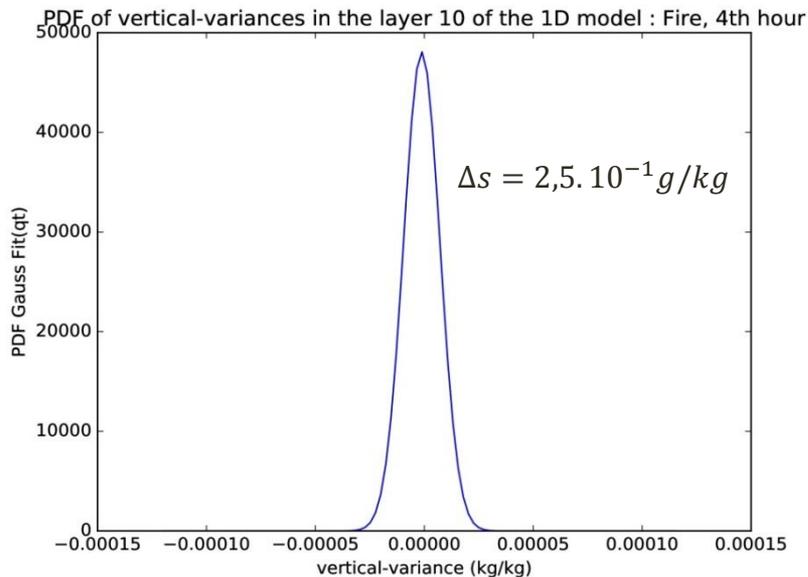
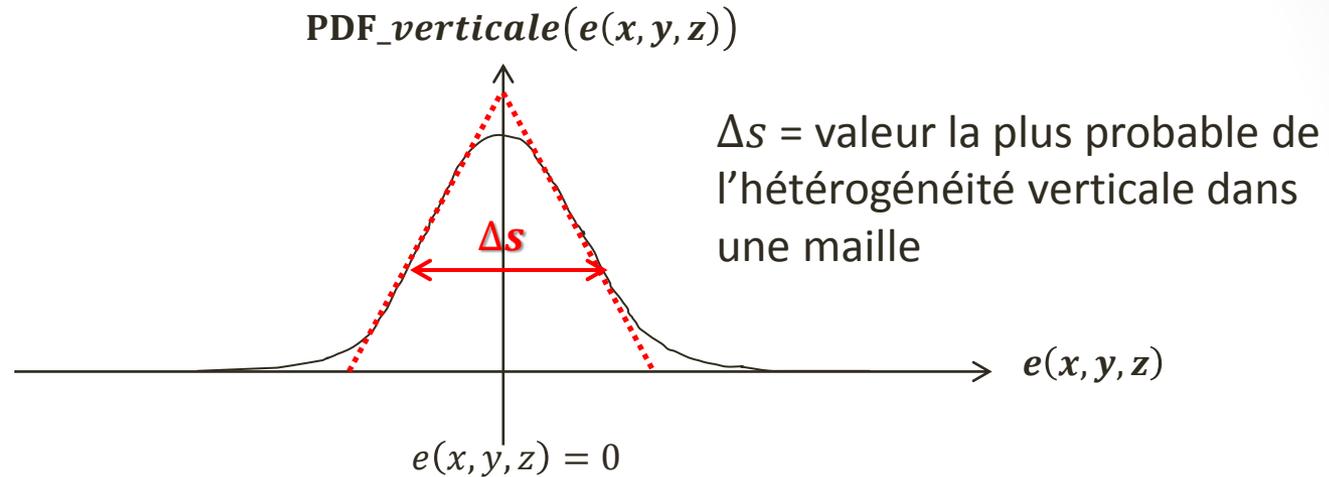
# Forme de la PDF verticale



