

Analyse des effets radiatifs des nuages au dessus d'une surface réfléchissante à l'aide de méthodes de Monte Carlo Fonctionnelles

Najda Villefranque, Howard Barker, Jason Cole, Zhipeng Qu

Dans le cadre d'un post-doc EarthCare financé par l'ESA

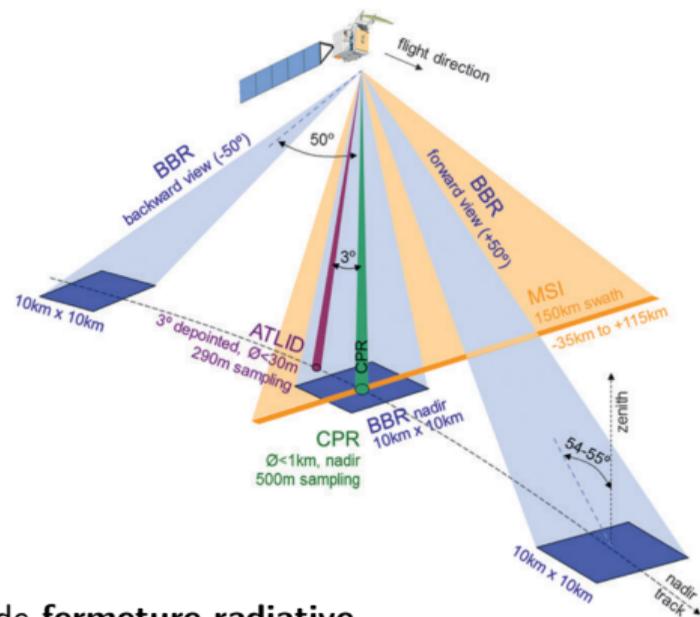


THE EARTHCARE SATELLITE

The Next Step Forward in Global Measurements of Clouds, Aerosols, Precipitation, and Radiation

BY A. J. ILLINGWORTH, H. W. BARKER, A. BELJAARS, M. CECCALDI, H. CHEPFER, N. CLERBAUX, J. COLE, J. DELANOË, C. DOMENECH, D. P. DONOVAN, S. FUKUDA, M. HIRAKATA, R. J. HOGAN, A. HUENERBEIN, P. KOLLIAS, T. KUBOTA, T. NAKAJIMA, T. Y. NAKAJIMA, T. NISHIZAWA, Y. OHNO, H. OKAMOTO, R. OKI, K. SATO, M. SATOH, M. W. SHEPHARD, A. VELÁZQUEZ-BLÁZQUEZ, U. WANDINGER, T. WEHR, AND G.-J. VAN ZADELHOFF

EarthCARE, a joint ESA–JAXA satellite to be launched in 2018, will provide global profiles of clouds, aerosols, and precipitation properties together with derived radiative fluxes and heating rates.



Postdoc Environnement Canada, équipe en charge de l'exercice de **fermeture radiative**

- (1) Estimation des profils nuages et aérosols à partir de radar / lidar / imageurs
- (2) **Simulation de transfert radiatif 3D sur cette atmosphère inversée**
- (3) **Comparaison à des mesures radiatives indépendantes colocalisées**

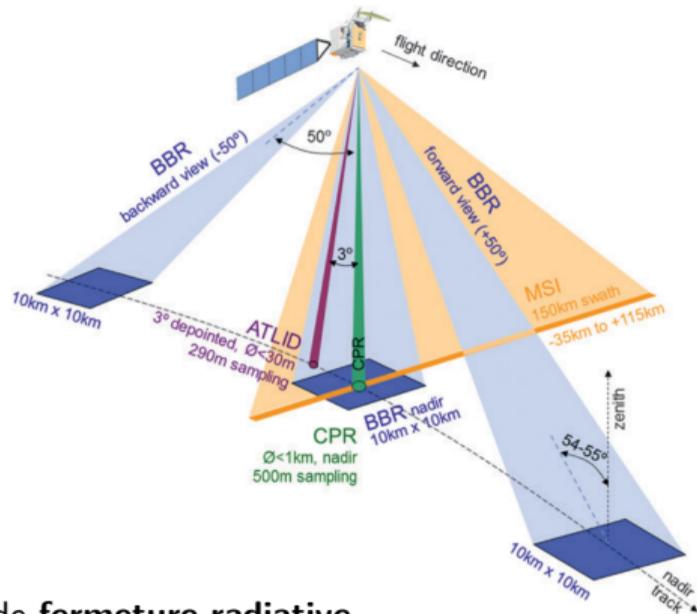
Objectif de la mission : écart $< 10 \text{ Wm}^{-2}$ en moyenne

THE EARTHCARE SATELLITE

The Next Step Forward in Global Measurements of Clouds, Aerosols, Precipitation, and Radiation

BY A. J. ILLINGWORTH, H. W. BARKER, A. BELJAARS, M. CECCALDI, H. CHEPFER, N. CLERBAUX, J. COLE, J. DELANOË, C. DOMENECH, D. P. DONOVAN, S. FUKUDA, M. HIRAKATA, R. J. HOGAN, A. HUENNERBEIN, P. KOLLIAS, T. KUBOTA, T. NAKAJIMA, T.Y. NAKAJIMA, T. NISHIZAWA, Y. OHNO, H. OKAMOTO, R. OKI, K. SATO, M. SATOH, M.W. SHEPHARD, A. VELÁZQUEZ-BLÁZQUEZ, U. WANDINGER, T. WEHR, AND G.-J. VAN ZADELHOFF

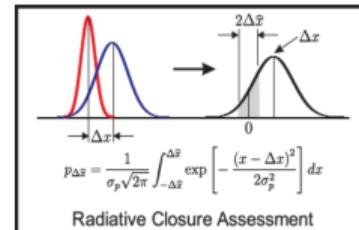
EarthCARE, a joint ESA–JAXA satellite to be launched in 2018, will provide global profiles of clouds, aerosols, and precipitation properties together with derived radiative fluxes and heating rates.



