

---

# Norme internationale



# 5878

---

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION • МЕЖДУНАРОДНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ • ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION

---

## Atmosphères de référence pour l'application aérospatiale

*Reference atmospheres for aerospace use*

Première édition — 1982-04-15

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
**(standards.iteh.ai)**

[ISO 5878:1982](#)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/db317ec6-3177-4d06-8a29-e6927cfd1ff9/iso-5878-1982>

---

**CDU 551.51/54**

**Réf. n° : ISO 5878-1982 (F)**

**Descripteurs** : aérodynamique, atmosphère, atmosphère normalisée, caractéristique, donnée météorologique, calcul.

Prix basé sur 39 pages

## Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique correspondant. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO, participent également aux travaux.

Les projets de Normes internationales adoptés par les comités techniques sont soumis aux comités membres pour approbation, avant leur acceptation comme Normes internationales par le Conseil de l'ISO.

La Norme internationale ISO 5878 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 20, *Aéronautique et espace*, et a été soumise aux comités membres en novembre 1978.

Les comités membres des pays suivants l'ont approuvée:

Afrique du Sud, Rép. d'	Chili	Pologne
Allemagne, R. F.	Corée, Rép. de	Roumanie
Autriche	Espagne	Tchécoslovaquie
Belgique	France	URSS
Brésil	Italie	USA
Canada	Japon	

Les comités membres des pays suivants l'ont désapprouvée pour des raisons techniques:

Irlande  
Royaume-Uni

## Sommaire

	Page
1 Objet et domaine d'application .....	1
2 Généralités .....	1
2.1 Hypothèses fondamentales .....	2
2.2 Équation d'équilibre statique et loi des gaz parfaits .....	2
2.3 Altitude géopotentielle et altitude géométrique; accélération de la pesanteur .....	2
3 Modèles atmosphériques jusqu'à 80 km d'altitude .....	3
3.1 Modèle annuel pour la latitude 15° .....	3
3.2 Modèles saisonniers pour 30, 45, 60 et 80° N .....	4
3.3 Régimes stratosphérique et mésosphérique chauds et froids pour 60 et 80° N en décembre-janvier .....	4
4 Variations dans le temps et dans l'espace .....	4
4.1 Variations saisonnières et latitudinales .....	4
4.2 Variations longitudinales .....	5
5 Fréquence de distributions des relevés de température et de masse volumique .....	5
6 Tableaux des caractéristiques des atmosphères de référence (tableaux 3 à 15)	6 – 18
Tableaux 16 à 22 .....	19 – 32
Figures 1 à 4 .....	33 – 37
Bibliographie .....	38 – 39

Page blanche

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
**(standards.iteh.ai)**

ISO 5878:1982

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/db317ec6-3177-4d06-8a29-e6927cfd1ff9/iso-5878-1982>

# Atmosphères de référence pour l'application aérospatiale

iTeh STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

## 1 Objet et domaine d'application

La présente Norme internationale fournit des informations concernant les variations des caractéristiques de l'atmosphère en fonction des saisons, des latitudes, des longitudes, ou d'un jour à l'autre, à des altitudes comprises entre la surface du sol et 80 km.

## 2 Généralités

Les variations systématiques des caractéristiques de l'atmosphère (en fonction des saisons et des latitudes) sont représentées, jusqu'à 80 km d'altitude, par une famille de modèles comprenant les atmosphères de référence suivantes:

Titre	Latitude	Période de l'année
Tropical	15°	Moyenne annuelle
Subtropical	30° N	Juin-juillet et décembre-janvier
Latitude moyenne	45° N	Juin-juillet et décembre-janvier
Subarctique	60° N	Juin-juillet et décembre-janvier Régimes stratosphérique et mésosphérique froids et chauds pour décembre-janvier
Arctique	80° N	Comme pour subarctique

Pour la normalisation de cette famille d'atmosphères de référence, les hypothèses suivantes ont été utilisées:

a) À l'exception du modèle correspondant à 15° de latitude, on considère que les atmosphères de référence sont

applicables seulement dans l'hémisphère Nord. Cependant, on estime qu'elles sont très proches des conditions correspondant aux latitudes moyennes dans l'hémisphère Sud.

b) Les modèles sont définis par les profils de température – altitude, dans lesquels les gradients verticaux de température sont constants en fonction de l'altitude géopotentielle à l'intérieur de chacune des couches.

c) On suppose que l'air est un gaz parfait, exempt d'humidité ou de poussière.

d) On suppose que la masse molaire de l'air sec,  $M = 28,964\ 420\ \text{kg} \cdot \text{kmol}^{-1}$  est constante aux altitudes inférieures à 80 km. La constante spécifique des gaz pour l'air sec,  $R$ , est égale à  $287,052\ 87\ \text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$  (tableau 1).

e) Les caractéristiques telles que l'inversion sous les tropiques, et l'inversion de surface en hiver dans les régions arctiques et subarctiques sont incluses dans les modèles.

Tableau 1 — Principales valeurs utilisés pour le calcul des atmosphères de référence

Symboles	Valeurs	Unités de mesure SI
$g_n$	9,806 65	$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
$M$	28,964 420	$\text{kg} \cdot \text{kmol}^{-1}$
$N_A$	$602,257 \times 10^{24}$	$\text{kmol}^{-1}$
$R^*$	8 314,32	$\text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kmol}^{-1}$ ou $\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kmol}^{-1}$
$R$	287,052 87	$\text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ ou $\text{m}^2 \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$