# PDF verticale dans les LES



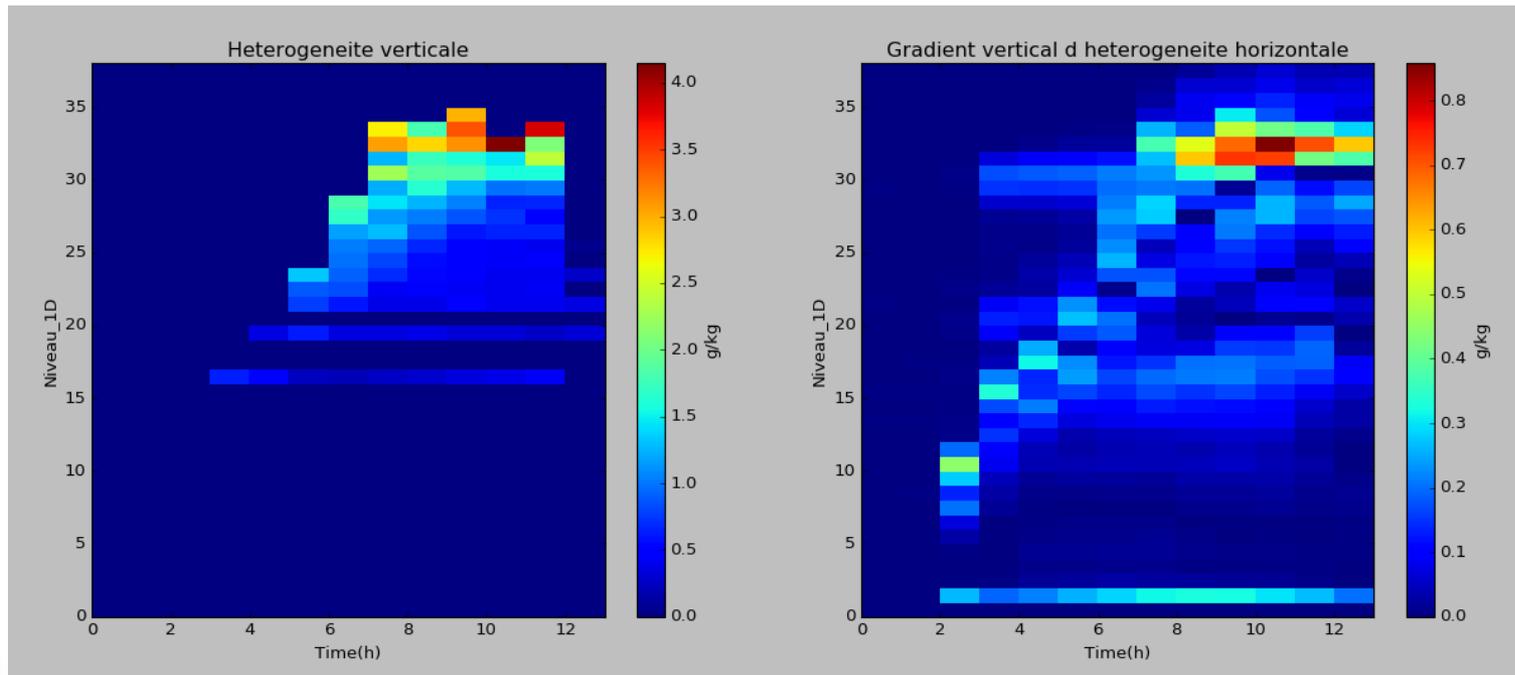
# Evaluation de $\Delta s$ grâce aux LES