Postdoc Environnement Canada, équipe en charge de l'exercice de **fermeture radiative**

- (1) Estimation des profils nuages et aérosols à partir de radar / lidar / imageurs
- (2) **Simulation de transfert radiatif 3D sur cette atmosphère inversée** σ_m
- (3) **Comparaison à des mesures radiatives indépendantes colocalisées** σ_o

Objectif de la mission : écart $< 10 \text{ Wm}^{-2}$ en moyenne

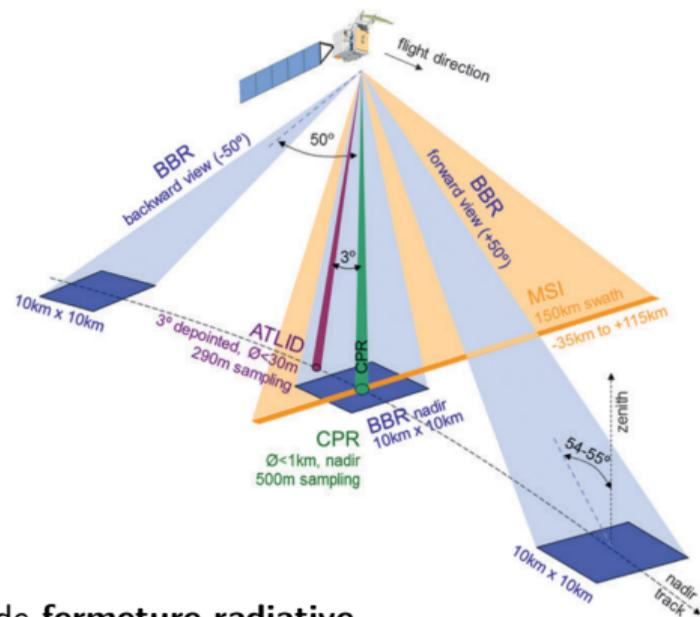


THE EARTHCARE SATELLITE

The Next Step Forward in Global Measurements of Clouds, Aerosols, Precipitation, and Radiation

BY A. J. ILLINGWORTH, H. W. BARKER, A. BELJAARS, M. CECCALDI, H. CHEPFER, N. CLERBAUX, J. COLE, J. DELANOË, C. DOMENECH, D. P. DONOVAN, S. FUKUDA, M. HIRAKATA, R. J. HOGAN, A. HUENNERBEIN, P. KOLLIAS, T. KUBOTA, T. NAKAJIMA, T. Y. NAKAJIMA, T. NISHIZAWA, Y. OHNO, H. OKAMOTO, R. OKI, K. SATO, M. SATOH, M. W. SHEPHARD, A. VELÁZQUEZ-BLÁZQUEZ, U. WANDINGER, T. WEHR, AND G.-J. VAN ZADELHOFF

EarthCARE, a joint ESA–JAXA satellite to be launched in 2018, will provide global profiles of clouds, aerosols, and precipitation properties together with derived radiative fluxes and heating rates.

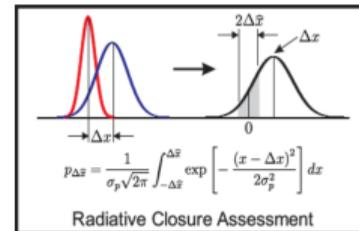


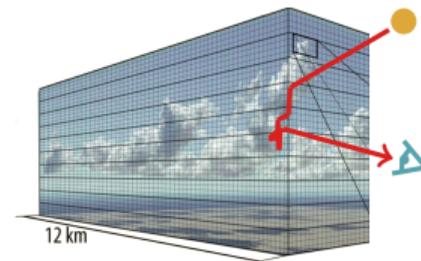
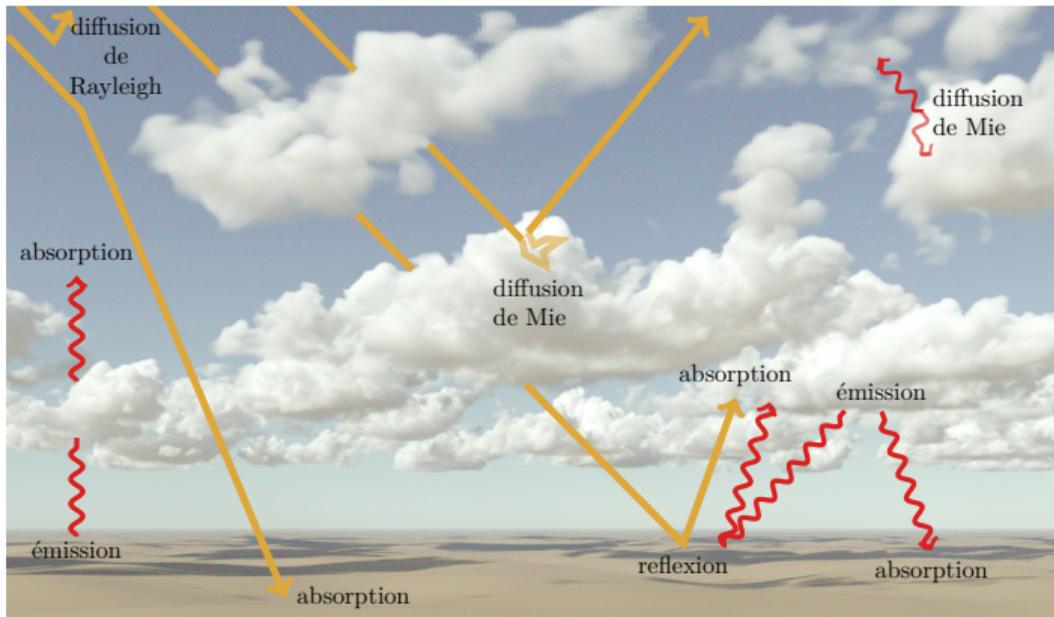
Postdoc Environnement Canada, équipe en charge de l'exercice de **fermeture radiative**

