
COMPARAISON DES STATISTIQUES NUAGEUSES ENTRE LES INSTRUMENTS D'OBSERVATION SATELLITE ACTIFS ET PASSIFS

3.1 Comparaison des climatologies des nuages par observations actives lidar et passives radiométriques

Après avoir effectué les comparaisons entre les instruments actifs LITE et GLAS, et tenté ainsi de construire une description générique de la statistique nuageuse obtenue à partir d'un lidar spatial, nous pouvons alors chercher à comprendre, comment ces résultats peuvent se comparer avec ceux obtenus à partir des instruments de détections passifs.

Les statistiques précédemment établies peuvent donc être comparées, avec les données passives ISCCP, contemporaines de LITE, prises à deux résolutions différentes : les données ISCCP-D1 offrant une couverture globale (Résolution spatiale : $280 \times 280 \text{ km}^2$), et les données ISCCP-DX qui, bien que réduites en couverture (cf Fig. 2.4.10), sont caractérisées par une plus grande résolution spatiale (soit $30 \times 30 \text{ km}$). Du fait que les données ISCCP soient fournies sous la forme de slots séparés de 6 heures, il existe un décalage temporel entre les mesures de LITE et celles de ISCCP, qui peuvent entraîner, sous l'action de vents de forte intensité, des erreurs sur la localisation d'une structure nuageuse. La présence d'un tel décalage temporel doit donc être pris en compte. On

effectue donc la relocalisation des données LITE au sein des données ISCCP en utilisant les prévisions à moyen terme des champs de vent, fournies par le centre européen.

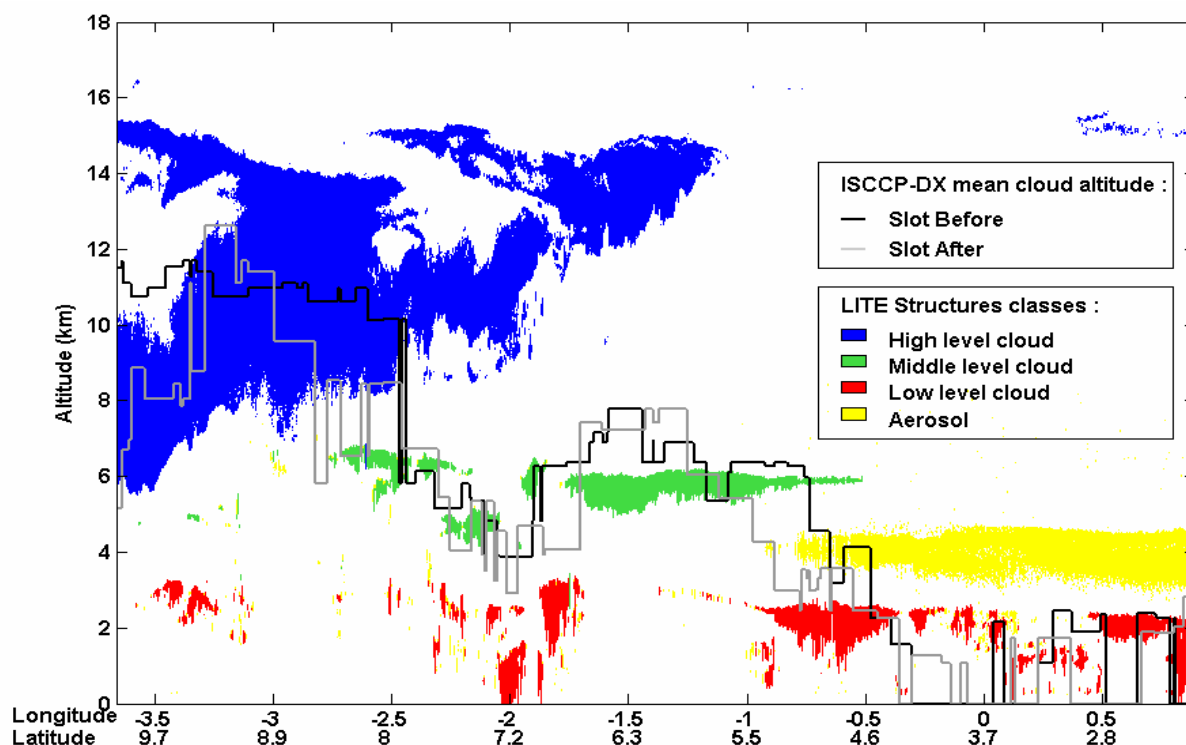


Figure 3.1.1 : Données ISCCP-DX présentées sur la même période que celle des données LITE montrées dans les figures 2.4.6 et 2.4.7. Les données ISCCP sont fournies pour chacun des slots ISCCP encadrant la mesure LITE.

Les données ISCCP (voir la **Figure 3.1.1**) montrent une assez bonne corrélation avec celles de LITE. En revanche, la détermination de l'altitude des différents niveaux nuageux semble assez approximative. On rappelle en effet que l'altitude des structures nuageuses donnée par ISCCP est une estimation de l'altitude de la structure monocouche radiativement équivalente à l'ensemble des structures nuageuses présentes sur la colonne atmosphérique. L'exemple flagrant en est le cas des structures nuageuses de hautes altitudes présentées en couleur bleue sur la **Figure 3.1.1**. LITE estime l'altitude du sommet de ces structures comme étant comprise entre 13 et 16 km. Pour sa part, ISCCP retrouve pour cette même structure nuageuse une altitude moyenne d'environ 11 km.

Cette première différence constatée dans la détermination de l'altitude d'une même structure nuageuse au sein des bases de données LITE et ISCCP, aura par conséquent une répercussion forte

sur les comparaisons des statistiques nuageuses. Comparativement à LITE, ISCCP aura tendance dans les cas de structures multicouches, à sous estimer l'altitude des nuages.