# Calcul de $\Delta s$ dans le modèle

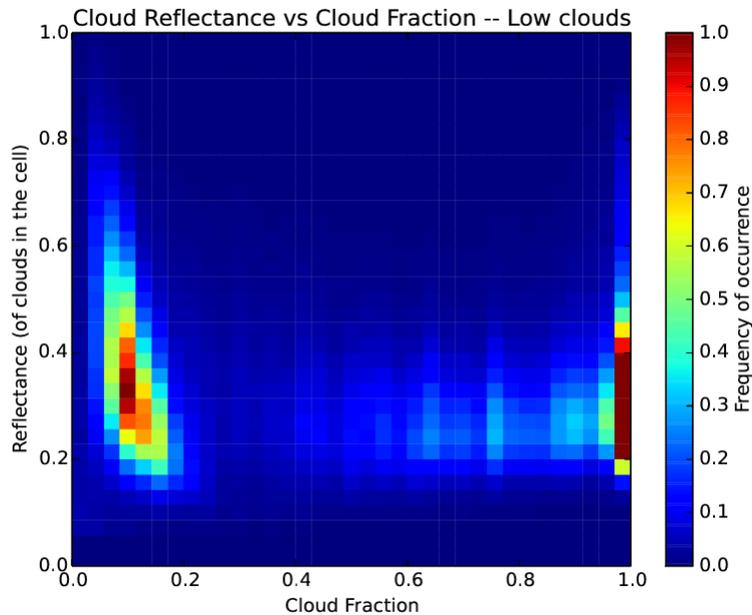
- Il faut paramétrer  $\Delta s$  dans le modèle en le liant à des variables déjà existantes. On envisage :

$$\begin{array}{ccc} \text{Ecart type de} & \longrightarrow & \Delta s \sim \frac{\partial \sigma}{\partial z} \\ \text{l'Hétérogénéité verticale} & & \leftarrow \text{Ecart type de} \\ & & \text{l'Hétérogénéité} \\ & & \text{horizontale} \end{array}$$