- (1) Estimation des profils nuages et aérosols à partir de radar / lidar / imageurs
- (2) **Simulation de transfert radiatif 3D sur cette atmosphère inversée** σ_m
- (3) **Comparaison à des mesures radiatives indépendantes colocalisées** σ_o

Objectif de la mission : écart $< 10 \text{ Wm}^{-2}$ en moyenne

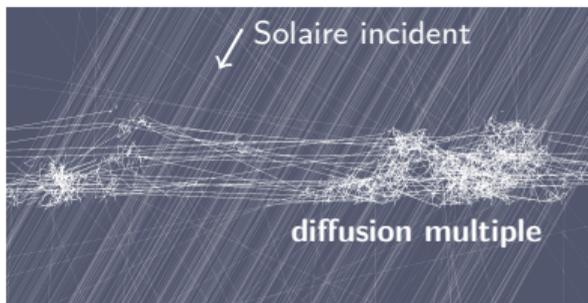
Et sinon ?



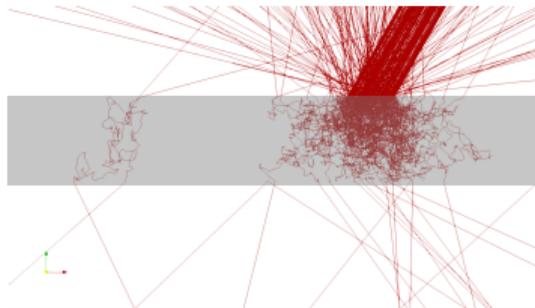


π , paramètres, données d'entrée
 F_π , observable (flux, luminance...)
 Γ, γ , chemin (variable aléatoire, réalisation)
 $p_\Gamma(\gamma; \pi)$, fonction densité de proba des chemins
 $w_\gamma(\pi)$, poids du chemin

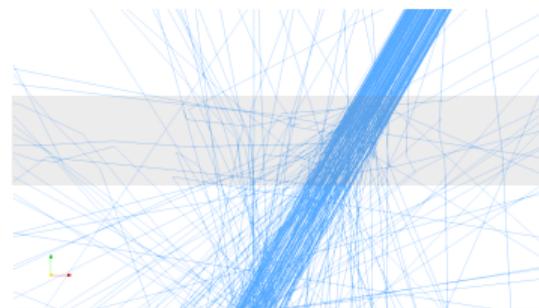
$$F_\pi = \int_{\Omega_\Gamma} d\gamma p_\Gamma(\gamma; \pi) w_\gamma(\pi) \approx \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N w_{\gamma_i}(\pi)$$



Chemins échantillonnés dans un champ de cumulus



Dans un slab épais



Dans un slab fin

π , paramètres, données d'entrée

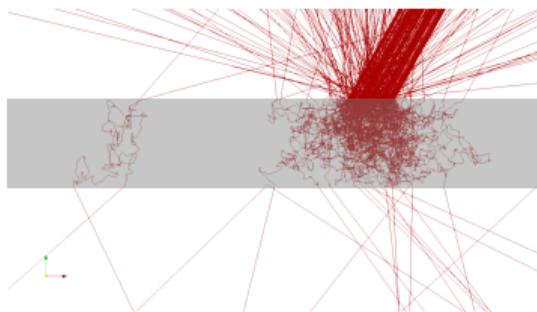
F_π , observable (flux, luminance...)

Γ, γ , chemin (variable aléatoire, réalisation)

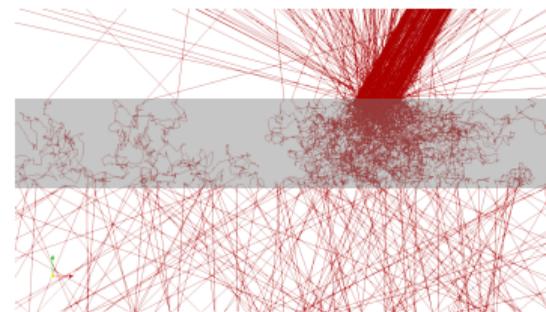
$p_\Gamma(\gamma; \pi)$, fonction densité de proba des chemins

$w_\gamma(\pi)$, poids du chemin

$$F_\pi = \int_{\Omega_\Gamma} d\gamma p_\Gamma(\gamma; \pi) w_\gamma(\pi)$$



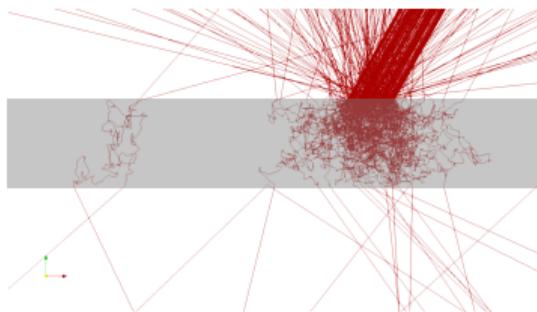
Dans un slab épais, albedo de surface = 0.3