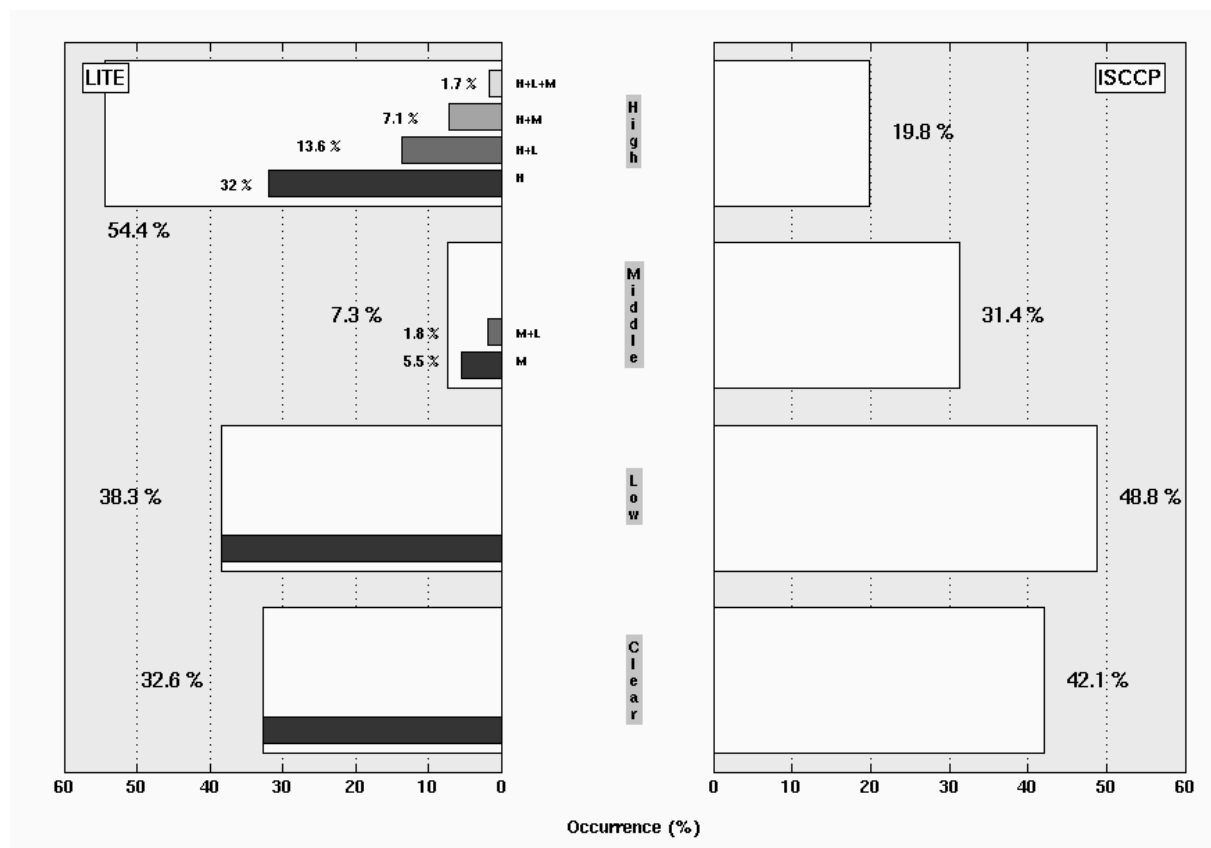


Figure 3.1.2 : Panel de gauche : Occurrences des couches nuageuses de LITE obtenues après agglomérations des structures nuageuses. **Panel de droite :** Statistique correspondante aux données ISCCP.

La différence la plus frappante (cf. la **Figure 3.1.2** et la **Table 3.1**) est l'occurrence des nuages de haute altitude dans les statistiques de LITE, avec une domination des structures monocouches (32.0% en global sous couverture ISCCP-D1) partiellement due aux cirrus fins qui ne sont pas détectés par les détecteurs passifs et qui correspond au ~10% de différence observée dans les statistiques de ciel clair. La relative importance du pourcentage de structures multicouches de haute altitude au sein des données LITE (~22.4% en global sous couverture ISCCP-D1) peut être associée à la différence significative observée dans les nuages d'altitude moyenne. Cette dernière classe ISCCP semble inclure une majorité (~24% des 31.4%) des sommets de structures nuageuses multicouches d'altitude "radiativement équivalente".

Highest	All latitude range		[-60°;-20°]		[-20°;+30°]		[+30°;+60°]	
	LITE	ISCCP	LITE	ISCCP	LITE	ISCCP	LITE	ISCCP
High	54.4 (46.5 ; 73.8) %	19.8 %	40.1 (38.4 ; 61.7) %	19.1 %	58.9 (49.6 ; 79.6) %	20.7 %	58.3 (50.7 ; 68.5) %	20.8 %
	50.9 (41.1 ; 73.8) %	22.5 %	42.4 (39.7 ; 76.4) %	18.3 %	51.6 (37.3 ; 79.7) %	18.9 %	57.8 (53.3 ; 63.4) %	28.5 %
Middle	7.3 (6.0 ; 10.6) %	31.4 %	7.8 (7.9 ; 6.9) %	30.4 %	5.3 (3.5 ; 9.3) %	30.8 %	10.2 (8.3 ; 12.7) %	38.1 %
	7.1 (5.9 ; 9.8) %	29.6 %	7.8 (7.7 ; 8.1) %	32.6 %	5.1 (3.5 ; 8.4) %	23.4 %	10.6 (9.3 ; 12.4) %	33.2 %
Low	38.3 (47.5 ; 15.6) %	48.8 %	52.1 (53.7 ; 31.4) %	50.5 %	35.8 (46.9 ; 11.1) %	48.5 %	31.5 (41.0 ; 18.8) %	41.1 %
	42.0 (53.0 ; 16.4) %	47.9 %	49.8 (52.6 ; 15.5) %	49.1 %	43.3 (59.2 ; 11.9) %	57.7 %	31.6 (37.4 ; 24.2) %	38.3 %
Cover Ratio	67.4 (73.3 ; 56.4) %	57.9 %	68.6 (77.7 ; 26.8) %	58.9 %	70.8 (72.7 ; 66.9) %	55.2 %	61.9 (69.4 ; 54.0) %	58.0 %
	66.5 (72.0 ; 56.3) %	57.8 %	73.0 (77.8 ; 41.9) %	69.0 %	68.2 (71.1 ; 63.0) %	47.4 %	58.2 (66.3 ; 50.3) %	56.1 %

Table 3.1 : Climatologie nuageuse LITE (après agglomération) et ISCCP. Les chiffres en noir correspondent à la couverture des données ISCCP-D1, les chiffres en rouge correspondant à celle des données ISCCP-DX. Pour les statistiques de LITE, le premier chiffre correspond à la couverture globale continentale et océanique, le second chiffre correspondant à la couverture océanique, et le troisième à la couverture continentale.

Cette sous estimation faite dans l'ISCCP de l'altitude des structures nuageuses est particulièrement mise en évidence lorsque l'on compare l'altitude moyenne des structures suivant la latitude, retrouvée par LITE, et celle retrouvée par ISCCP (cf. la **Figure 3.1.3**).

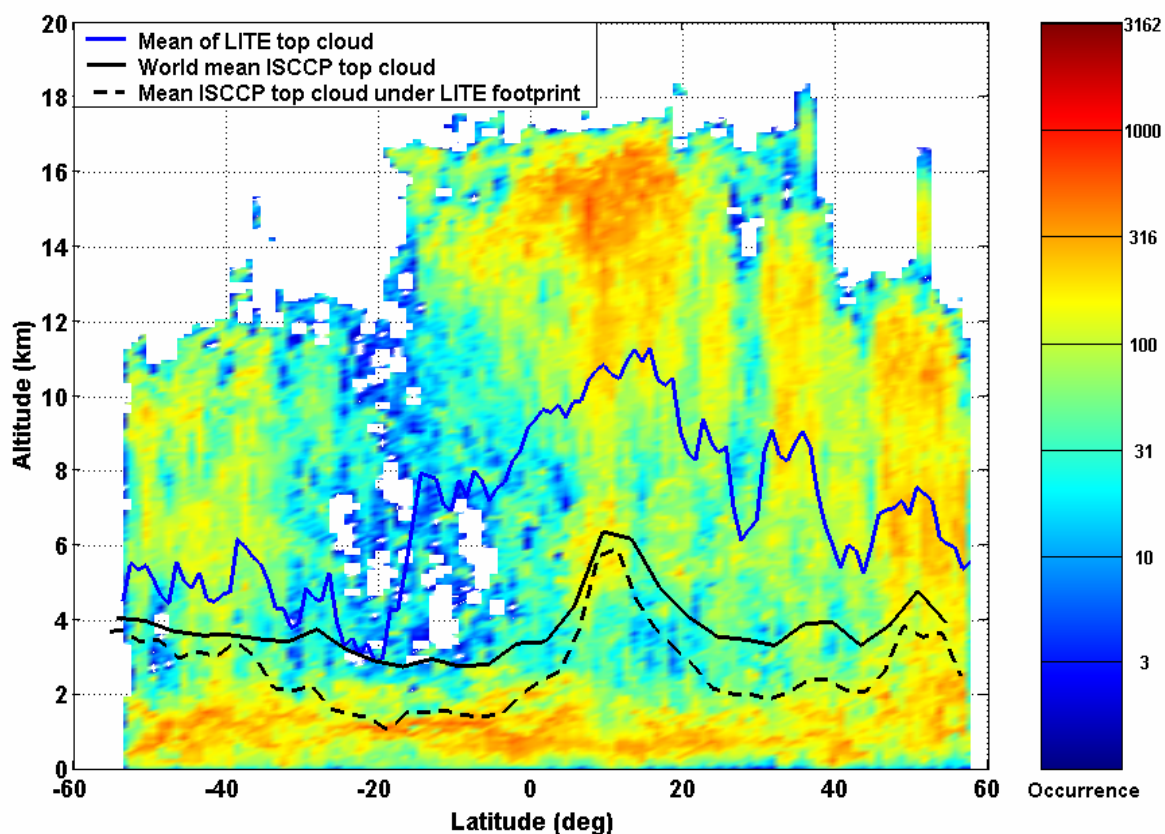


Figure 3.1.3 : Distribution latitudinale des sommets de structures nuageuses de LITE. L'altitude moyenne des structures nuageuses suivant la latitude, et retrouvée grâce aux données LITE et ISCCP est superposée sur cette figure. Cette moyenne suivant les latitudes est donnée pour ISCCP selon sa couverture globale, mais aussi directement sous la trace de LITE.

