

1 L' ATMOSPHERE

1.1 CONSTITUTION DE L'ATMOSPHERE

L'enveloppe gazeuse de la terre, environnement dans lequel la vie subsiste, correspond à la "sphère" la plus dynamique et instable de cette planète. Ce milieu contrôle la distribution de l'énergie à la surface du globe, et beaucoup de transformations chimiques, en particulier d'origine photochimique, surviennent à ce niveau. De plus, c'est là que s'effectuent les échanges de matière (et d'énergie) avec le reste du système solaire et l'espace en général. D'autre part, il est en contact très étroit avec les océans, la biosphère terrestre et la lithosphère, et fonctionne comme un milieu de transfert de matières d'une sphère à l'autre.

Tableau 1.1 Composition de l'atmosphère au niveau du sol (d'après Junge, 1963; Andrews et al., 1966; rapport IPCC 2001).

| Gaz | Concentration % ou ppm | Temps de Résidence |
|--|------------------------------------|-------------------------------|
| Azote (N₂) | 78.084% | – |
| Oxygène (O₂) | 20.946% | – |
| Argon (Ar) | 0.934% | – |
| Eau (H₂O) | (0.4 to 400) × 10 ² ppm | 10 jours |
| Dioxyde de Carbone (CO₂) | 370 ppm (280 ppm)* | 4 ans |
| Néon (Ne) | 18.18 ppm | – |
| Hélium (He) | 5.24 ppm | ~2·10 ⁶ ans |
| Méthane (CH₄) | 1.75 ppm (0.7 ppm)** | ~10 ans |
| Krypton (Kr) | 1.14 ppm | – |
| Hydrogène (H₂) | 0.4 to 1.0 ppm (??) | – |
| Xénon (Xe) | 0.087 ppm | – |

* Valeur au 01/01/2001 (valeur pré-industrielle entre parenthèses)

** Valeur au 01/01/2001 (valeur pré-industrielle entre parenthèses)

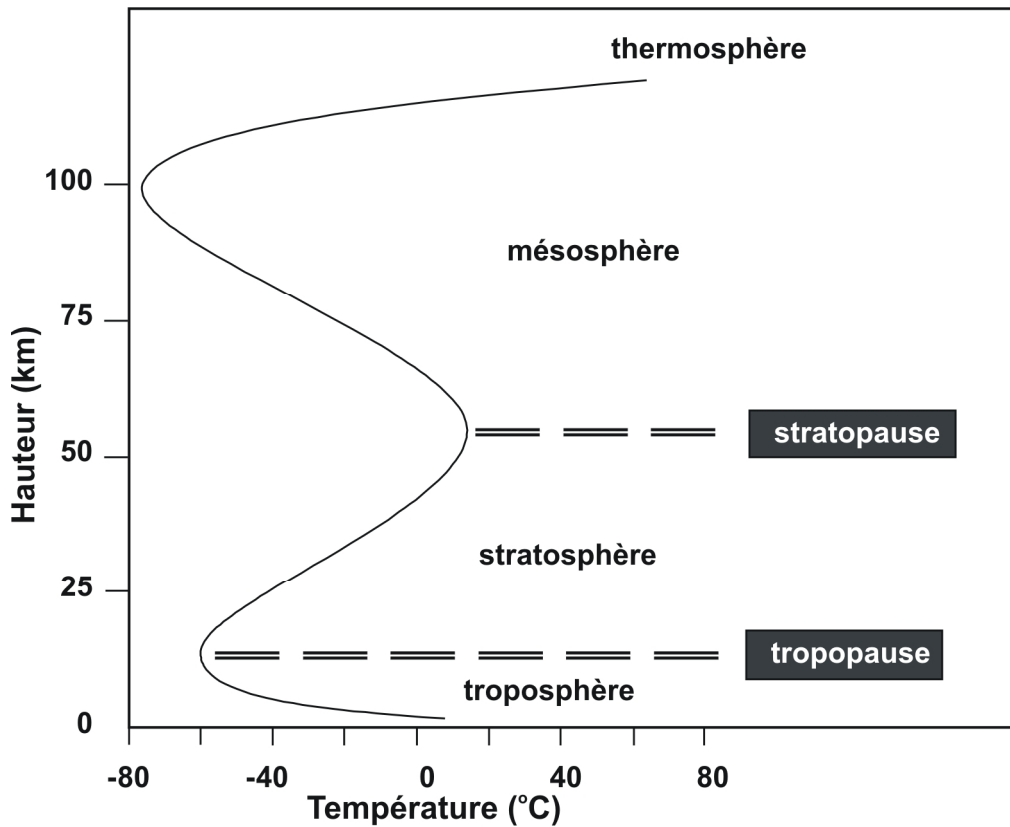


Fig.1.1 Profil vertical de température dans l'atmosphère, délimitant l'étendue de la troposphère, la stratosphère et la mésosphère. Un profil moyen est indiqué. Des données relatives à des sites particuliers, peuvent être légèrement différentes spatialement ou saisonnièrement.