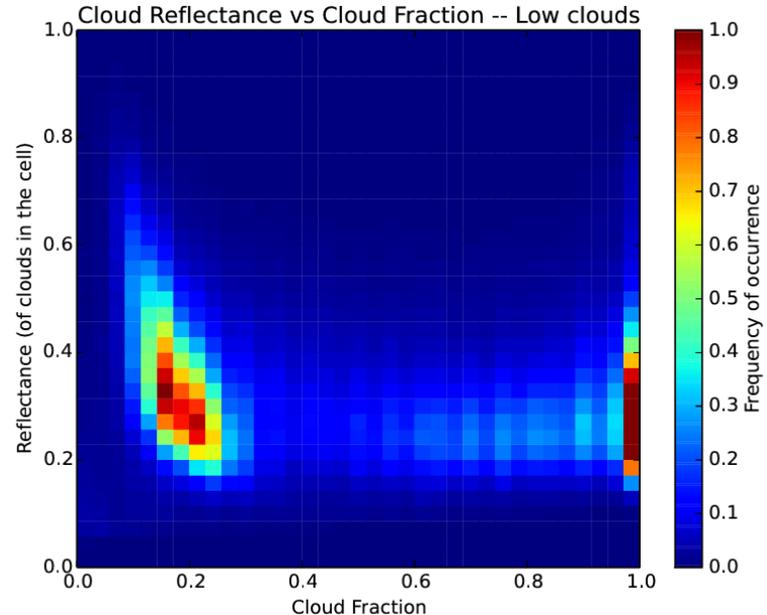


# Résultats préliminaires 3D

## Diagrammes de Réflectance vs Fraction nuageuse



LMDZ 6.0.5 – sans PDF verticale



LMDZ 6.0.5 – avec PDF verticale

# Conclusions

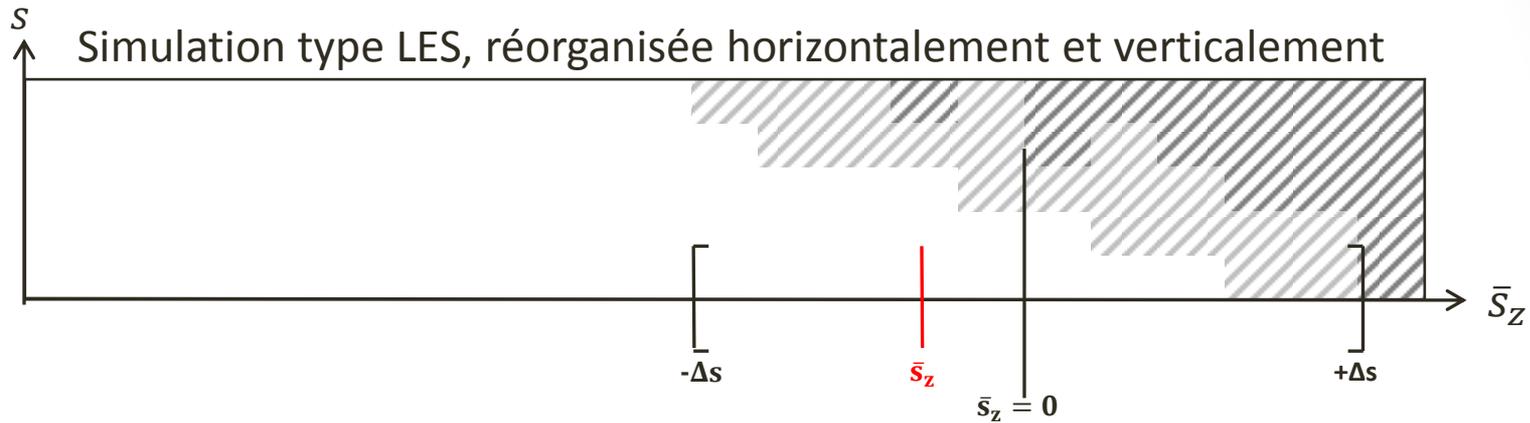
- Création de l'environnement :
  - Toute l'architecture de la PDF verticale existe...
  - ...on peut facilement tester différentes PDF...
  - ...et différents  $\Delta s$
- Avec les choix simples d'aujourd'hui :
  - Augmentation de la fraction nuageuse dans les mailles de cumulus d'alizés
  - Diminution de la réflectance des mailles de nuages bas



Merci de votre attention !