Les écarts paraissent d'autant plus importants que le nombre de nuages hauts est grand. Les différences majeures entre LITE et ISCCP seront par conséquent plus importantes (jusqu'à environ 4 km d'écart) aux abords de la zone correspondant à l'ITCZ et aux hautes latitudes.

3.2 Comparaisons LITE-GLAS-ISCCP-MODIS

3.2.1 Le couvert nuageux

Nous pouvons maintenant chercher à comparer entre eux les résultats obtenus à partir des instruments de télédétection actif (LITE, GLAS), et ceux obtenus à partir des instruments de détections passifs (ISCCP, MODIS). Nous portons tout d'abord notre comparaison sur la détection de la couverture nuageuse (voir la *Table 3.2*).

	All latitude range	[-60°;-20°]	[-20°;+30°]	[+30°;+60°]
LITE Cover Ratio (T-à-T)	69.8 % 69.0 %	72.8% 78.5 %	72.5 % 70.2 %	64.0 % 59.7 %
GLAS Cover Ratio	69.2	76.5	62.4	70.5
ISCCP Cover Ratio	57.9 % 57.8 %	58.9 % 69.0 %	55.2 % 47.4 %	58.0 % 56.1 %
MODIS Cover Ratio	59.2 %	63.3%	49.2%	58.3 %

Table 3.2 : Couvertures nuageuses enregistrées par les instruments LITE (tir à tir), GLAS, ISCCP et MODIS, sous la couverture globale ISCCP-D1 (chiffres en noir). Pour LITE et ISCCP, les statistiques sont aussi données sous couverture ISCCP-DX (voir chiffres en rouge). Pour les statistiques de LITE, le premier nombre correspond à la couverture globale, le second chiffre correspond aux mesures océaniques et le dernier correspond aux mesures continentales.

Les couvertures nuageuses données par les instruments LITE, GLAS, ISCCP et MODIS paraissent assez cohérentes entre elles, et sont comprise entre 57% et 69.8%. Ces valeurs de couvertures nuageuses retrouvées sont assez similaires à celles communément retrouvées dans la

littérature scientifique par d'autres auteurs, ces derniers employant des instruments de détection passive, et des méthodes d'analyses différentes.

[Wylie et al. 1994] et [Jin et al 1996] reportent que la moyenne totale du couvert nuageux déterminée à partir de l'instrument HIRS est égale à 76%-77%. [Jin et al. 1996] et [Rossow and Schiffer, 1999] reportent une moyenne annuelle de 63% basée sur les anciennes données ISCCP C-series, et de 68% en utilisant les nouvelles données ISCCP-D. [Stowe et al. 2002] et [Jacobowitz et al. , 2003] ont comparé les moyennes mensuelles des climatologies nuageuses, en compilant les données ISCCP, et celles fournies par CLAVR (CLOUD from AVHRR) sur 10 ans (1985-94), et ont trouvé des valeurs de couvertures nuageuses comprises entre 48% et 52%.

Les différences retrouvées entre les valeurs de couvertures nuageuses sont dues aux différentes techniques d'analyses utilisées, et en particulier à la façon dont sont caractérisés les pixels déclarés comme nuageux. Par exemple, CLAVR considère qu'en cas de couverture partielle d'un pixel, celui-ci puisse être déclaré comme couvert à 50%, alors que dans la même situation, ISCCP déclarera ce pixel comme étant couvert à 100%. Les valeurs de couvertures nuageuses fournies par CLAVR seront par conséquent les plus faibles, et constitueront donc une limite inférieure de cette mesure.

Bien que les valeurs de couvertures nuageuses données par la **Table 3.2** soient rapprochées, elles montrent néanmoins une différence d'environ 10% entre les valeurs données par les détecteurs actifs (env. 70%) et celles retrouvées à partir des détecteurs passifs (env. 60%). Cette différence peut être attribuée à l'impact des nuages de haute altitude semi-transparents en situation monocouches, difficilement détectés par les instruments passifs et identifiés alors comme des situations de ciel clair.

3.2.2 Les densités de probabilité

Nous pouvons pousser plus à fond la comparaison des différents résultats statistiques, en nous penchant sur l'analyse des distributions nuageuses.

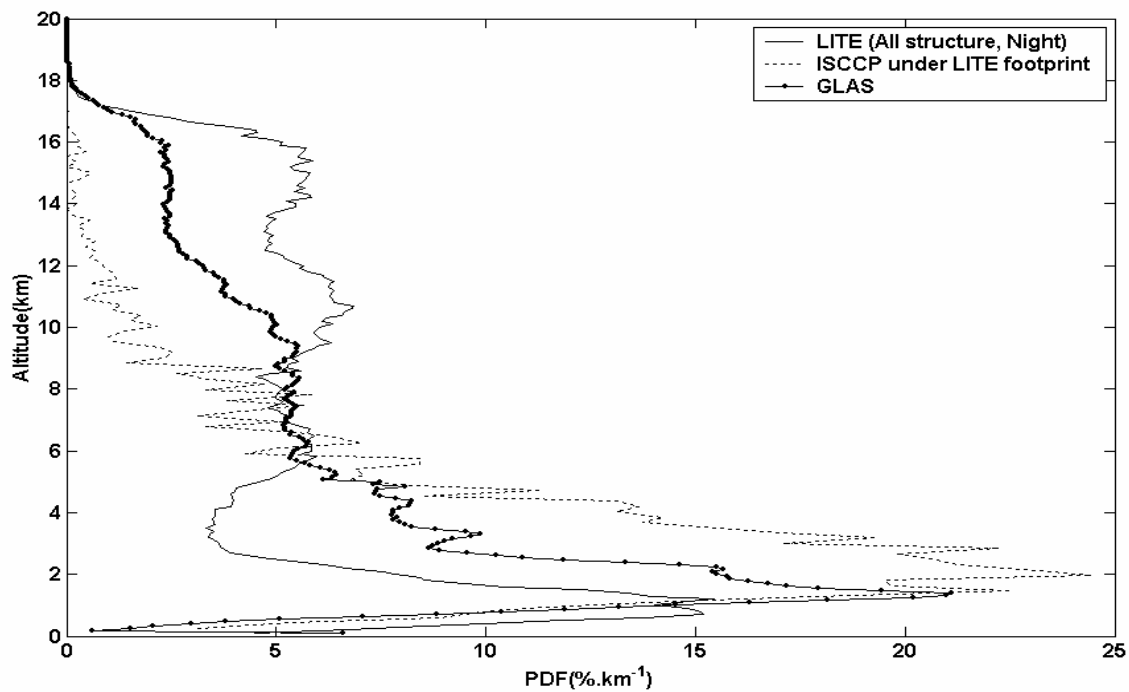


Figure 3.2.1 : PDF des sommets de structures nuageuses détectées par LITE (après agglomération des structures), GLAS (en mode tir à tir) et ISCCP.