La composition de l'atmosphère est indiquée dans le tableau 1.1. L'azote, l'oxygène et l'argon en constituent la majeure partie. En pourcentage, le volume de ces gaz, reste constant dans l'atmosphère jusqu'à une hauteur voisine de 100 km. Cependant, à l'échelle des temps géologiques, la quantité d'oxygène n'est pas restée constante, ce gaz étant impliqué dans les processus du monde vivant et d'autres interactions chimiques.

Parmi les gaz les moins abondants, les gaz nobles, Ne, He, Kr et Xe apparaissent aussi en quantité bien déterminée. D'autres gaz mineurs, parmi lesquels les principaux sont le dioxyde de carbone, la vapeur d'eau, le méthane, l'oxyde nitreux et l'hydrogène, montrent des concentrations variables dans l'espace et dans le temps. La vapeur d'eau est l'exemple extrême, avec un écart atteignant trois ordres de grandeur. Pour un constituant, la variabilité indique un temps de résidence court dans l'atmosphère, résultant de la prépondérance des termes sources (et vidange) par rapport aux quantités accumulées et les taux de transport et de mélange (Junge, 1963).

Les sources et origines de la plupart des composants gazeux se situent à la surface de la terre ou de la mer, souvent par l'intermédiaire de la biosphère et de l'activité biologique. C'est le

cas pour le dioxyde de carbone, l'oxygène et la vapeur d'eau, comme la plupart des gaz d'origine anthropique et les gaz à effet de serre tel le méthane (CH_4). Toutefois, la vapeur d'eau apparaît comme le seul gaz pour qui un changement de phase intervient dans un intervalle de température qui est celui de (la basse) atmosphère elle même; ceci se traduit par une chute, sous l'effet de la condensation, au sein de la colonne d'air et un temps de résidence court par rapport aux taux de mélange et de transport dans l'atmosphère. La répartition verticale massique dans l'atmosphère est fondamentalement contrôlée par la gravité et décrite par $p_z = p_0 \exp(-z/H)$ où p_0 et p_z sont les pressions au niveau du sol et à l'altitude z , respectivement; H représente l'échelle des hauteurs, environ 8.4 km dans la basse troposphère. La distribution verticale des températures indiquée sur la Fig.1.1 contrôle le mouvement vertical et divise l'atmosphère en sphères discontinues.

Dans la basse atmosphère, la troposphère, une convection notable, commandée par le réchauffement de la surface de la terre sous l'effet de l'absorption des radiations solaires, provoque un mélange de la colonne d'air. La convection thermique est réduite à une hauteur d'environ 8 à 15 km, lorsque la diminution de la température se réduit, dans la zone appelée *tropopause*. A une hauteur d'environ 15 à 25 km, l'atmosphère est de plus chauffée par l'absorption du rayonnement UV. Cette augmentation de température avec l'altitude donne une stabilité à cette partie de l'atmosphère, *la stratosphère*, s'opposant aux mouvements verticaux.

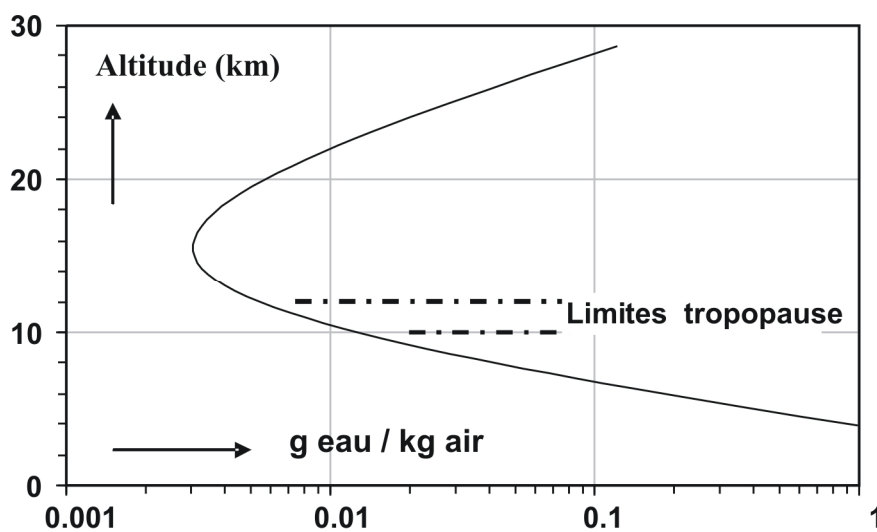


Fig.1.2 Profil vertical d'humidité, exprimée en rapport de mélange de la vapeur dans l'atmosphère en fonction de l'altitude. Profil moyen d'après Junge (1963).