**2.1 Hypothèses fondamentales**

Les valeurs numériques des diverses grandeurs thermodynamiques et physiques utilisées pour le calcul des caractéristiques de l'atmosphère sont les mêmes que celles utilisées pour l'ISO 2533 « Atmosphère type », à deux exceptions près: les conditions de surface pour chacune des atmosphères de référence sont basées sur les valeurs de température, de pression et de masse volumique au niveau de la mer, pour la saison et la latitude appropriées, et les valeurs de l'accélération de la pesanteur au niveau de la mer pour les latitudes autres que 45°, ont été obtenues à partir de l'équation de Lambert<sup>[1]</sup>, dans laquelle l'accélération de la pesanteur est une fonction de la latitude  $\varphi$ :

$$g_{0\varphi} = 9,806\ 16 (1 - 0,002\ 637\ 3 \cos 2\varphi + 0,000\ 005\ 9 \cos^2 2\varphi) \text{ [m}\cdot\text{s}^{-2}\text{]}$$

Les valeurs obtenues à partir de cette relation, ainsi que les températures et pressions au sol sont données dans le tableau 2. Pour la latitude 45° N, les valeurs de  $g_{0\varphi}$  et de  $r_\varphi$  sont tirées de l'ISO 2533.

**2.2 Équation d'équilibre statique et loi des gaz parfaits**

L'atmosphère, immobile par rapport à la Terre, est soumise à la pesanteur. La condition d'équilibre statique de l'air est déterminée par l'équation d'équilibre statique suivante, liant la pression de l'air  $p$ , la masse volumique  $\rho$ , l'accélération de la pesanteur  $g$  et l'altitude géométrique  $h$ :

$$- dp = \rho g dh$$

La loi des gaz parfaits lie la pression de l'air à la masse volumique et à la température, comme suit:

$$p = \frac{\rho R^* T}{M} \quad \dots (2)$$

Pour les altitudes considérées dans la présente Norme internationale,  $\frac{R^*}{M} = \text{constante} = R$ , d'où

$$p = \rho R T \quad \dots (3)$$

**2.3 Altitude géopotentielle et altitude géométrique; accélération de la pesanteur**

Dans l'étude de la répartition de la pression dans l'atmosphère, il convient d'introduire le potentiel de la force de la pesanteur ou le géopotential  $\Phi$  qui définit l'énergie potentielle d'une particule d'air située en un point donné.

Tout point de coordonnées  $x, y, z$  peut être caractérisé par une valeur unique du géopotential  $\Phi(x, y, z)$ . La surface représentée par l'équation  $\Phi(x, y, z) = \text{constante}$  a le même potentiel en tous les points et est appelée surface isopotentielle ou surface géopotentielle. Si l'on passe, suivant la normale extérieure, d'un point quelconque situé sur la surface  $\Phi_1$ , à un point infiniment voisin, sur une seconde surface, dont le géopotential est  $\Phi_2 = \Phi_1 + d\Phi$ , pour transférer l'unité de masse de la première surface à la seconde, il est nécessaire d'effectuer un travail

$$d\Phi = g(h)dh \quad \dots (4)$$

d'où, en intégrant,

$$\Phi = \int_0^h g(h)dh \quad \dots (5)$$

En divisant le géopotential  $\Phi$  par la valeur conventionnelle de l'accélération due à la pesanteur  $g_n$ , on obtient  $H$ , ayant les dimensions d'une longueur:

$$H = \frac{\Phi}{g_n} = \frac{1}{g_n} \int_0^h g(h)dh \quad \dots (6)$$

Exprimée en mètres, la grandeur  $H$  est, en valeur numérique, égale à l'altitude géopotentielle qui est mesurée, en météorologie, en mètres géopotentiels normaux; cette valeur sera donc dénommée « altitude géopotentielle ». Le niveau moyen de la mer est pris comme référence pour les lectures des altitudes géopotentielle et géométrique.

L'équation (6) montre que pour établir la correspondance existant entre l'altitude géopotentielle et l'altitude géométrique, il faut connaître la valeur de l'accélération due à la pesanteur  $g$  en fonction de l'altitude géométrique  $h$ .

On sait que la force de la pesanteur est la somme vectorielle de la force d'attraction terrestre et de la force centrifuge due à la

**Tableau 2 — Accélération de la pesanteur  $g_{0\varphi}$ , au niveau de la mer, rayon terrestre nominal  $r_\varphi$  tirés de l'équation [1] et température et pression au niveau de la mer, pour chaque modèle latitudinal et saisonnier**

Latitude $\varphi$	Accélération de la pesanteur $g_{0\varphi}$ , m·s <sup>-2</sup>	Rayon terrestre nominal $r_\varphi$ , km	Température $T$ , K		Pression $p$ , kPa, mbar	
			Décembre-janvier	Juin-juillet	Décembre-janvier	Juin-juillet
15°	9,783 81	6 337,84	299,650	299,650	1,013 250 × 10 <sup>3</sup>	1,013 250 × 10 <sup>3</sup>
30° N	9,793 24	6 345,65	283,150	297,150	1,020 500	1,014 000
45° N	9,806 65	6 356,77	272,650	291,150	1,018 000	1,013 500
60° N	9,819 11	6 367,10	256,150	282,150	1,013 000	1,010 200
80° N	9,830 51	6 376,56	248,950	276,650	1,013 800	1,012 000

rotation de la Terre; elle est donc une fonction compliquée de la latitude et de la distance radiale au centre de la Terre, et l'expression de l'accélération de la pesanteur est généralement peu pratique à l'utilisation. Toutefois, une tolérance peut être considérée pour la force centrifuge, avec une précision suffisante pour ces atmosphères de référence, en utilisant une valeur fictive ou nominale du rayon terrestre,  $r_\varphi$ , à chaque latitude. L'accélération de la pesanteur  $g_\varphi(h)$  peut être trouvée pour chaque latitude et altitude en utilisant  $r_\varphi$  avec l'accélération d'attraction newtonienne.