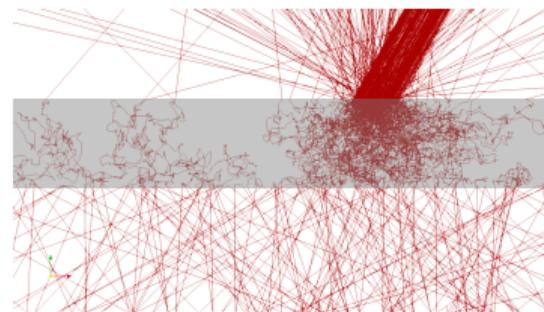
Dans un slab épais, albedo de surface = 1.0

π , paramètres, données d'entrée
 F_π , observable (flux, luminance...)
 Γ, γ , chemin (variable aléatoire, réalisation)
 $p_\Gamma(\gamma; \pi)$, fonction densité de proba des chemins
 $w_\gamma(\pi)$, poids du chemin

$$F_\pi = \int_{\Omega_\Gamma} d\gamma p_\Gamma(\gamma; \pi) w_\gamma(\pi)$$



Dans un slab épais, albedo de surface = 0.3



Dans un slab épais, albedo de surface = 1.0

Idée clé du Monte Carlo "fonctionnel" : les chemins échantillonnés avec une valeur de paramètre *existent toujours* quand on change sa valeur ; leur probabilité et/ou leur poids change.

- Implication : les chemins échantillonnés pendant une simulation peuvent être réutilisés à posteriori pour estimer l'observable pour toute autre valeur du paramètre.
- En pratique : en amont, travail formel pour isoler la dépendance au paramètre ; pendant la simulation, stockage d'informations ; après la simulation, post-traitement en fonction du paramètre.

$$F(\pi) = \int_{\Omega_\Gamma} d\gamma \underbrace{p_\Gamma(\gamma; \hat{\pi})}_{\text{pdf arbitraire}} \underbrace{w_\gamma(\hat{\pi})}_{\text{poids associé}} \underbrace{\frac{p_\Gamma(\gamma; \pi)}{p_\Gamma(\gamma; \hat{\pi})}}_{\text{facteur correctif}} \approx \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N w_{\gamma_i}(\hat{\pi}) \frac{p_\Gamma(\gamma_i; \pi)}{p_\Gamma(\gamma_i; \hat{\pi})}$$

C'est vraiment aussi simple que ça !

Idée clé du Monte Carlo "fonctionnel" : les chemins échantillonnés avec une valeur de paramètre *existent toujours* quand on change sa valeur ; leur probabilité et/ou leur poids change.

- Implication : les chemins échantillonnés pendant une simulation peuvent être réutilisés à posteriori pour estimer l'observable pour toute autre valeur du paramètre.
- En pratique : en amont, travail formel pour isoler la dépendance au paramètre ; pendant la simulation, stockage d'informations ; après la simulation, post-traitement en fonction du paramètre.

$$F(\pi) = \int_{\Omega_{\Gamma}} d\gamma \underbrace{p_{\Gamma}(\gamma; \hat{\pi})}_{\text{pdf arbitraire}} \underbrace{w_{\gamma}(\hat{\pi})}_{\text{poids associé}} \underbrace{\frac{p_{\Gamma}(\gamma; \pi)}{p_{\Gamma}(\gamma; \hat{\pi})}}_{\text{facteur correctif}} \approx \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N w_{\gamma_i}(\hat{\pi}) \frac{p_{\Gamma}(\gamma_i; \pi)}{p_{\Gamma}(\gamma_i; \hat{\pi})}$$

C'est vraiment aussi simple que ça !

Les questions de recherche côté méthode :

- on ne sait pas toujours **isoler la dépendance au paramètre**
- l'**incertitude** explose quand la géométrie des chemins dépend beaucoup du paramètre
- la **quantité de données** à stocker pendant la simulation peut être énorme
- le **post-traitement** (correction des poids) peut devenir impraticable

⇒ collectif EDStar fortement engagé sur ces questions, et côté atmo un projet PNTS avec LOA et CETHIL

Idée clé du Monte Carlo "fonctionnel" : les chemins échantillonnés avec une valeur de paramètre *existent toujours* quand on change sa valeur ; leur probabilité et/ou leur poids change.

- Implication : les chemins échantillonnés pendant une simulation peuvent être réutilisés à posteriori pour estimer l'observable pour toute autre valeur du paramètre.
- En pratique : en amont, travail formel pour isoler la dépendance au paramètre ; pendant la simulation, stockage d'informations ; après la simulation, post-traitement en fonction du paramètre.

$$F(\pi) = \int_{\Omega_{\Gamma}} d\gamma \underbrace{p_{\Gamma}(\gamma; \hat{\pi})}_{\text{pdf arbitraire}} \underbrace{w_{\gamma}(\hat{\pi})}_{\text{poids associé}} \underbrace{\frac{p_{\Gamma}(\gamma; \pi)}{p_{\Gamma}(\gamma; \hat{\pi})}}_{\text{facteur correctif}} \approx \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N w_{\gamma_i}(\hat{\pi}) \frac{p_{\Gamma}(\gamma_i; \pi)}{p_{\Gamma}(\gamma_i; \hat{\pi})}$$

C'est vraiment aussi simple que ça !

Les questions de recherche côté méthode :

- on ne sait pas toujours **isoler la dépendance au paramètre**
- l'**incertitude** explose quand la géométrie des chemins dépend beaucoup du paramètre
- la **quantité de données** à stocker pendant la simulation peut être énorme
- le **post-traitement** (correction des poids) peut devenir impraticable

⇒ collectif EDStar fortement engagé sur ces questions, et côté atmo un projet PNTS avec LOA et CETHIL

Il y a déjà des cas où ça se passe très bien !