La distribution verticale de la teneur en vapeur d'eau dans l'atmosphère (Fig.1.2) est aussi essentiellement contrôlée par la température. Toutefois, dans la mesure où l'origine et les réservoirs d'eau se trouvent dans la troposphère et sa limite inférieure, et que le temps de

résidence de l'eau est court comparé aux taux de mélange de l'air, on observe une quantité d'eau très variable dans la basse atmosphère, à la fois dans l'espace et dans le temps. Le déplacement horizontal dans l'atmosphère résulte essentiellement de la révolution de la terre et s'effectue suivant des tranches de latitude. Cependant, il est modifié par les champs de pression différentielles qui réagissent au réchauffement irrégulier de la surface et leurs déplacements convectifs associés.

Les temps de résidence caractéristiques dans l'atmosphère sont indiqués dans le Tableau 1.1. On se trouve dans des systèmes turbulents où la diffusion moléculaire n'est pas le processus dominant, excepté dans la haute atmosphère, l'*exosphère*, où l'atmosphère se raréfie et vers la limite inférieure, près de la surface du sol où le déplacement turbulent disparaît. Ceci a des conséquences lointaines si on considère le terme source des gaz au dessus de la mer.

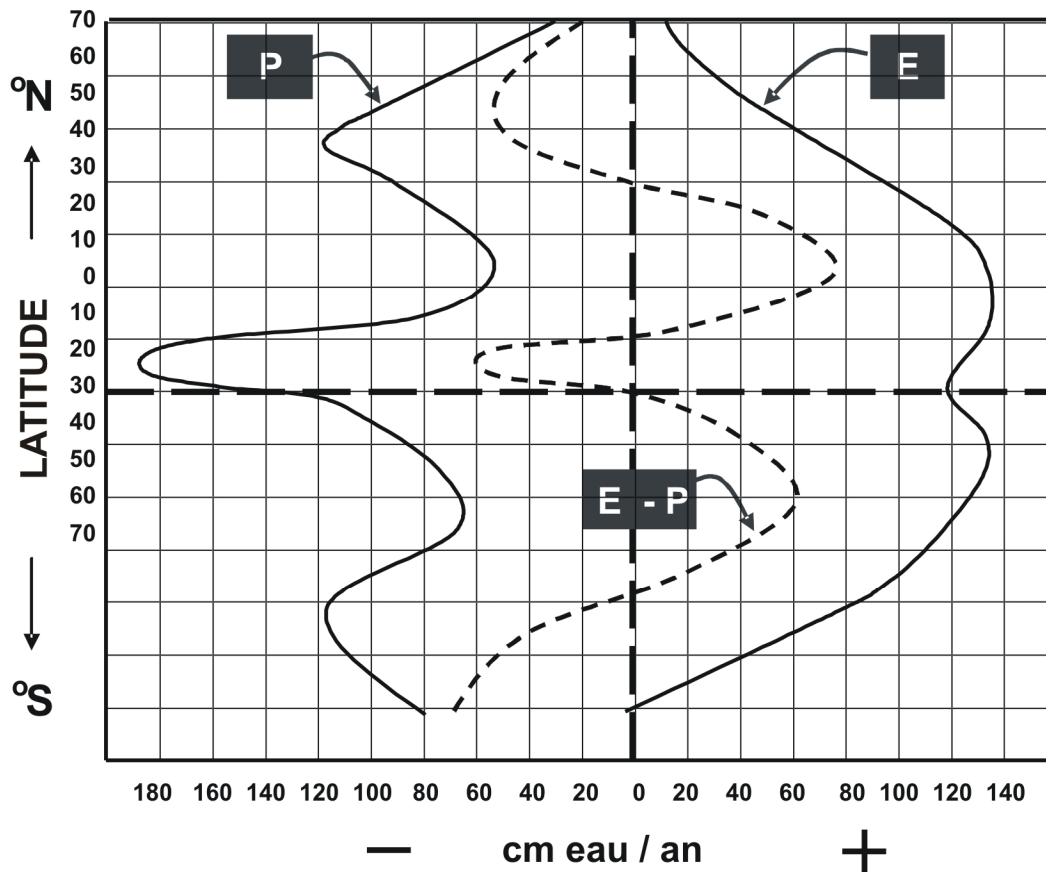


Fig.1.3 Distribution géographique du bilan évaporation/précipitation.