Dans ce cas,

$$g_\varphi(h) = g_{0\varphi} \left( \frac{r_\varphi}{r_\varphi + h} \right)^2 \quad \dots (7)$$

où

$r_\varphi$  est le rayon terrestre nominal à une latitude donnée figurant dans le tableau 2;

$g_{0\varphi}$  est l'accélération due à la pesanteur au niveau de la mer à la latitude  $\varphi$ .

Après intégration de l'équation (6), et en remplaçant  $g_\varphi(h)$  donné par l'équation (7), on obtient les relations suivantes, entre l'altitude géopotentielle et l'altitude géométrique:

$$H = \frac{r_\varphi h}{r_\varphi + h} \cdot \frac{g_{0\varphi}}{g_n} \quad \dots (8)$$

$$h = \frac{r_\varphi H}{\frac{g_{0\varphi}}{g_n} r_\varphi - H} \quad \dots (9)$$

Le rayon  $r_\varphi$  est une grandeur fictive, dont la signification peut être expliquée de la façon suivante: la force de pesanteur étant la somme vectorielle de la force d'attraction terrestre et de la force centrifuge due à la rotation de la Terre, présente un certain potentiel, le géopotential. Ce potentiel peut être remplacé par le potentiel d'une sphère homogène, non rotative, de telle sorte que la force d'attraction terrestre à la surface de la sphère soit égale à celle qui existe à la surface de la Terre, en grandeur et en direction.

Cette condition est remplie lorsque les dérivées partielles de  $g_\varphi$  par rapport à  $h$ , pour  $h = 0$  dans l'équation (7) et dans l'équation plus complexe (10) de la référence [1], sont égales.

$$g_\varphi(h) = g_{0\varphi} - (3,085\,462 \times 10^{-6} + 2,27 \times 10^{-9} \cos 2\varphi)h + (7,254 \times 10^{-13} + 1,0 \times 10^{-15} \cos 2\varphi)h^2 - (1,517 \times 10^{-19} + 6,0 \times 10^{-22} \cos 2\varphi)h^3, \quad \dots (10)$$

où  $h$  est exprimé en mètres et  $g$  en mètres par seconde carrée.

Les dérivées partielles de  $g_\varphi$  par rapport à  $h$ , pour  $h = 0$ , sont, à partir de l'équation (10):

$$\left( \frac{\partial g_\varphi}{\partial h} \right)_{h=0} = -3,085\,462 \times 10^{-6} - 2,27 \times 10^{-9} \cos 2\varphi \quad \dots (11)$$

et, à partir de l'équation (7):

$$\left( \frac{\partial g_\varphi}{\partial h} \right)_{h=0} = -\frac{2 g_{0\varphi}}{r_\varphi} \quad \dots (12)$$

En égalant les parties droites de (11) et (12), on obtient:

$$r_\varphi = g_{0\varphi} \frac{2}{3,085\,462 \times 10^{-6} + 2,27 \times 10^{-9} \cos 2\varphi} \quad \dots (13)$$

où  $r_\varphi$  est exprimé en mètres et  $g_{0\varphi}$  en mètres par seconde carrée.

Les valeurs de  $r_\varphi$  pour les latitudes des atmosphères sont données dans le tableau 2.

### 3 Modèles atmosphériques jusqu'à 80 km d'altitude

Les atmosphères de référence sont définies par les profils verticaux de température pour chaque latitude et chaque saison [voir chapitre 2, alinéa b]. Les distributions verticales de pression et de masse volumique ont été calculées à partir des profils de température-altitude, en utilisant l'équation d'équilibre statique (1) et la loi des gaz parfaits (3) définies au chapitre 2, ainsi que les valeurs moyennes appropriées des pressions au niveau de la mer. Les tableaux 3 à 15 des températures et des autres caractéristiques des atmosphères de référence sont donnés au chapitre 6. De brèves descriptions des variations de température et de masse volumique en fonction des saisons, des latitudes, des longitudes, et du jour sont données au chapitre 4.

#### 3.1 Modèle annuel pour la latitude 15°

Une atmosphère annuelle moyenne a été adoptée pour la latitude de 15°, du fait que les observations disponibles ont montré que la variation saisonnière des profils verticaux de température est relativement faible sous les tropiques. Un profil de température annuel moyen, représenté à la figure 1, est basé sur des observations faites à Ascension (8° S, 14° W), Natal (6° S, 35° W), Fort Sherman (9° N, 80° W), Kwajalein (9° N, 168° E), Antigua (17° N, 62° W), Guam (14° N, 145° E), Grand Turk (21° N, 71° W), et par les navires de recherche Voyeikov and Shokalsky (20° S).

Les caractéristiques typiques de la structure thermique de l'atmosphère tropicale sont données à la figure 1 et au tableau 3. Par exemple, en faisant systématiquement la moyenne des données mensuelles de température-altitude, on constate l'existence d'une couche isothermique d'environ 2 km d'épaisseur entre 15 et 18 km d'altitude. Un examen des observations journalières, révèle toutefois une nette inversion à la tropopause. Cette inversion, qui est une caractéristique de l'atmosphère tropicale, a été relevée et apparaît à 16,5 km, ce qui correspond à l'altitude moyenne annuelle de la tropopause à la latitude 15°.

L'altitude moyenne et le module de l'inversion du vent, qui caractérisent la structure de température entre 2 et 3 km, au-dessus des zones des océans tropicaux, ont été également inclus dans le profil de température-altitude correspondant à 15° de latitude.



### 3.2 Modèles saisonniers pour 30, 45, 60 et 80° N

Les profils de température-altitude pour les atmosphères moyennes, en décembre-janvier et en juin-juillet aux latitudes 30, 45, 60 et 80° N sont représentés à la figure 1 et au tableau 16. Ils sont basés sur les sections transversales de température-altitude représentées à la figure 2. Les distributions de températures représentées à la figure 2 pour des altitudes inférieures à 30 km sont dérivées des observations de routine par radiosondes. Les valeurs moyennes pour l'hémisphère Nord ont été calculées à différentes latitudes à partir des données disponibles<sup>[2]</sup> en donnant la même importance aux températures observées et interpolées, tous les 10 degrés de longitude. Les pressions initiales (valeurs au niveau de la mer pour chaque atmosphère) ont été obtenues à partir de relevés mensuels normaux<sup>[3, 4]</sup> dans l'hémisphère Nord.