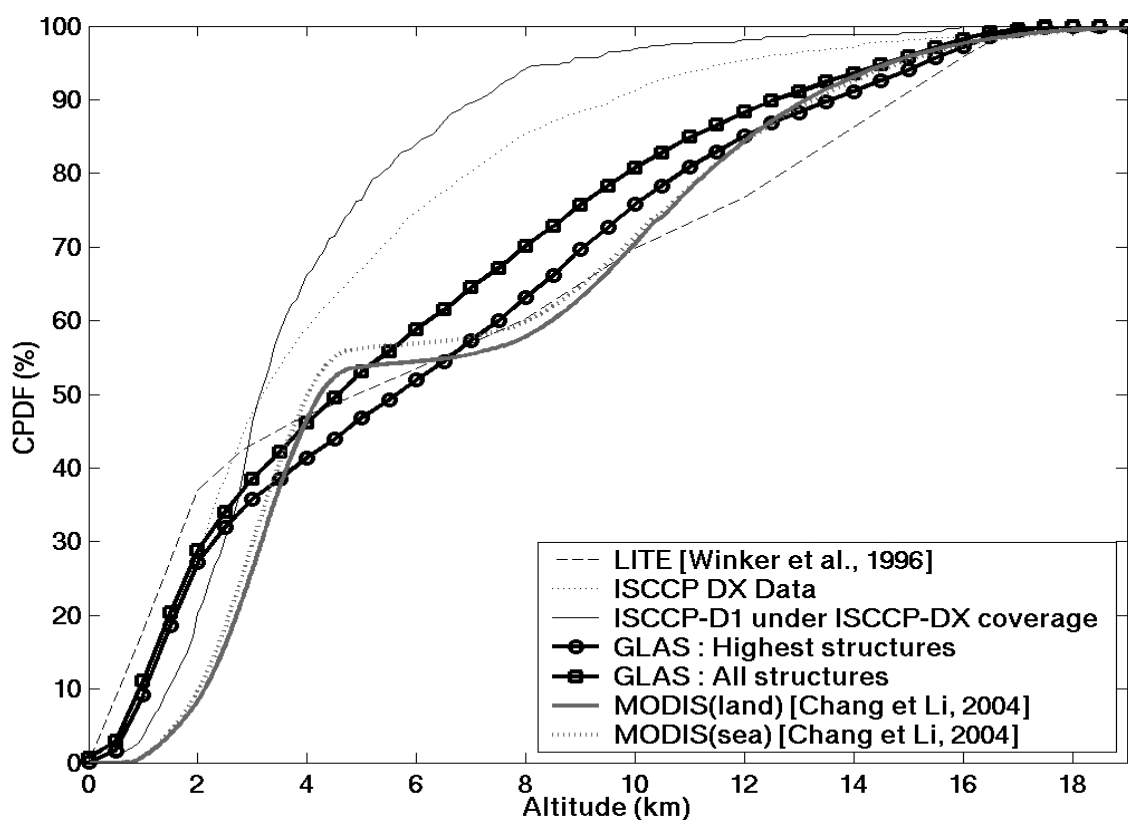


Figure 3.2.2 : CDF de l'altitude des sommets de structures nuageuses, obtenues à partir des instruments actifs (LITE (532nm, 10Hz) et GLAS (532nm, 1Hz)) et instruments passifs ISCCP- D1 et ISCCP-DX, et MODIS (Chang et Li, 2004). Les CDF sont calculées pour les détecteurs actifs en ne conservant pour chaque tir que la structure nuageuse détectée la plus haute (Highest structures).

Highest	All latitude range		[-60°;-20°]		[-20°;+30°]		[+30°;+60°]	
	GLAS	ISCCP	GLAS	ISCCP	GLAS	ISCCP	GLAS	ISCCP
High	46.5(46.7;45.7) %	19.8 %	47.5(47.2;50.6) %	19.1 %	48.3(47.9;49.3) %	20.7 %	42.0(42.7;41.4) %	20.8 %
Middle	18.8(18.7;19.2) %	31.4 %	19.3(19.2;20.3) %	30.4 %	18.3(18.1;18.8) %	30.8 %	19.2(19.2;19.2) %	38.1 %
Low	34.7(34.6;35.1) %	48.8 %	33.2(33.6;29.1) %	50.5 %	33.4(34.0;31.9) %	48.5 %	38.8(38.1;39.4) %	41.1 %

Table 3.3 : Statistique nuageuse GLAS et ISCCP sous la couverture ISCCP-D1. Pour les statistiques concernant l'instrument GLAS, le premier nombre correspond à la couverture globale, le second chiffre correspond aux mesures océaniques et le dernier correspond aux mesures continentales.

Comme nous l'avons précisé précédemment, les structures nuageuses peuvent être analysées statistiquement soit en mode tir à tir, soit après avoir effectué une agglomération des structures nuageuses les plus proches. La **Figure 3.2.1** présente les PDF de l'altitude des sommets de structures nuageuses pour LITE après agglomération des structures nuageuses, et celle correspondant à GLAS en mode tir à tir. On retrouve pour GLAS, les PDF déjà retrouvées pour LITE en mode tir à tir. Après agglomération des données LITE, on note un renforcement du nombre des structures de hautes altitudes, au détriment de celui des nuages Bas. L'analyse de la **Table 3.3** nous amène aux mêmes conclusions. L'explication de ce phénomène déjà expliqué dans la section 2.7.1, réside dans la forte agglomération des nuages bas, ainsi que dans le raccrochement des petites structures d'altitude moyennes situées sous la base des nuages haut.

Dans tous les cas, et cela quelle que soit la méthode de détection choisie (tir à tir ou agglomération), ou le type d'instrument actif utilisé (GLAS ou LITE), la sous-estimation faite par ISCCP de l'altitude des structures nuageuses, ainsi que la non détection d'un nombre important de nuages haut semi-transparents, déjà discutée dans la section précédente, se trouve vérifiée.

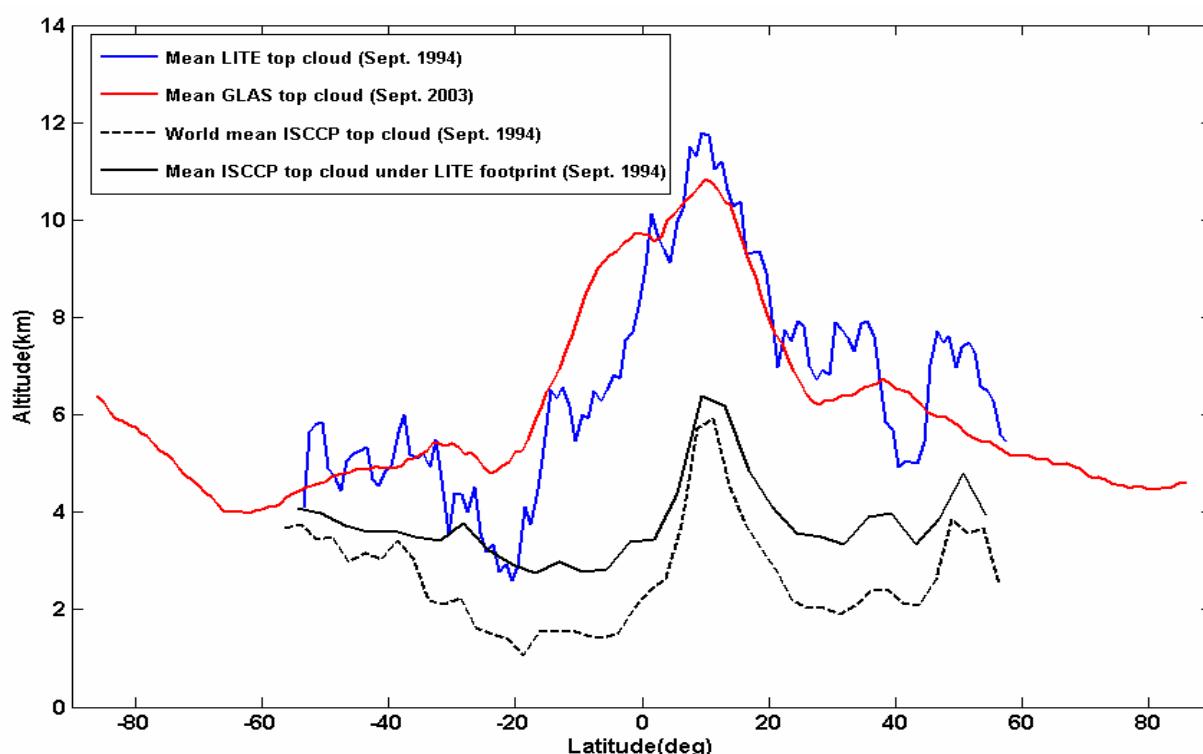


Figure 3.2.3 : Distribution latitudinale de l'altitude moyenne des sommets de structures nuageuses correspondant aux données LITE et GLAS (en mode tir-à-tir), et ISCCP. Pour les détecteurs passifs, seule la structure la plus haute de chaque tir lidar est considérée.