C'est vraiment aussi simple que ça !

Les questions de recherche côté méthode :

- on ne sait pas toujours **isoler la dépendance au paramètre**
- l'**incertitude** explose quand la géométrie des chemins dépend beaucoup du paramètre
- la **quantité de données** à stocker pendant la simulation peut être énorme
- le **post-traitement** (correction des poids) peut devenir impraticable

⇒ collectif EDStar fortement engagé sur ces questions, et côté atmo un projet PNTS avec LOA et CETHIL

Il y a déjà des cas où ça se passe très bien !

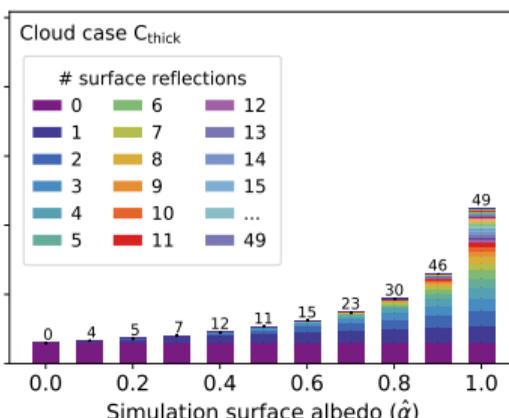
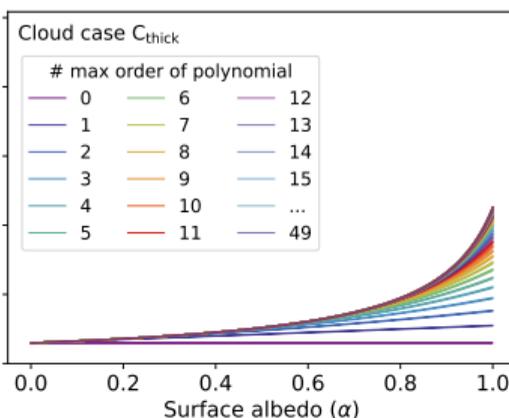
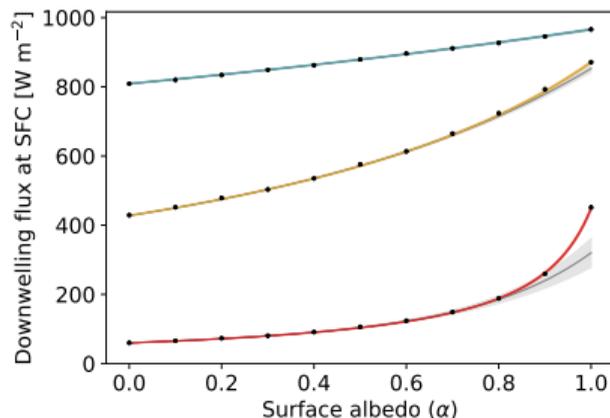
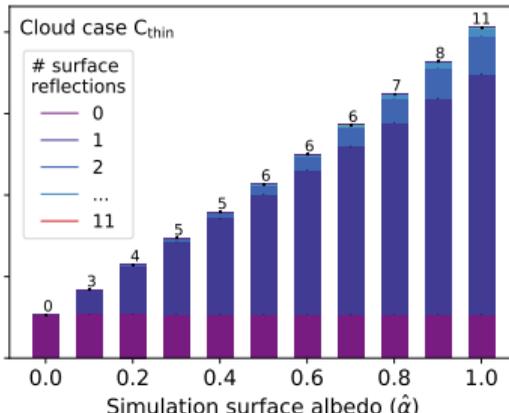
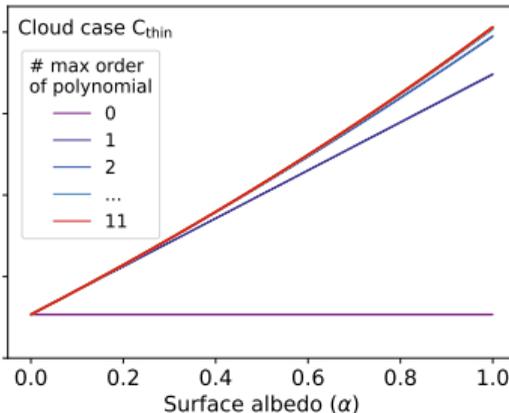
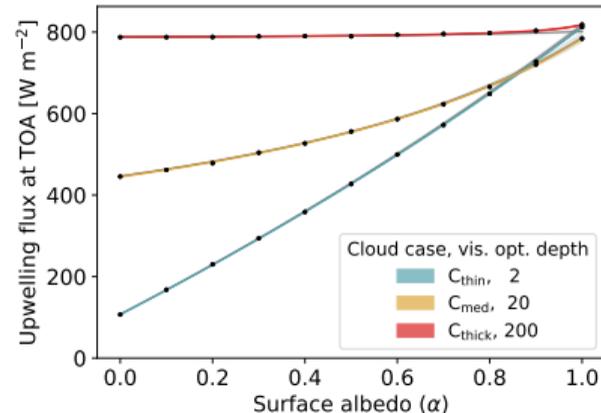
Exemple : dépendance du flux à l'albedo de la surface α sous une atmosphère quelconque