Le domaine de températures, entre 30 et 50 km d'altitude, est basé sur des mesures météorologiques par fusées, effectuées dans les stations indiquées au tableau 7. L'instrumentation comprend principalement des télémètres portés par parachutes et munis de capteurs de température (thermistors ou fils de résistance). Les mesures par thermistors sont l'objet d'importantes corrections et incertitudes au-dessus de 50 km d'altitude. En conséquence, les données obtenues à l'aide de thermistors ne sont utilisées que pour des altitudes inférieures à 50 km. Les distributions de températures entre 50 et 80 km d'altitude sont principalement basées sur des essais à la grenade, ou avec chute d'une sphère et mesures de pressions effectués dans les stations indiquées au tableau 18.

On utilise des valeurs médianes plutôt que des valeurs moyennes, du fait que des distributions bimodales des températures ont lieu aux hautes latitudes en hiver, dans la stratosphère et la mésosphère supérieure. Pendant les autres saisons, les distributions sont pratiquement normales. Les dates d'observation dans l'hémisphère Sud ont été décalées de six mois, pour se conformer aux saisons dans l'hémisphère Nord.

### 3.3 Régimes stratosphérique et mésosphérique chauds et froids pour 60 et 80° N en décembre-janvier

Dans les régions arctiques et subarctiques, de brusques réchauffements et refroidissements de la stratosphère et de la mésosphère en hiver, provoquent d'importantes modifications de la structure verticale de l'atmosphère. Le module et l'altitude de la variation maximale de température pendant les plus importants réchauffements et refroidissements varient considérablement. Certaines des modifications les plus importantes ont été observées dans la stratosphère supérieure. La distribution des températures dans cette zone, en hiver, est bimodale, et les températures sont généralement bien plus basses ou bien plus élevées que la moyenne saisonnière. Par exemple, les températures relevées à 35 km d'altitude varient de 75 K en hiver, et de 20 K en été. En conséquence, les modèles atmosphériques moyens, mensuels ou saisonniers pour les mois d'hiver ont une valeur limitée pour spécifier les températures dans les régions arctiques et subarctiques, du fait que les variations de température d'un jour à l'autre, à différentes altitudes dans la stratosphère sont aussi importantes, ou plus importantes, que les variations saisonnières ou latitudinales.

Les profils verticaux de température, représentatifs des régimes stratosphériques froids et chauds se produisant sous 60 et 80° N en décembre et janvier, sont représentés à la figure 3 et au tableau 19. Les profils pour les modèles chauds et froids sous 60° N ont été établis à partir de températures relevées lors d'observations par radiosondes, fusées sondes et grenades, effectuées à Fort Greely, en Alaska (64° N, 146° W), à Fort Churchill, au Canada (59° N, 94° W) et à West Geirinish, en Ecosse (57° N, 7° W). Les modèles 80° N sont basés sur des observations faites à Heiss Island (81° N, 58° E).

Les régimes chauds sont arbitrairement définis comme étant des périodes où la température relevée à 45 km d'altitude est de  $267 \pm 2$  K, valeur qui est égale ou supérieure, dans 1, 5, 20 et 30 % des cas, aux températures relevées respectivement à Fort Greely, Fort Churchill, West Geirinish et Heiss Island.

Les régimes froids sont définis comme étant des périodes où la température relevée à 45 km d'altitude, sous 60° N est de  $223 \pm 2$  K, et celle relevée sous 80° N, de  $232 \pm 2$  K. La température de 223 K est égale ou supérieure, dans 98, 95 et 93 % des cas, aux températures relevées respectivement à West Geirinish, Fort Churchill et Fort Greely, et la température de 232 K est supérieure, dans 80 % des cas, aux températures relevées à Heiss Island (la température de 223 K est égale ou supérieure aux températures relevées à ce jour à Heiss Island dans 90 % des cas).

Une moyenne des sondages individuels de température effectués à Fort Churchill, Fort Greely, West Geirinish et Heiss Island satisfaisant aux exigences de température pour un modèle particulier d'atmosphère à 45 km d'altitude, a été effectuée, ce qui a permis d'obtenir un profil moyen de température-altitude, entre 8 et 80 km d'altitude. On a supposé que les conditions saisonnières moyennes se trouvaient à des altitudes inférieures à 9 km, du fait que les profils verticaux de température obtenus à ces altitudes n'étaient pas très différents de ceux correspondant aux conditions saisonnières moyennes aux latitudes 60 et 80° N. Les dates et les emplacements des sondages effectués pour l'établissement des modèles chauds et froids sont indiqués au tableau 20. En raison de la dispersion des résultats au-dessus de 30 km d'altitude dans les régions arctiques et subarctiques, les fréquences d'apparition des modèles chauds et froids aux divers emplacements constituent des estimations approximatives.

## 4 Variations dans le temps et dans l'espace

### 4.1 Variations saisonnières et latitudinales

Les températures mensuelles moyennes maximales et minimales entre la surface du sol et 80 km d'altitude ne se présentent pas à toutes les latitudes et altitudes, durant le même mois ou la même saison. En conséquence, les températures indiquées au tableau 21 pour les atmosphères de référence, en décembre-janvier et en juin-juillet, pour les latitudes 30, 45, 60 et 80° N ne représentent pas les températures saisonnières extrêmes à toutes les altitudes. Elles fournissent néanmoins une bonne indication de l'importance de la variation de la température en fonction des saisons et des latitudes à prévoir aux altitudes comprises entre la surface du sol et 80 km.