Les mêmes conclusions peuvent être faites à partir de la comparaison des distributions en latitude de l'altitude moyenne des structures nuageuses (voir la **Figure 3.2.3**). Ces distributions montrent toutes un maximum en altitude situé vers 15°N, et correspondant à la position de l'ITCZ (Inter Tropical Zone Convergence). Les distributions correspondantes aux données de LITE et GLAS (tir à tir) sont très fortement corrélées. Par contre, les distributions moyennes correspondantes aux données ISCCP, prises globalement et sous la trace de LITE, montrent pour les mêmes raisons que décrites dans le paragraphe précédent, une sous estimation par ISCCP de l'altitude des structures nuageuses.

Highest	All latitude range		[-60°;-20°]		[-20°;+30°]		[+30°;+60°]	
	LITE	MODIS	LITE	MODIS	LITE	MODIS	LITE	MODIS
High	55.5 (47.7; 75.7) %	51.6 (50.0;56.2) %	40.6 (39.3; 58.5) %	47.7 (46.9;56.1) %	59.8 (51.0; 81.1) %	60.0 (61.9;54.3) %	60.1 (51.7;71.6) %	56.9 (56.8;57.0) %
Middle	3.8 (3.1; 5.6) %	3.2 (3.4;2.8) %	4.4 (4.6; 2.2) %	3.2 (3.2;2.7) %	3.1 (2.0; 5.7) %	4.9 (5.8;2.1) %	4.3 (3.3; 5.8) %	3.2 (3.4;3.1) %
Low	40.7 (49.2;18.7) %	45.2 (46.6;41.0) %	55.0 (56.1; 39.3) %	49.1 (49.9;41.2) %	37.1 (47.0; 13.2) %	35.1 (32.3;43.6) %	35.6 (45.0; 22.6) %	39.9 (39.8;39.9) %

Table 3.4 : Distribution de l'altitude des sommets de structures nuageuses enregistrées à partir de LITE (Après agglomération), et MODIS. Les classes d'altitude Bas, Moyen et Haut sont celles utilisées par Chang et Li [2005].

3.2.3 Comparaisons spécifiques aux résultats de MODIS

Le radiomètre MODIS est un détecteur passif, et en tant que tel, les résultats qui seront obtenus par l'analyse des données de ce détecteur auront tendance à être similaires à ceux déjà obtenus par ISCCP (voir analyse des cirrus faite par Platnick et al. (2003)). La méthode d'analyse utilisée dans le traitement standard des données MODIS, fait comme dans le cas de l'algorithme de traitement de ISCCP, l'hypothèse d'une couche unique sur la verticale. Les résultats montrent le même biais quant à la détermination de l'altitude des structures nuageuses ([Jin et al, 1996]).

Les auteurs de l'article [Chang et Li, 2005] ont donc par conséquent voulu profiter des caractéristiques multispectrales caractérisant les données MODIS, et tenter ainsi de retrouver l'information sur la structuration nuageuse multicouche.

La méthode est basée sur l'utilisation des fenêtres conventionnelles correspondant aux longueurs d'ondes Visibles et InfraRouge. Sous la pression de 700 hPa, les longueurs d'ondes IR correspondant à l'absorption du CO₂ (13.3, 13.6, 13.9, et 14.2 μm) sont aussi utilisées afin de permettre une meilleure détection des cirrus

Les résultats statistiques donnés dans cette publication ont été calculés à partir d'une définition des classes Bas, Moyen et Haute différentes de celles utilisées dans les données ISCCP. Les pressions de séparation sont en effet différentes : 500 et 600 hPa dans le cas des données MODIS, alors que nous avons des pressions de séparation équivalentes à 680 et 440 hPa dans le cas des données ISCCP. Vu le peu de différence séparant les deux pressions de séparation, la classe d'altitude moyenne se retrouve réduite à quelques pourcentages, et joue dans ces statistiques un rôle secondaire.

Nous avons, par conséquent, recalculé les statistiques de LITE avec ces nouvelles altitudes de séparation utilisées dans le traitement des données MODIS (voir la **Table 3.4**).

Bien que les valeurs de MODIS retrouvées dans l'article de Chang et Li [2005] soient celles correspondantes au mois d'avril 2001, la comparaison entre les statistiques de LITE et MODIS montrent une très bonne corrélation. L'analyse de la CPDF de l'altitude des structures nuageuses correspondant à MODIS (voir la **Figure 2.4.11**) est très proche de celle de GLAS et LITE.

3.2.3.1 Analyse des nuages hauts

A partir des courbes de distribution fournies dans l'article de Chang et Li [2005], nous avons pu recalculer pour MODIS la distribution des nuages hauts en global et suivant les différentes bandes de latitudes (voir la **Table 3.5**). La classification utilisée dans cet article distingue les nuages optiquement denses (High3), ou seul le nuage haut est vu, des nuages semi-transparents, de type cirrus. Cette dernière catégorie est alors dissociée en deux classes, suivant le fait que le nuage semi-transparent soit seul (cas monocouche High1) ou recouvre une autre structure (cas multicouche High2).

	GLobal	[-60 +20]	[-20 +30]	[+30 +60]
High1 Nuage semi-transp. monocouche	18.2 (14.2 ; 29.9)	17.6 (16.4 ; 29.8)	25.6 (22.4 ; 34.6)	18.1 (7.8 ; 28.9)
High2 Nuage semi-transp. Multicouche Cirrus + autre(s) nuage(s)	55.6 (56.8 ; 52.3)	54.6 (55.1 ; 49.3)	38.4 (37.7 ; 40.5)	62.4 (63.6 ; 61.1)
High3 Nuage dense	26.1 (29.0 ; 17.8)	27.8 (28.5 ; 20.9)	36 (39.9 ; 24.9)	19.5 (28.6 ; 10.0)

Table 3.5 : Répartition au sein de la classe des nuages Haut de MODIS ([Chang et Li., 2005]) entre les nuages considérés comme étant monocouches, les cirrus recouvrant une autre structure nuageuse, et les nuages hauts optiquement denses.

	GLobal	[-60 +20]	[-20 +30]	[+30 +60]
MODIS (High1+High3)	44.3 (43.2 ; 47.7) %	45.4 (44.9 ; 50.7) %	61.6 (62.3 ; 59.5) %	37.6 (36.4 ; 38.9) %
GLAS (cas H)	57.3 (57.6; 56.5) %	58.0 (57.8; 59.5) %	58.1 (58.2; 57.9) %	54.8 (55.5; 54.0) %
LITE (cas H)	58.8 (52.9 ; 67.8) % 58.0 (51.1 ; 67.1) %	49.9 (48.2 ; 64.7) % 51.9 (50.4 ; 63.9) %	60.8 (56.0 ; 67.5) % 59.5 (49.4 ; 68.9) %	60.2 (51.3 ; 68.3) % 59.0 (54.4 ; 64.2) %

Table 3.6 : Proportion des cas nuageux ou seul un nuage haut a pu être détecté sur la verticale, suivant les trois instruments MODIS ([Chang et Li, 2005], LITE et GLAS. Le premier nombre correspond à la couverture globale, le second chiffre correspond aux mesures océaniques et le dernier correspond aux mesures continentales.