1.2 HUMIDITE ATMOSPHERIQUE

L'humidité atmosphérique représente seulement environ 10^{-5} de la masse d'eau océanique, cette dernière étant elle-même très proche de la quantité d'eau totale à la surface de la terre (voir Volume I, Chapitre 1). La quantité d'eau dans les différentes parties de l'atmosphère est d'abord contrôlée par la température, comme indiqué plus haut. Toutefois, le flux annuel à

travers l'atmosphère est environ 40 fois plus grand que le stock atmosphérique total. Ceci explique le rôle prédominant de l'atmosphère dans le cycle de l'eau, même si la quantité d'eau qu'elle contient est toujours faible. Le temps de résidence de l'eau dans l'atmosphère, d'environ 10 jours, est faible par rapport aux temps de mélange (Table 1.1), de telle sorte qu'on observe une grande variabilité des quantités d'eau dans la basse atmosphère, à la fois dans l'espace et dans le temps. En première approximation le rapport évaporation sur précipitation (E/P) est proche de la valeur 1, en considérant une moyenne latitudinale. La répartition géographique de ces paramètres (Fig.1.3) individualise les régions à source océanique avec $E/P > 1$ et les réservoirs où $E/P \ll 1$, sur une base annuelle. Cependant, un examen plus précis du bilan continental, par exemple celui de Benton et Estoque (1954) sur le continent Nord Américain, laisse apparaître un léger excès de E par rapport à P en été, manifestation due à l'eau stockée dans le sol au cours des mois plus froids.

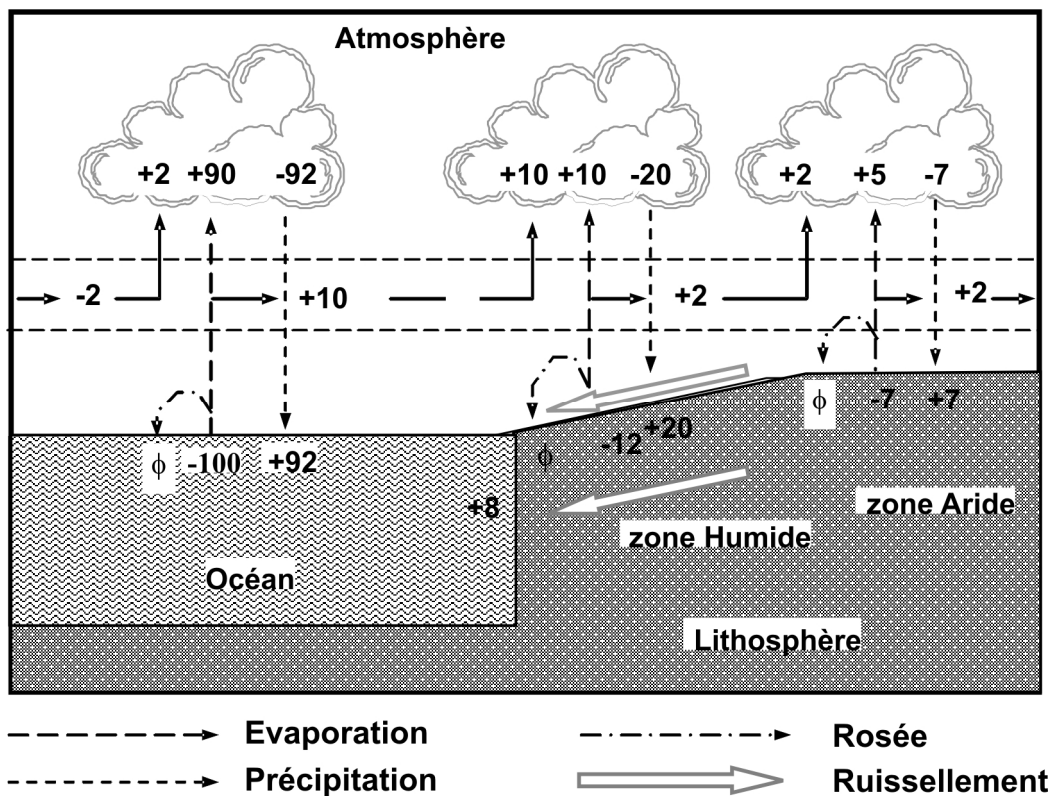


Fig.1.4 Partie atmosphérique du cycle hydrologique. Les Unités se rapportent aux flux relatifs par rapport au taux d'évaporation de l'océan choisi arbitrairement à 100 unités; ϕ est une petite partie du flux (d'après Chow, 1964, modifié).

Si on considère une moyenne à l'échelle du globe, l'évaporation est d'environ 1 m/a, avec un taux d'évaporation de 1250 mm/a dans les régions océaniques et 410 mm/a dans les régions continentales (Budyko, 1962). Une représentation schématique de la partie atmosphérique du cycle de l'eau est donnée sur la Fig.1.4.