Cependant, les masses volumiques et les pressions saisonnières moyennes maximales et minimales entre la surface du sol et 80 km d'altitude se rencontrent généralement pendant les périodes juin-juillet et décembre-janvier, respectivement pour les latitudes comprises entre 30 et 80° N (tableau 22).

Aux endroits situés entre 30 et 80° N, les températures mensuelles moyennes maximales, aux altitudes inférieures à 25 km, se rencontrent généralement en juin ou juillet et les températures minimales, en décembre ou janvier. Cependant, dans la stratosphère supérieure, des cycles semi-annuels et biennaux compliquent le cycle annuel de température. L'amplitude du cycle annuel est plus grande au voisinage des pôles et décroît en direction de l'équateur. Les cycles semi-annuels et biennaux sont plus prononcés près de l'équateur et décroissent en direction des pôles. Les phases, ainsi que les amplitudes de ces oscillations de température, varient avec la latitude et l'altitude. Aux latitudes moyennes et élevées, les cycles annuels et semi-annuels tendent à faire disparaître les oscillations biennales.

Les observations montrent que les oscillations semi-annuelles produisent deux maxima et minima prononcés, à l'intérieur du cycle annuel de températures stratosphériques dans les régions tropicales et subtropicales. Au nord de 25° de latitude, la combinaison des composantes annuelle et semi-annuelle déplace parfois la période des températures maximales dans la stratosphère supérieure, au début de juin ou de mai, et celle des températures minimales, au début de décembre ou de novembre. Cependant, dans les cas où les températures stratosphériques mensuelles moyennes maximales se présentent en mai plutôt qu'en juin ou juillet, et où les températures minimales se présentent en novembre plutôt qu'en décembre ou janvier, les différences entre les températures relevées en mai et juin et celles relevées en novembre et décembre ne dépassent pas quelques degrés. Dans la mésosphère, aux altitudes supérieures à 60 – 65 km, les températures mensuelles moyennes maximales se rencontrent généralement en décembre ou janvier, et les températures minimales, en juin ou juillet. Une exception se produit à Heiss Island, où les températures maximales sont observées fin novembre et début décembre.

La distribution verticale des masses volumiques est représentée à la figure 4, pour l'atmosphère moyenne annuelle sous la latitude de 15°, et pour les atmosphères en décembre-janvier et juin-juillet sous 30, 45, 60 et 80° N, exprimée sous la forme d'écart, en pourcents, par rapport aux masses volumiques normalisées ISO. Les masses volumiques mensuelles moyennes maximales aux altitudes comprises entre 10 et 80 km et entre les latitudes 30 et 80° N, se rencontrent en juin ou juillet, et les valeurs minimales, en décembre ou janvier. À proximité du sol, les pressions sont généralement plus élevées en hiver et plus basses en été.

L'altitude de variation saisonnière minimale de masse volumique, au voisinage de 8 km, représente le premier niveau isopycnique, où la masse volumique reste sensiblement constante tout au long de l'année, quelle que soit la situation géographique. Les altitudes où la variation saisonnière et latitudinale de masse volumique et de pression est la plus élevée, sont compri-

ses entre 65 et 75 km, la variabilité étant plus élevée aux hautes latitudes.

## 4.2 Variations longitudinales

En été, les variations longitudinales dans la structure de l'atmosphère sont relativement faibles, sous toutes les latitudes, comparativement aux variations dues aux saisons et aux latitudes, pour des altitudes inférieures ou égales à 80 km. Les isothermes et courbes de niveau des diagrammes à pression constante dans la stratosphère et la mésosphère sont parallèles aux cercles de latitude et le modèle de circulation associé est symétrique par rapport aux pôles. Durant l'hiver, les variations longitudinales restent faibles aux basses latitudes, mais deviennent aussi importantes que les variations en fonction des latitudes et des saisons dans les régions arctiques et subarctiques<sup>[13]</sup>.

Aux latitudes comprises entre 60 et 80° N, les variations longitudinales dans les altitudes moyennes mensuelles des surfaces de pression, dans la mésosphère inférieure, sont supérieures à 2 500 m, les températures moyennes mensuelles varient de 15 à 20 K aux altitudes comprises entre 20 et 35 km, cependant que les masses volumiques moyennes mensuelles varient de 15 à 20 % aux altitudes comprises entre 40 et 60 km<sup>[14]</sup>. Ces différences montrent l'asymétrie longitudinale du modèle de circulation en hiver, aux hautes latitudes. L'anticyclone des Aléoutiennes et le déplacement de loi polaire en direction du continent eurasiatique sont d'importantes caractéristiques des modèles de circulation moyens mensuels jusqu'à au moins 80 km d'altitude, durant l'hiver dans l'hémisphère Nord<sup>[15]</sup>.

## 5 Fréquence de distributions des relevés de température et de masse volumique

Les distributions des températures et masses volumiques relevées autour des valeurs moyennes\*) pour décembre-janvier et juin-juillet sous 30, 45, 60 et 80° N et les moyennes annuelles sous 15° de latitude sont représentées respectivement aux tableaux 21 et 22, pour des altitudes inférieures ou égales à 80 km. Les valeurs moyennes, élevées et faibles, qui sont égales ou supérieures dans 1, 10 et 20 % des cas, sont données avec des accroissements d'altitude de 5 km. Les masses volumiques sont données en pourcentage des masses volumiques normalisées ISO. Les distributions pour des altitudes inférieures à 30 km ont été établies d'après des observations par radiosondes, effectuées dans l'hémisphère Nord, pour des altitudes supérieures, d'après des observations météorologiques et par fusées expérimentales aux endroits mentionnés aux tableaux 17 et 18.