La sommation des classes High1 et High3 de MODIS (voir la

Table 3.6), correspond aux cas où seulement une structure nuageuse classée haute a pu être détectée sur l'ensemble de la colonne atmosphérique. On peut donc alors directement comparer cette proportion à celle de la classe (H), précédemment retrouvée grâce au détecteur actif LITE (voir les tables 2.4 et 2.5) et GLAS (voir la table 2.3). Les valeurs correspondante de LITE et GLAS sont aussi reportées dans la

Table 3.6. On relève en global une différence d'environ 14% entre les valeurs retrouvées par les instruments actifs (58.8% pour LITE sous couverture ISCCP-D1, 57.3% pour GLAS), et celles retrouvées par le détecteur passif MODIS (44.3%).

3.2.3.2 Les nuages semi-transparents de type cirrus

Nous allons maintenant chercher à comparer les estimations du pourcentage de nuages hauts semi-transparents, obtenus à partir des données MODIS (voir la **Table 3.5**) et des données LITE. Concernant les données MODIS, la simple sommation des classes High1 et High2 de la

Table 3.5, permet d'accéder à cette proportion (voir la **Table 3.7**).

	Global	[-60 +20]	[-20 +30]	[+30 +60]
MODIS (High1+High2)	73.8 %	72.2 %	64.0 %	80.5 %
LITE (cas H)	58.8 % 58.0 %	49.9 % 51.9 %	60.8 % 59.5 %	60.2 % 59.0 %
LITE semitransparent ratio R in (H) class	50.89 %	42.54 %	54.54 %	49.19 %
LITE (H)*R	29.4 % 29.0 %	21.22 % 22.07 %	33.16 % 32.45 %	29.60 % 29.01 %
LITE $P_{\text{semi}}=(H)*R+P_{\text{multi}}$ total semi	70.6 % 71.0 %	71.31 % 70.16 %	72.36 % 72.95 %	69.39 % 70.01 %

Table 3.7 : Proportion des nuages haut semi-transparent, calculée à partir des données LITE et MODIS [Chang et Li, 2005].

Afin de pouvoir comparer ces proportions avec celles retrouvées grâce au lidar LITE, nous allons devoir identifier au sein de la table 2.4, quelle est la part des nuages hauts semi-transparents.

Pour les tirs classés multicouches (i.e. les classes H+M, H+L et H+M+L), les nuages hauts sont par nature considérés comme étant semi-transparents, car ils n'atténuent pas complètement le signal lidar, et laissent apercevoir les structures recouvertes. On note $P_{\text{multicouches}}$ la somme des probabilités correspondant à ces trois classes.

La classe monocouche (H) est constituée de nuages haut semi-transparents, mais aussi de nuages denses. Nous devons, par conséquent, déterminer au sein de cette classe (H) quelle est la part des nuages optiquement denses, de celle des nuages semi-transparents. Le paramètre « détection/non détection » du sol nous permet de définir la probabilité, notée R, de nuages semi-transparents au sein de la classe (H).

Nous pouvons donc calculer la probabilité totale de nuages haut semi-transparents, notée $P_{\text{semitransparent}}$ comme étant la sommation de l'ensemble de ces probabilités :

$$P_{\text{semi-transparent}} = P_H \cdot R + P_{\text{multicouches}} \quad (3.1)$$

Le calcul de R nous amène à estimer qu'environ 50% des nuages hauts vus comme étant monocouches peuvent être considérés comme semi-transparents. La probabilité de nuages semi-transparents, déterminée à partir des données LITE (voir la

Table 3.7) au sein des nuages hauts s'élève donc globalement à 70.1 %, ce qui est très comparable avec la valeur donnée par MODIS, d'environ 73%.

3.3 Conclusion

De l'étude statistique qui vient d'être effectuée dans ce chapitre, nous pouvons tirer plusieurs conclusions très intéressantes sur les caractéristiques propres à la détection des structures nuageuses grâce à la télédétection active et passive.

On note tout d'abord, que les données ISCCP ne semblent pas être sensibles, ou très peu, aux nuages hauts semi-transparents. Ceci entraîne une sous-estimation de l'altitude moyenne des structures nuageuses. De plus, l'algorithme de traitement des données ISCCP fait dans la colonne atmosphérique, l'hypothèse d'une structure monocouche, aggravant ainsi dans les cas de systèmes multicouches le biais dans la détermination de l'altitude des structures nuageuses.

Une des solutions à ce problème de sous-estimation des instruments passifs semble être l'apport d'une autre source d'information permettant de retrouver les structures semi-transparentes. L'utilisation d'un algorithme multispectral, comme il a été fait par Chang et Li [2005] dans le cas des données MODIS améliore fortement cette estimation de l'altitude des structures nuageuses, et fait tendre les statistiques nuageuses vers celles obtenues à partir des détecteurs actifs LITE et GLAS.

Pour finir, et afin de bien mettre en relief l'apport incontournable que constitue les instruments de télédétection lidar, nous noterons que la proportion des nuages hauts semi-transparentes, a été estimée à environ 70% grâce aux données LITE et MODIS (corrigée selon la méthode de Chang et Li [2005]). On souligne ainsi l'erreur effectuée lorsque nous utilisons les données passives seules afin de déterminer les statistiques correspondantes aux sommets des structures nuageuses.

Nous devons prendre en compte l'ensemble de ces conclusions, dans le cadre des synergies instrumentales actives et passives, qui seront mises en place lors du traitement des données de la mission CALIPSO.

4 CHAPITRE 4 : ETUDE SUR LA REPARTITION GEOGRAPHIQUE DES AEROSOLS OBSERVES PAR LITE

L'algorithme de seuillage mis en place afin d'effectuer l'extraction des données LITE nous a permis, dans un premier temps d'effectuer l'analyse statistique de la distribution des structures nuageuses. Comme il a déjà été expliqué dans le chapitre 2, cet algorithme d'extraction permet la séparation des structures nuageuses de celle des aérosols, à partir de la comparaison des deux longueurs d'ondes 532 et 1064 nm et/ou par l'utilisation du produit $\beta.d\beta$. Il nous est alors possible, comme cela a déjà été fait pour les nuages, d'effectuer une étude sur les structures d'aérosols.

Nous chercherons donc à préciser la localisation géographique de ces aérosols, et montrerons comment cette analyse reste cohérente avec les cartes d'occurrence des aérosols déjà existantes dans la littérature.

Cette première étape nous permettra de définir des régions d'étude, qui pourront alors être analysées séparément. Chacune de ces régions seront supposées caractéristiques d'un type d'aérosol donné, ou du mélange de plusieurs types d'aérosols.

Nous montrerons ensuite comment le lidar spatial peut nous permettre de caractériser la distribution verticale de ces aérosols.

4.1 Localisation géographique des aérosols

Divers processus physiques peuvent être considérés comme responsables de l'émission et de la mise en suspension d'une particule d'aérosol au sein de l'atmosphère. Ces processus d'émission assez complexes sont alimentés par des réservoirs de nature très différente, de par leurs propriétés

chimiques et physiques respectifs, et qui expliquent l'hétérogénéité à l'échelle globale de la nature des aérosols. La courte durée de vie des particules d'aérosols dans la troposphère libre (environ 7 jours) explique aussi cette hétérogénéité.

Trois grands types d'aérosols sont principalement rencontrés : les poussières désertiques (aussi appelées Dust), les particules émises par les feux de biomasses, et celles injectées par les activités humaines (industries, trafic automobile, ...).

Nous observerons dans le cadre de cette étude utilisant les données LITE, assez peu d'aérosols anthropiques ou correspondant à des feux de biomasse. On s'intéressera donc plus dans la suite de ce chapitre, et dans le chapitre 5, à l'étude des aérosols désertiques.

La **Figure 4.1.1** présente la distribution latitudinale des aérosols telle qu'elle a pu être établie à partir de cette analyse.