- α apparaît directement dans l'Equation de Transfert Radiatif ⇒ facile à isoler
- pour $\alpha = 1$, les chemins échantillonnés "contiennent" les chemins associés aux albedos plus faibles
- on peut compresser la donnée en regroupant les chemins ayant vécu le même nombre de réflexions en surface
- le post-traitement consiste en l'évaluation d'une fonction polynomiale de degré K

$$\bar{F}(\alpha) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N w_{\gamma_i}(\hat{\alpha}) \left(\frac{\alpha}{\hat{\alpha}} \right)^{k(i)} = \sum_{k=0}^K \frac{1}{N_k} \sum_{i=1}^{N_k} w_{\gamma_i}(\hat{\alpha}) \left(\frac{\alpha}{\hat{\alpha}} \right)^k = \sum_{k=0}^K \bar{F}_k(\hat{\alpha}) \left(\frac{\alpha}{\hat{\alpha}} \right)^k$$

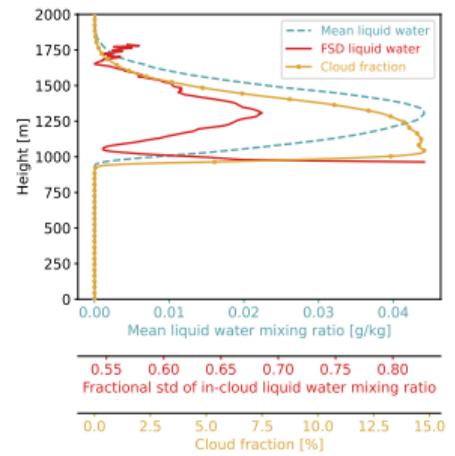
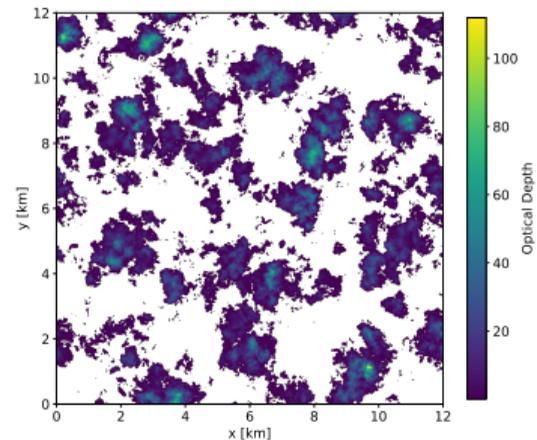
Simulations MC fonctionnelles sur des slabs \pm épais

$$\bar{F}(\alpha) = \sum_{k=0}^K \bar{F}_k(\hat{\alpha}) \left(\frac{\alpha}{\hat{\alpha}}\right)^k$$



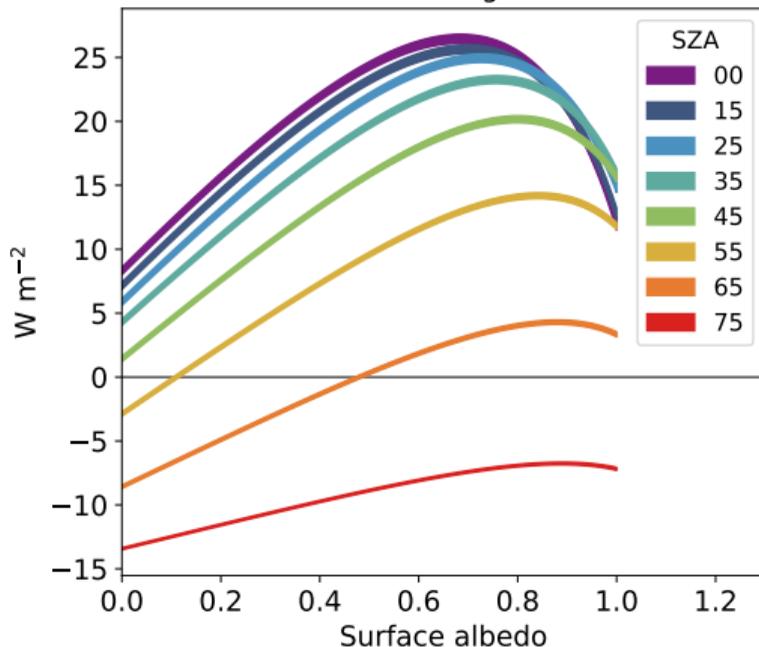
Simulations MC fonctionnelles sur un champ de cumulus

$$\bar{F}(\alpha) = \sum_{k=0}^K \bar{F}_k(\hat{\alpha}) \left(\frac{\alpha}{\hat{\alpha}}\right)^k$$



Pour chaque angle solaire (SZA), une simul 3D et une simul 1D (pas de transport horizontal), **effets 3D = 3D-1D**

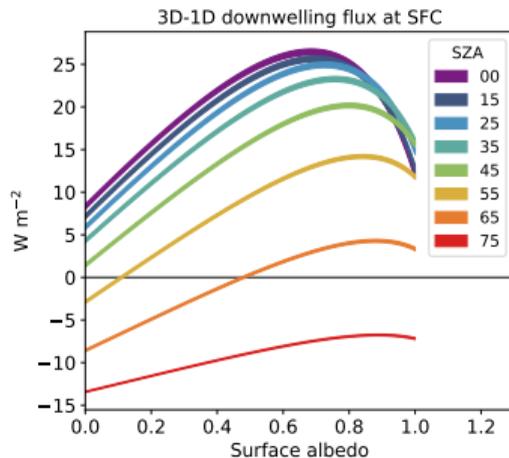
3D-1D downwelling flux at SFC



Soleil haut et moyen : effets 3D augmentent le flux en surface

Soleil bas : effets 3D diminuent le flux en surface (+ d'ombres)

$$\bar{F}(\alpha) = \sum_{k=0}^K \bar{F}_k(\hat{\alpha}) \left(\frac{\alpha}{\hat{\alpha}}\right)^k$$