Les données ne sont fournies que pour des altitudes inférieures ou égales à 50 km sous 15° de latitude, du fait que les observations sont insuffisantes pour établir les distributions de température et de masse volumique au-delà de 50 km dans les zones tropicales. L'exactitude des distributions décroît rapidement au-delà de 50 km d'altitude, du fait que les données sont relativement clairsemées et que les erreurs dues aux instruments de mesure sont relativement importantes.

\*) La valeur moyenne est le pourcentage de 50 %.

6 Tableaux des caractéristiques des atmosphères de référence

NOTE — Un nombre de un ou de deux chiffres (précédé du signe + ou -), placé à la suite de chaque valeur de pression et de masse volumique, indique la puissance de 10 qui doit multiplier toutes ces valeurs.

Tableau 3 — Valeurs moyennes annuelles des caractéristiques sous 15° de latitude

<i>h</i>	<i>H</i>	<i>T</i>	<i>t</i>	<i>p</i>		<i>ρ</i>	
m	m	K	°C	hPa, mbar		kg·m <sup>-3</sup>	
0	0	299,650	26,50	1,013 250	03	1,177 987	00
1 000	998	293,665	21,52	9,032 869	02	1,071 548	00
2 000	1 995	287,682	14,53	8,033 849	02	9,728 581	-01
3 000	2 992	283,656	10,50	7,132 021	02	8,759 075	-01
4 000	3 988	276,979	5,83	6,316 301	02	7,944 263	-01
5 000	4 984	270,304	-1,15	5,577 544	02	7,188 330	-01
6 000	5 980	263,632	-9,52	4,910 097	02	6,488 298	-01
7 000	6 976	256,961	-16,19	4,308 599	02	5,841 269	-01
8 000	7 971	250,292	-22,86	3,767 974	02	5,244 434	-01
9 000	8 966	243,626	-29,52	3,283 418	02	4,695 060	-01
10 000	9 961	236,961	-36,19	2,850 398	02	4,190 503	-01
12 000	11 949	223,639	-49,51	2,122 104	02	3,305 654	-01
14 000	13 937	210,325	-62,82	1,551 827	02	2,570 343	-01
16 000	15 923	197,019	-76,13	1,112 046	02	1,966 313	-01
18 000	17 907	198,779	-74,37	7,864 157	01	1,378 225	-01
20 000	19 891	206,713	-66,44	5,629 715	01	9,487 626	-02
22 000	21 873	214,641	-58,51	4,082 017	01	6,625 209	-02
24 000	23 854	218,858	-54,59	2,987 766	01	4,755 795	-02
26 000	25 833	222,817	-50,33	2,199 570	01	3,438 964	-02
28 000	27 812	226,774	-46,38	1,628 370	01	2,501 488	-02
30 000	29 789	230,728	-42,42	1,212 014	01	1,829 974	-02
32 000	31 765	236,092	-37,06	9,075 227	00	1,339 103	-02
34 000	33 740	241,621	-31,53	6,842 101	00	9,864 886	-03
36 000	35 713	247,147	-26,00	5,192 440	00	7,319 035	-03
38 000	37 686	252,670	-20,48	3,965 297	00	5,467 150	-03
40 000	39 657	258,188	-14,96	3,046 371	00	4,110 401	-03
42 000	41 626	262,728	-10,82	2,352 931	00	3,119 903	-03
44 000	43 595	267,059	-6,09	1,825 355	00	2,381 105	-03
46 000	45 562	271,387	-1,76	1,422 088	00	1,825 475	-03
48 000	47 528	272,350	-0,80	1,111 163	00	1,421 309	-03
50 000	49 493	272,350	-0,80	8,684 371	-01	1,110 834	-03
52 000	51 457	271,254	-1,90	6,787 593	-01	8,717 218	-04
54 000	53 419	266,544	-6,61	5,289 756	-01	6,913 604	-04
56 000	55 380	261,009	-12,14	4,103 663	-01	5,477 140	-04
58 000	57 340	255,129	-18,02	3,165 824	-01	4,322 791	-04
60 000	59 299	249,253	-23,90	2,427 992	-01	3,393 472	-04
62 000	61 256	242,753	-30,40	1,850 269	-01	2,655 271	-04
64 000	63 213	235,906	-37,24	1,399 430	-01	2,066 572	-04
66 000	65 168	229,063	-44,09	1,049 963	-01	1,596 823	-04
68 000	67 121	222,786	-50,36	7,812 449	-02	1,221 626	-04
70 000	69 074	216,928	-56,22	5,767 794	-02	9,262 593	-05
72 000	71 025	211,074	-62,08	4,223 868	-02	6,971 309	-05
74 000	72 976	205,223	-67,93	3,066 854	-02	5,206 007	-05
76 000	74 925	203,225	-69,92	2,213 526	-02	3,794 413	-05
78 000	76 872	201,278	-71,87	1,592 946	-02	2,757 042	-05
80 000	78 819	199,331	-73,82	1,142 926	-02	1,997 473	-05

Tableau 4 – Valeurs moyennes des caractéristiques en décembre-janvier sous 30° de latitude Nord