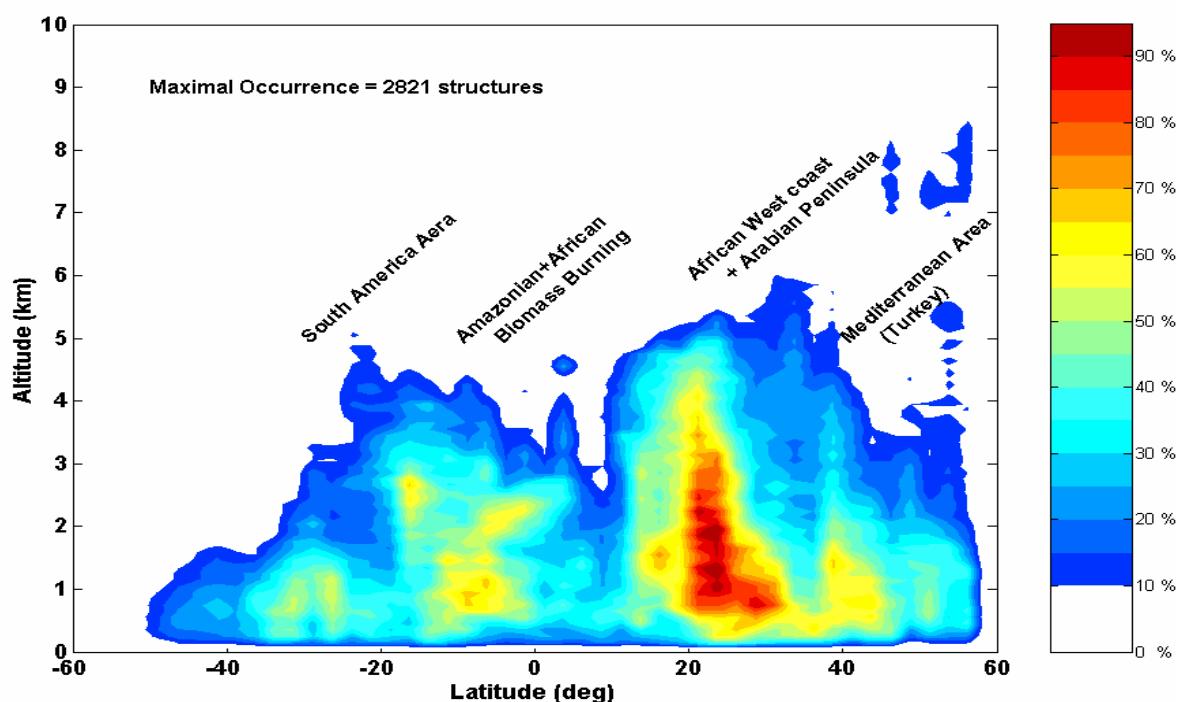


Figure 4.1.1 : Distribution latitudinale des structures identifiées comme étant de type aérosols par l'algorithme d'extraction des données LITE.

Cette figure montre une distribution spatiale non homogène des aérosols aussi bien sur la latitude, que sur l'altitude. Différentes structures d'aérosols semblent distinguables sur cette figure le long des latitudes.

La **Figure 4.1.2** donne la carte géographique des structures aérosols retrouvées. On observe tout d'abord que les panaches d'aérosols dominants sont majoritairement localisés dans les régions tropicales et intertropicales, ce qui correspond bien aux zones d'émissions de poussières désertiques, ainsi qu'aux zones de feux de biomasse.

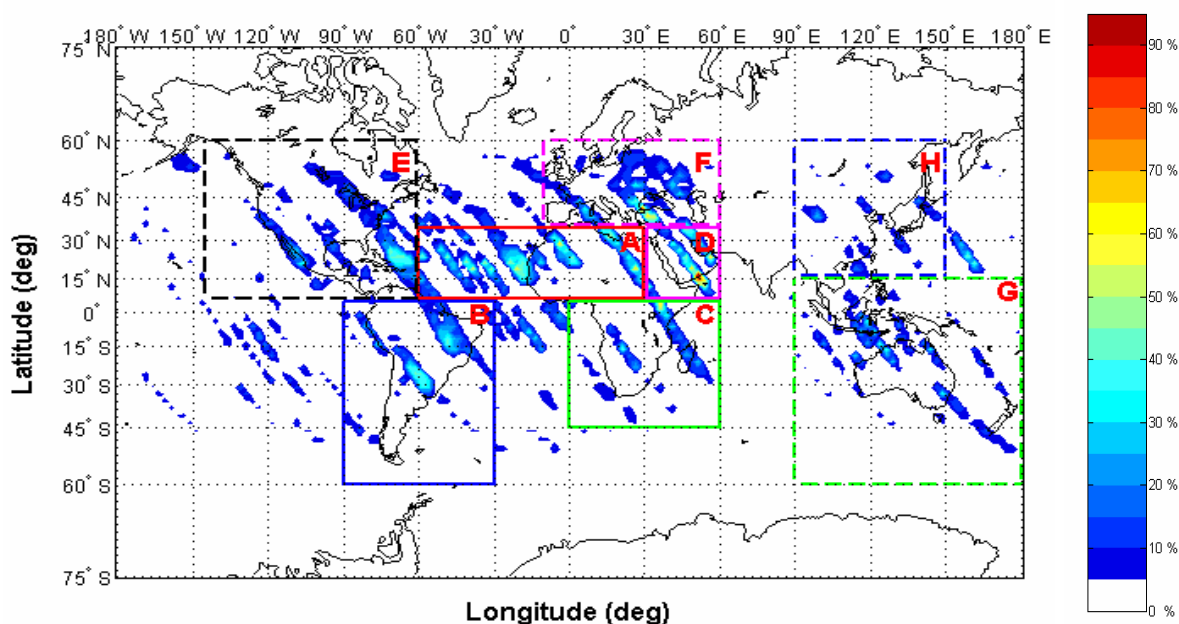


Figure 4.1.2 : Projection bidimensionnelle des structures identifiées comme étant de type aérosols par l'algorithme d'extraction des données LITE. Les boîtes tracées sur cette figure indiquent les différentes zones d'analyses qui seront utilisées dans le cadre de cette étude.

On remarque tout d'abord au sein de cette distribution horizontale une signature forte de la trajectographie liée à LITE, ce qui constitue un aspect limitatif qu'il nous faudra en effet garder à l'esprit dans le cadre de cette analyse. Un autre biais possible de cette analyse est constitué par l'effet de masquage introduit par le couvert nuageux. De plus, le manque des données associées aux longitudes correspondantes à l'Inde constitue une lacune évidente dans cette analyse. La mission INDOEX a en effet déjà montré l'importance de cette région en terme d'émission d'aérosols par les feux de biomasse, et suite aux activités humaines [Léon et al., 2002].

Le but ultime de l'analyse n'est pas ici de dresser une carte globale de la répartition des aérosols. Ceci nécessiterait un nombre de données bien plus important que celui qui a pu être apporté par la seule mission LITE. Une telle étude, difficilement réalisable à partir des données de la mission GLAS, ne pourrait être mise en place que dans le cadre de la mission CALIPSO, et si le système lidar reste suffisamment longtemps opérationnel.

L'idée consiste donc à essayer d'identifier le type des aérosols retrouvés (Dust ou Biomass Burning), et d'essayer d'identifier ainsi des zones d'études géographiques caractéristiques.

4.3.1 Zones d'occurrence des poussières désertiques

Les principales régions connues pour être responsables de l'émission de poussières désertiques sont situées dans les zones désertiques, telles que le Sahara, l'Arabie Saoudite et le Nord-est de la Chine (Désert de Gobi et du Taklemakan, voir [Laurent et al., 2005]. L'émission de ces poussières désertiques est principalement liée à l'occurrence de forts épisodes de vents associés à une rugosité aérodynamique de surface permettant un soulèvement efficace ([Marticorena et al., 1997]).

La **Figure 4.1.1** montre bien entre 10°N et 35°N la présence de panaches d'aérosols désertiques.

La localisation géographique des aérosols désertiques peut être mise en corrélation avec celle retrouvée par [Grini et al, 2005], obtenue grâce au modèle de transport DEAD (Dust Entrainment And Deposition model [Zender et al., 2003], à partir des données du mois d'octobre 1996 (voir la **Figure 4.1.3**).