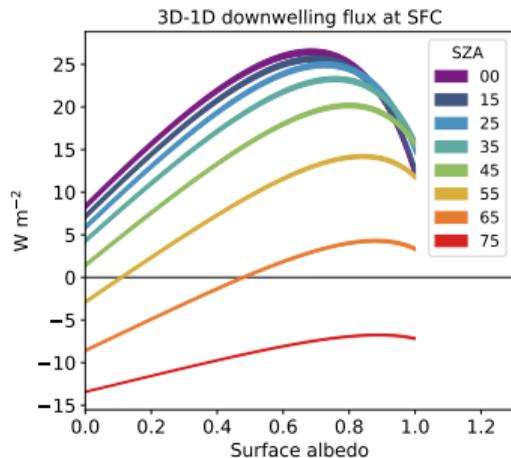


Les effets 3D augmentent puis diminuent avec l'albedo

Soleil haut et moyen :
effets 3D augmentent le
flux en surface

Soleil bas : effets 3D
diminuent le flux en
surface (+ d'ombres)

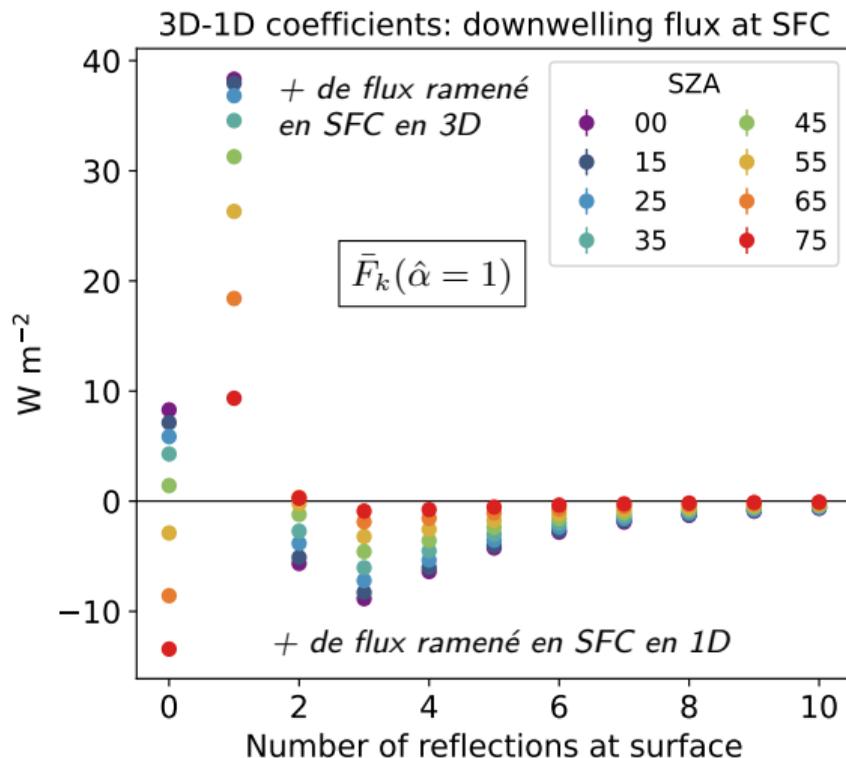
$$\bar{F}(\alpha) = \sum_{k=0}^K \bar{F}_k(\hat{\alpha}) \left(\frac{\alpha}{\hat{\alpha}}\right)^k$$



Soleil haut et moyen :
effets 3D augmentent le
flux en surface

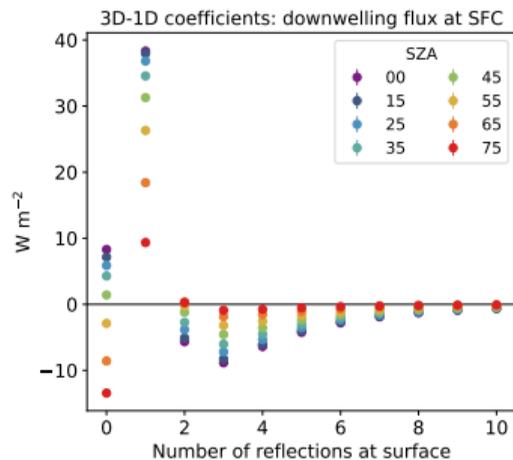
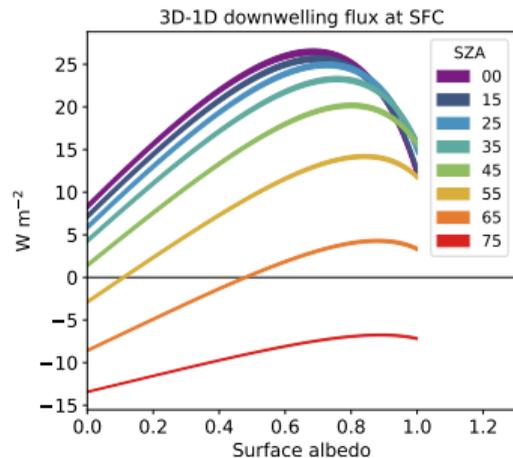
Soleil bas : effets 3D
diminuent le flux en
surface (+ d'ombres)