<i>h</i>	<i>H</i>	<i>T</i>	<i>t</i>	<i>p</i>		$\rho$	
m	m	K	°C	hPa, mbar		kg·m <sup>-3</sup>	
0	0	283,150	10,00	1,020 500	03	1,255 552	00
1 000	998	281,652	8,50	9,043 877	02	1,118 611	00
2 000	1 997	280,155	7,00	8,010 013	02	9,960 310	-01
3 000	2 994	273,785	0,63	7,082 381	02	9,011 710	-01
4 000	3 992	267,401	-5,75	6,244 260	02	8,134 969	-01
5 000	4 989	261,019	-12,13	5,488 819	02	7,325 630	-01
6 000	5 986	254,639	-18,51	4,809 595	02	6,579 944	-01
7 000	6 983	248,261	-24,89	4,200 502	02	5,894 291	-01
8 000	7 979	241,884	-31,27	3,655 799	02	5,265 173	-01
9 000	8 975	235,510	-37,64	3,170 092	02	4,689 215	-01
10 000	9 971	229,138	-44,01	2,738 311	02	4,163 165	-01
12 000	11 961	216,400	-56,75	2,017 829	02	3,248 372	-01
14 000	13 950	212,250	-60,90	1,469 359	02	2,411 675	-01
16 000	15 938	208,274	-64,88	1,063 783	02	1,779 327	-01
18 000	17 925	207,150	-66,00	7,667 844	01	1,289 515	-01
20 000	19 910	210,970	-62,18	5,542 683	01	9,152 460	-02
22 000	21 894	214,938	-52,21	4,031 617	01	6,534 376	-02
24 000	23 877	218,904	-54,25	2,950 204	01	4,695 014	-02
26 000	25 858	222,495	-50,66	2,170 892	01	3,399 035	-02
28 000	27 839	226,060	-47,09	1,605 556	01	2,474 229	-02
30 000	29 818	229,622	-45,53	1,193 281	01	1,810 366	-02
32 000	31 796	233,183	-39,97	8,910 929	00	1,331 266	-02
34 000	33 773	236,741	-36,41	6,685 021	00	9,837 124	-03
36 000	35 748	241,520	-31,63	5,040 774	00	7,270 803	-03
38 000	37 722	246,456	-26,69	3,823 344	00	5,404 346	-03
40 000	39 695	251,388	-21,76	2,916 373	00	4,041 448	-03
42 000	41 667	256,317	-16,83	2,236 656	00	3,039 905	-03
44 000	43 637	261,243	-11,91	1,724 332	00	2,299 398	-03
46 000	45 606	266,166	-6,98	1,336 047	00	1,748 667	-03
48 000	47 574	269,650	-3,50	1,040 365	00	1,344 075	-03
50 000	49 541	269,650	-3,50	8,111 550	-01	1,047 952	-03
52 000	51 507	265,732	-7,42	6,331 020	-01	8,299 806	-04
54 000	53 471	260,625	-12,52	4,896 510	-01	6,544 986	-04
56 000	55 434	255,521	-17,63	3,777 460	-01	5,150 029	-04
58 000	57 396	250,420	-22,73	2,899 100	-01	4,032 813	-04
60 000	59 357	245,323	-27,83	2,213 370	-01	3,143 082	-04
62 000	61 316	240,228	-32,92	1,080 647	-01	2,437 199	-04
64 000	63 274	235,137	-38,01	1,268 919	-01	1,879 963	-04
66 000	65 231	230,049	-43,10	9,522 370	-02	1,441 992	-04
68 000	67 187	224,964	-48,19	7,101 800	-02	1,099 749	-04
70 000	69 142	219,882	-53,27	5,261 760	-02	8,336 456	-05
72 000	71 095	215,241	-57,91	3,873 080	-02	6,268 586	-05
74 000	73 047	210,947	-62,20	2,833 610	-02	4,679 558	-05
76 000	74 998	206,655	-66,50	2,059 990	-02	3,472 637	-05
78 000	76 948	202,365	-70,78	1,487 932	-02	2,561 462	-05
80 000	78 896	198,079	-75,07	1,067 686	-02	1,877 773	-05

Tableau 5 – Valeurs moyennes des caractéristiques en juin-juillet sous 30° de latitude Nord

<i>h</i>	<i>H</i>	<i>T</i>	<i>t</i>	<i>p</i>		<i>ρ</i>	
m	m	K	°C	hPa, mbar		kg·m <sup>-3</sup>	
0	0	297,150	24,00	1,014 000	03	1,188 777	00
1 000	998	292,657	19,51	9,032 389	02	1,075 182	00
2 000	1 997	288,165	15,01	8,031 678	02	9,709 637	-01
3 000	2 994	282,183	9,03	7,126 716	02	8,798 254	-01
4 000	3 992	276,198	3,05	6,307 772	02	7,955 980	-01
5 000	4 989	270,215	-2,93	5,568 245	02	7,178 729	-01
6 000	5 986	264,233	-8,92	4,901 913	02	6,462 735	-01
7 000	6 983	258,254	-14,90	4,302 921	02	5,804 369	-01
8 000	7 979	252,276	-20,87	3,765 769	02	5,200 150	-01
9 000	8 975	245,325	-27,82	3,284 424	02	4,663 963	-01
10 000	9 971	238,356	-34,79	2,853 462	02	4,170 466	-01
12 000	11 961	224,423	-48,73	2,126 718	02	3,301 264	-01
14 000	13 950	210,499	-62,65	1,555 791	02	2,574 770	-01
16 000	15 938	206,650	-66,50	1,120 965	02	1,889 708	-01
18 000	17 925	209,054	-64,10	8,078 713	01	1,346 239	-01
20 000	19 910	214,216	-58,93	5,863 399	01	9,535 340	-02
22 000	21 894	219,374	-53,78	4,288 995	01	6,810 950	-02
24 000	23 877	222,465	-50,68	3,156 591	01	4,943 040	-02
26 000	25 858	225,438	-47,71	2,333 098	01	3,605 326	-02
28 000	27 839	228,408	-44,74	1,731 603	01	2,641 037	-02
30 000	29 818	232,113	-41,04	1,290 625	01	1,937 039	-02
32 000	31 796	236,860	-36,29	9,674 904	00	1,422 960	-02
34 000	33 773	241,604	-31,55	7,295 464	00	1,051 930	-02
36 000	35 748	246,345	-26,80	5,532 453	00	7,823 695	-03
38 000	37 722	251,083	-22,07	4,218 382	00	5,852 837	-03
40 000	39 695	255,818	-17,33	3,233 311	00	4,403 055	-03
42 000	41 667	260,550	-12,60	2,490 793	00	3,330 307	-03
44 000	43 637	265,279	-7,87	1,928 131	00	2,532 043	-03
46 000	45 606	270,006	-3,14	1,499 575	00	1,934 788	-03
48 000	47 574	273,350	0,20	1,171 338	00	1,492 798	-03
50 000	49 541	273,350	0,20	9,160 719	-01	1,167 478	-03
52 000	51 507	271,982	-1,17	7,164 314	-01	9,176 418	-04
54 000	53 471	266,678	-6,47	5,584 194	-01	7,294 768	-04
56 000	55 434	261,378	-11,77	4,331 538	-01	5,773 137	-04
58 000	57 396	256,081	-17,07	3,342 986	-01	4,547 745	-04
60 000	59 357	250,787	-22,36	2,566 539	-01	3,565 178	-04
62 000	61 316	243,785	-29,36	1,958 440	-01	2,798 599	-04
64 000	63 274	235,953	-37,20	1,481 758	-01	2,187 714	-04
66 000	65 231	228,125	-45,02	1,110 795	-01	1,696 288	-04
68 000	67 187	220,302	-52,85	8,245 235	-02	1,303 836	-04
70 000	69 142	212,484	-60,67	6,055 874	-02	9,928 629	-05
72 000	71 095	207,079	-66,07	4,402 212	-02	7,405 810	-05
74 000	73 047	203,565	-69,58	3,181 313	-02	5,444 279	-05
76 000	74 998	200,054	-73,10	2,286 524	-02	3,981 684	-05
78 000	76 948	196,544	-76,61	1,634 168	-02	2,896 502	-05
80 000	78 896	193,037	-80,11	1,161 134	-02	2,095 460	-05