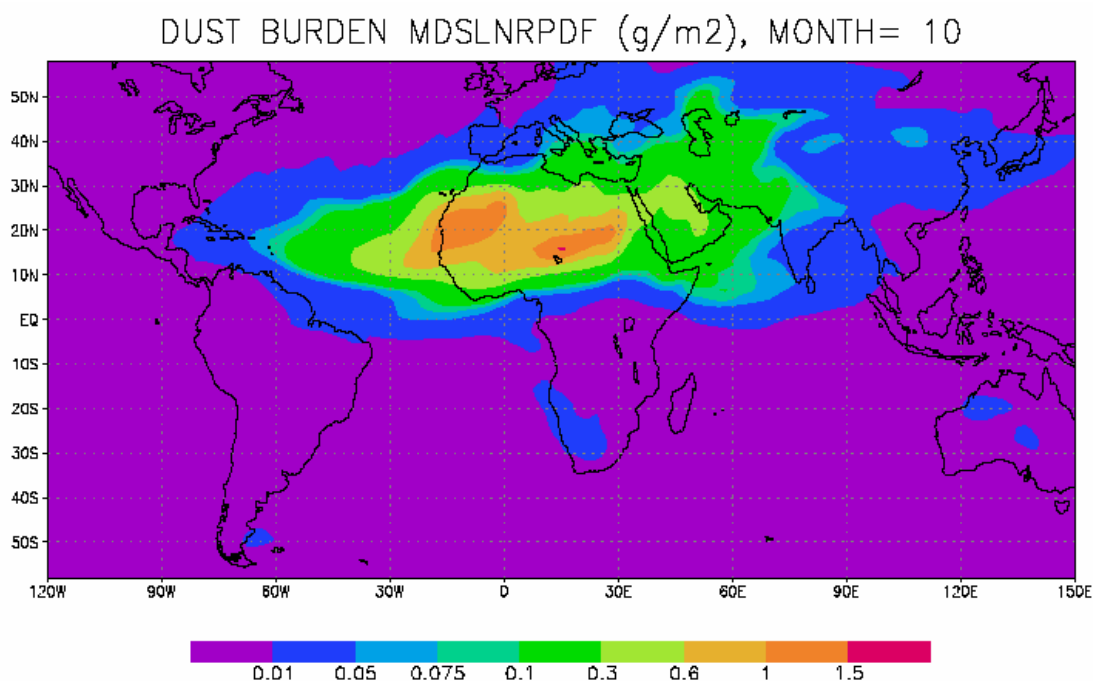


Figure 4.1.3 : Carte globale de la distribution des poussières désertiques obtenues grâce au modèle DEAD à partir des données du mois d'octobre 1996. [Grini, 2004].

La comparaison de la **Figure 4.1.2** et de la **Figure 4.1.3** permet d'identifier clairement la zone Saharienne, ainsi que le panache est-ouest dont elle est originaire. La péninsule Arabo-Persique, le Moyen et Proche Orient, ainsi que l'ensemble de la zone méditerranéenne sont eux aussi survolés par des panaches de ce type.

4.3.2 Zones d'occurrences des feux de biomasses (Biomass Burning)

Les principales régions émettrices d'aérosols issus des feux de biomasses correspondent à l'Afrique centrale et sub-saharienne, l'Amérique centrale et l'Amérique du sud, ainsi que les régions de l'Indonésie et l'Indochine. Des feux peuvent être aussi observés plus sporadiquement dans les forêts boréales, le Canada et la Sibérie.

De nombreux panaches de fumée, s'étendant de façon très homogène, sur de très grandes distances (plus de 1000 km) sont courants au sein des données LITE. En l'occurrence, l'exemple d'une telle observation, faite au dessus de la Bolivie et de l'Argentine, pour le mois de septembre 1994 est donné en **Figure 4.1.4**. La même zone vue par le détecteur passif MODIS en septembre 2001 montre elle aussi l'existence d'un tel panache bloqué par la cordillère des Andes. L'existence de ce panache est associée pour le mois de septembre à l'activité saisonnière des « Chaqueos », correspondant à l'abattage et la mise à feux de la forêt équatoriale et des pâturages.

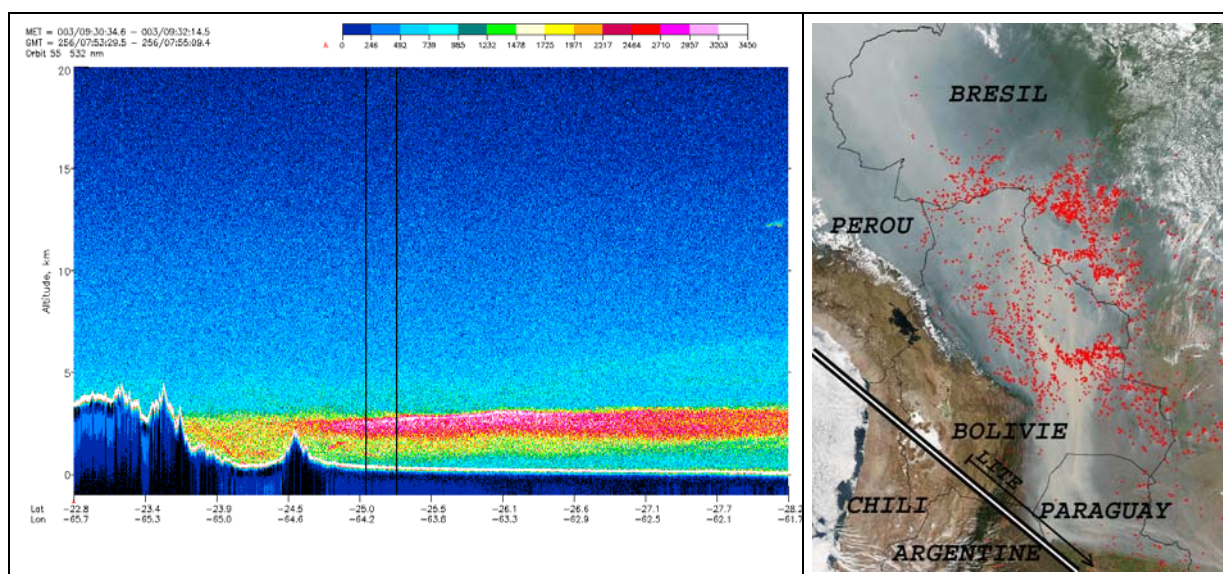


Figure 4.1.4 : A gauche : Couche de feux de biomasse, de distribution spatiale très homogène, enregistrée par l'instrument LITE (532nm) le 13/09/1994, au dessus de l'Amérique du sud. On distingue à gauche de la figure le relief de la cordillère des Andes, bloquant le passage à l'ouest de l'aérosol. L'image de droite correspond à la même zone, observée le 14 septembre 2001 par l'instrument MODIS (http://visibleearth.nasa.gov/view_rec.php?id=6445). L'orbite 55 de LITE en 1994 est superposée sur la figure. La zone correspondante à la figure de gauche est indiquée par la flèche.

Les observations d'aérosols effectuées sur bandes de latitudes $[40^{\circ}\text{S} ; 20^{\circ}\text{S}]$ et $[20^{\circ}\text{S} ; 10^{\circ}\text{N}]$ de la **Figure 4.1.1** peuvent être identifiées sans trop de difficultés comme étant liées aux feux de biomasse. Ces deux bandes de latitudes correspondent respectivement à l'Amérique du sud pour la première bande de latitude, et l'association du bassin Amazonien et de l'Afrique du Sud pour la seconde.

L'hypothèse d'identification de ces zones comme étant principalement émettrices d'aérosols de type Biomass Burning est appuyée par la corrélation qui peut être effectuée avec la carte de probabilité d'occurrence des feux (surfaces brûlées) (voir la **Figure 4.1.5**), obtenues par la compilation des données de l'instrument AVHRR entre 1982 et 1999 [Carmona-Moreno et al, 2005].