Les effets 3D augmentent puis diminuent avec l'albedo



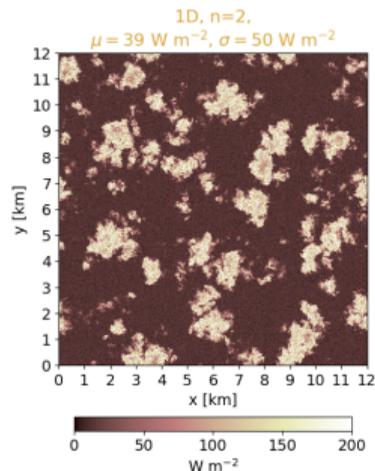
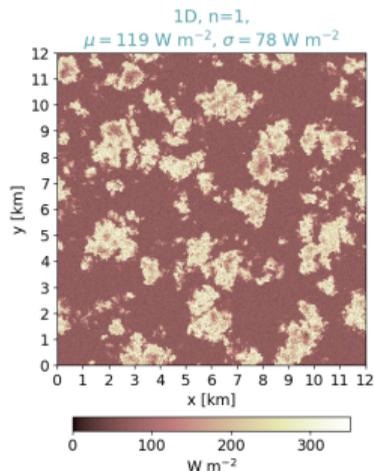
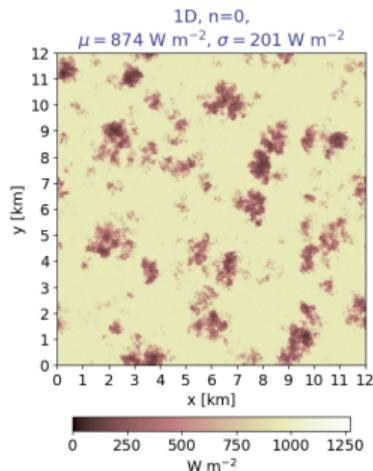
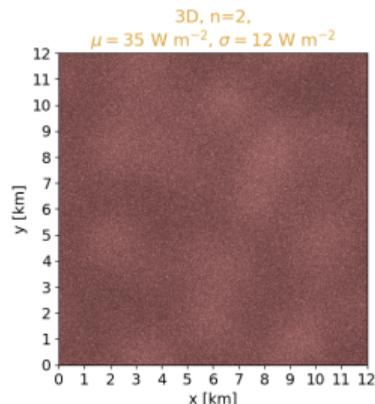
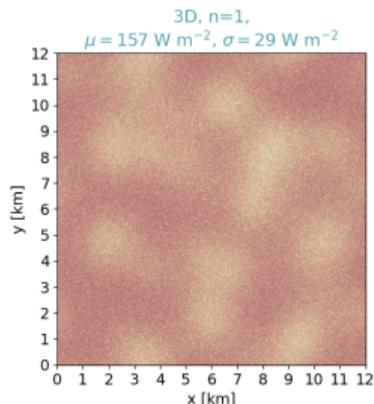
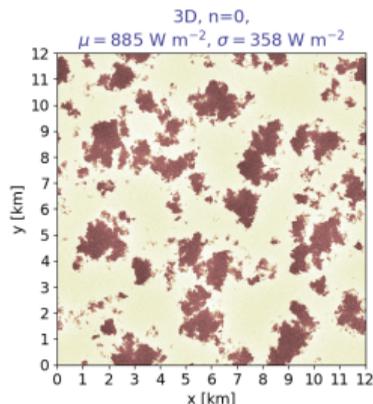
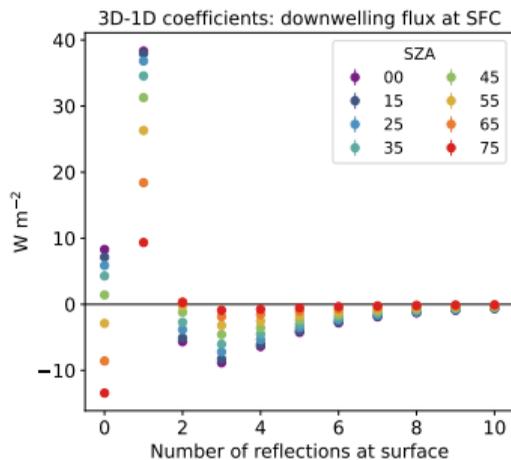
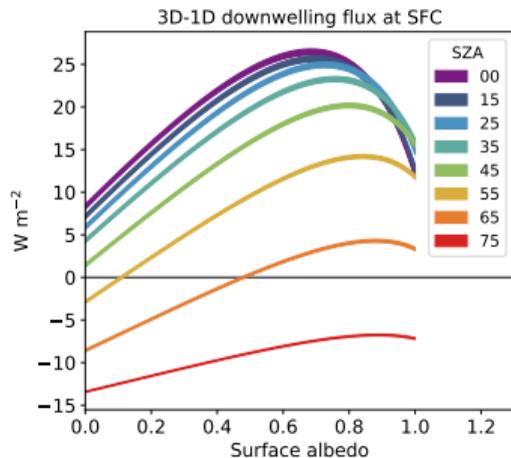
Simulations MC fonctionnelles sur un champ de cumulus

$$\bar{F}(\alpha) = \sum_{k=0}^K \bar{F}_k(\hat{\alpha}) \left(\frac{\alpha}{\hat{\alpha}}\right)^k$$



Simulations MC fonctionnelles sur un champ de cumulus

$$\bar{F}(\alpha) = \sum_{k=0}^K \bar{F}_k(\hat{\alpha}) \left(\frac{\alpha}{\hat{\alpha}}\right)^k$$



Conclusions

- Monte Carlo “fonctionnel” pour explorer efficacement les processus en extrayant + d'infos des chemins simulés
- Pour l'analyse, la propagation d'incertitudes, l'inversion...
- Effets radiatifs 3D augmentent puis diminuent avec l'albedo de surface
- Les effets 3D lissent le champ radiatif en une à deux réflexions
- Ces effets 3D ne sont pas pris en compte dans les modèles atmo (ni sous maille dans les GCMs, ni inter-colonnes dans les LES)
- Explorer les méthodes Monte Carlo pour améliorer les modèles radiatifs atmosphériques

Merci !