# Annexes

# Nouvelle Fraction Surfactive

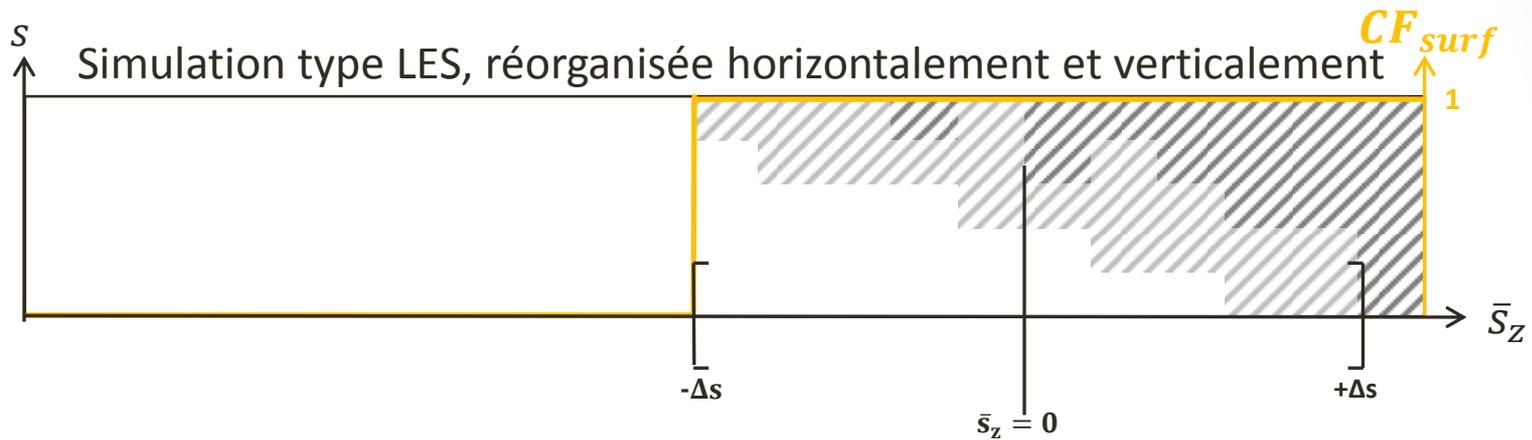


- Calcul de la fraction volumique

$$CF_{surf} = \int_{\bar{s}_z = -\infty}^{\bar{s}_z = +\infty} \left( \int_{s=0}^{s=+\infty} Q_{surf}(s, \bar{s}_z) \cdot ds \right) \cdot P(\bar{s}_z) \cdot d\bar{s}_z$$

Distribution verticale      Distribution horizontale

# Nouvelle Fraction Surfactive

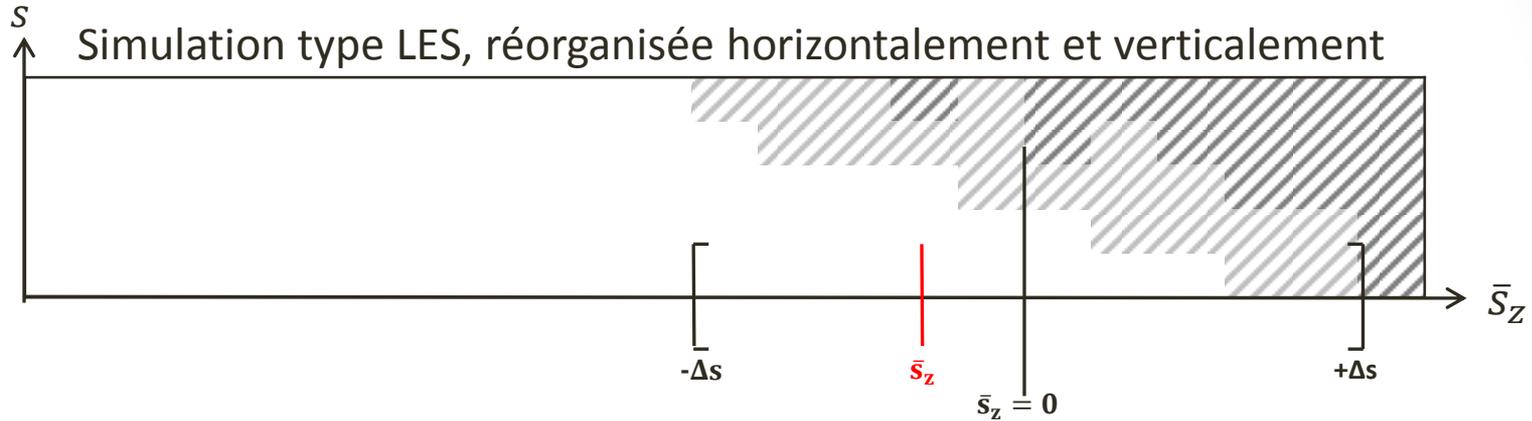


- Calcul de la fraction volumique

$$CF_{surf} = \int_{\bar{s}_z = -\infty}^{\bar{s}_z = +\infty} \left( \int_{s=0}^{s=+\infty} Q_{surf}(s, \bar{s}_z) \cdot ds \right) \cdot P(\bar{s}_z) \cdot d\bar{s}_z$$

Distribution verticale      Distribution horizontale

# Nouvelle Eau Condensée



- Calcul de l'eau condensée :

$$q_c = \int_{\bar{s}_z = -\infty}^{\bar{s}_z = +\infty} \left( \int_{s=0}^{s=+\infty} s \cdot Q_{vol}(s, \bar{s}_z) \cdot dp \right) \cdot P(\bar{s}_z) \cdot d\bar{s}_z$$

Distribution verticale      Distribution horizontale