Tableau 6 — Valeurs moyennes des caractéristiques en décembre-janvier sous 45° de latitude Nord

$h$	$H$	$T$	$t$	$p$		$\rho$	
m	m	K	°C	hPa, mbar		kg·m <sup>-3</sup>	
0	0	272,650	-0,50	1,018 000	03	1,300 710	00
1 000	1 000	268,651	-4,50	8,972 965	02	1,163 553	00
2 000	1 999	264,653	-8,50	7,894 410	02	1,039 158	00
3 000	2 999	260,656	-12,49	6,932 257	02	9,265 002	-01
4 000	3 997	254,665	-18,48	6,072 291	02	8,306 561	-01
5 000	4 996	248,674	-24,48	5,302 482	02	7,428 269	-01
6 000	5 994	242,684	-30,47	4,615 185	02	6,625 005	-01
7 000	6 992	236,696	-36,45	4,003 243	02	5,891 946	-01
8 000	7 990	230,710	-42,44	3,459 967	02	5,224 480	-01
9 000	8 987	224,726	-48,42	2,979 117	02	4,618 188	-01
10 000	9 984	218,744	-54,41	2,554 879	02	4,068 852	-01
12 000	11 977	217,859	-55,29	1,870 175	02	2,990 506	-01
14 000	13 969	217,062	-56,09	1,367 674	02	2,195 008	-01
16 000	15 960	216,266	-56,88	9,992 378	01	1,609 602	-01
18 000	17 949	215,470	-57,68	7,293 541	01	1,179 204	-01
20 000	19 937	215,450	-57,70	5,321 437	01	8,604 398	-02
22 000	21 924	215,450	-57,70	3,883 336	01	6,279 089	-02
24 000	23 910	215,450	-57,70	2,834 438	01	4,583 091	-02
26 000	25 894	215,450	-57,70	2,069 257	01	3,345 847	-02
28 000	27 877	215,450	-57,70	1,510 942	01	2,443 089	-02
30 000	29 859	219,726	-53,42	1,106 675	01	1,754 596	-02
32 000	31 840	224,281	-48,87	8,159 176	00	1,267 334	-02
34 000	33 819	228,834	-44,32	6,053 611	00	9,215 780	-03
36 000	35 797	233,623	-39,53	4,518 989	00	6,738 512	-03
38 000	37 774	238,763	-34,39	3,395 100	00	4,953 632	-03
40 000	39 750	243,900	-29,25	2,566 753	00	3,666 157	-03
42 000	41 724	249,033	-24,12	1,952 186	00	2,730 876	-03
44 000	43 698	254,164	-18,99	1,493 329	00	2,046 823	-03
46 000	45 670	259,291	-13,86	1,148 646	00	1,543 253	-03
48 000	47 640	262,750	-10,40	8,879 803	-01	1,177 331	-03
50 000	49 610	262,750	-10,40	6,873 676	-01	9,113 484	-04
52 000	51 578	261,825	-11,32	5,320 918	-01	7,079 676	-04
54 000	53 545	258,678	-14,47	4,110 013	-01	5,535 059	-04
56 000	55 511	255,532	-17,62	3,165 179	-01	4,315 095	-04
58 000	57 476	252,389	-20,76	2,430 079	-01	3,354 193	-04
60 000	59 439	249,248	-23,90	1,859 846	-01	2,599 465	-04
62 000	61 401	245,408	-27,74	1,418 451	-01	2,013 559	-04
64 000	63 362	241,290	-31,86	1,077 094	-01	1,555 081	-04
66 000	65 322	237,174	-35,98	8,141 625	-02	1,195 864	-04
68 000	67 280	233,061	-40,09	6,125 179	-02	9,155 594	-05
70 000	69 238	228,951	-44,20	4,585 691	-02	6,977 505	-05
72 000	71 194	224,843	-48,31	3,415 810	-02	5,292 389	-05
74 000	73 148	220,738	-52,41	2,531 081	-02	3,994 538	-05
76 000	75 102	216,636	-56,51	1,865 337	-02	2,999 616	-05
78 000	77 055	212,536	-60,61	1,366 971	-02	2,240 608	-05
80 000	79 006	208,438	-64,71	9,959 045	-03	1,664 481	-05