

① Chap 5 III Equations du T.R.
III. Équation générale du transfert radiatif

Bilan de luminosité spectrale

- x absorption k_{br}
- x diffusion thermique k_r
- x diffusion k_{scatt}

Sans source $\frac{dL_\nu(\mathbf{P}, \vec{u})}{ds} = -k_\nu^{ext}(\mathbf{P})(L_\nu(\mathbf{P}, \vec{u}) - J(\mathbf{P}, \vec{u}))$

cf Beer Lambert

Avec source : ajoutée J_ν $\left\{ \begin{array}{l} \text{émission} \\ \text{diffusion} \end{array} \right.$

$$\frac{dL_\nu}{ds} = -k_\nu^{ext} [L_\nu - J_\nu]$$

② Forme de la fonction source

• sans diffusion : émission

$$h_{\text{ext}} J_V = \underbrace{h_{\text{abs}}}_V J_V = \epsilon_V B_V(T)$$

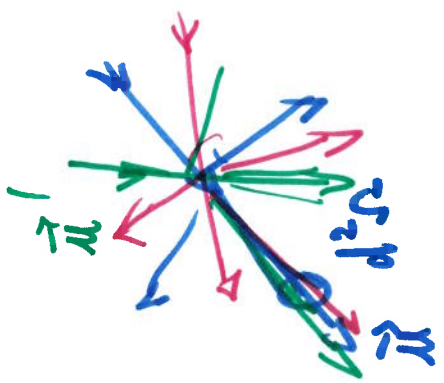
Kirchhoff

$$J_V^{\text{ther}} = B_V(T)$$

• sans émission ni absorption : diffusion

$$h_{\text{ext}} J_V = \cancel{h_{\text{scat}}} J_V = \iint_{4\pi} L_V(\vec{u}') \frac{\partial \sigma}{\partial \Omega}(\vec{u}' \rightarrow \vec{u}) \cancel{h_{\text{scat}}} d^2\Omega'$$

σ_{scat}



$$\frac{\partial \sigma}{\partial \Omega} = \sigma_{\text{scat}} \rho(\vec{u}' \rightarrow \vec{u})$$

$$h_{\text{scat}} = \sigma_{\text{scat}} h_{\text{ext}}$$

$$J_V^{\text{diff}} = \iint_{4\pi} L_V(\vec{u}') \rho(\vec{u}' \rightarrow \vec{u}) d^2\Omega'$$

③ Cas général

$$\omega_s = \frac{k_{scatt}}{k_{scatt} + k_{abs}} = \frac{k_{scatt}}{k_{ext}}$$

$$J_v = k_{ext} J_v^{th.} + k_{ext} J \sqrt{\beta_{catt.}}$$

$$k_{abs} \quad B_v \quad k_{scatt} \quad \int_{4\pi} L(\vec{\omega}') \rho(\vec{\omega}' \rightarrow \vec{\omega}) d^3\Omega'$$

$$J_v = \left(\frac{k_{abs}}{k_{ext}} \right) B_v + \left(\frac{k_{scatt}}{k_{ext}} \right) \dots$$

$$\frac{dL_v}{d\Omega} = -k_{ext} [L_v - J_v]$$

1 - ω_s

ω_s

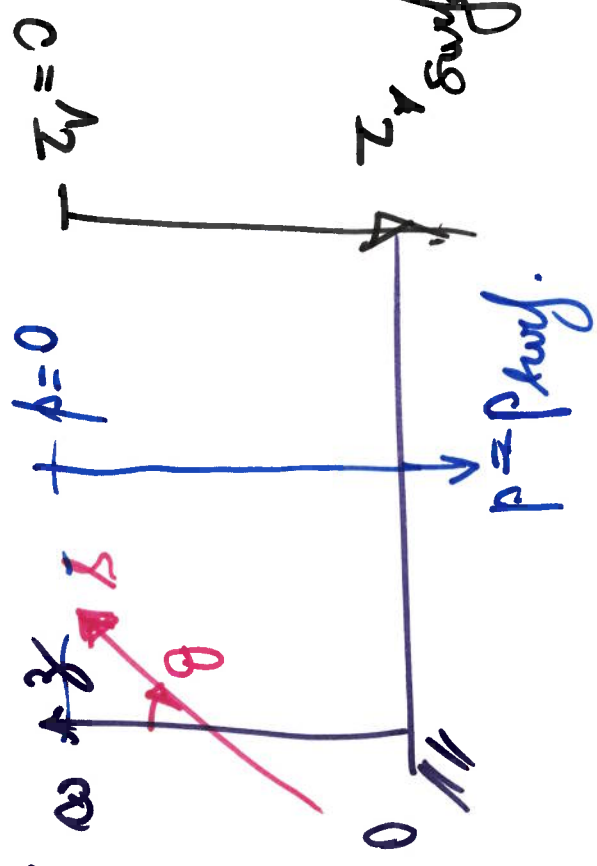
$$J_v(\vec{r}, \vec{\omega}) = (1 - \omega_s) B_v(T) + \omega_s \int_{4\pi} L(\vec{r}, \vec{\omega}') \rho(\vec{\omega}' \rightarrow \vec{\omega}) d^3\Omega'$$

émission

diffusion

(4) III-3 Équation du TR en coordonnées Z_V

dans plan // $\omega \rightarrow z$ θ $p = \rho_s \theta$ $i_i > 0$ $s_i \uparrow \downarrow$



Z_V vers le bas

étiquette $z = \infty$ $p = 0$

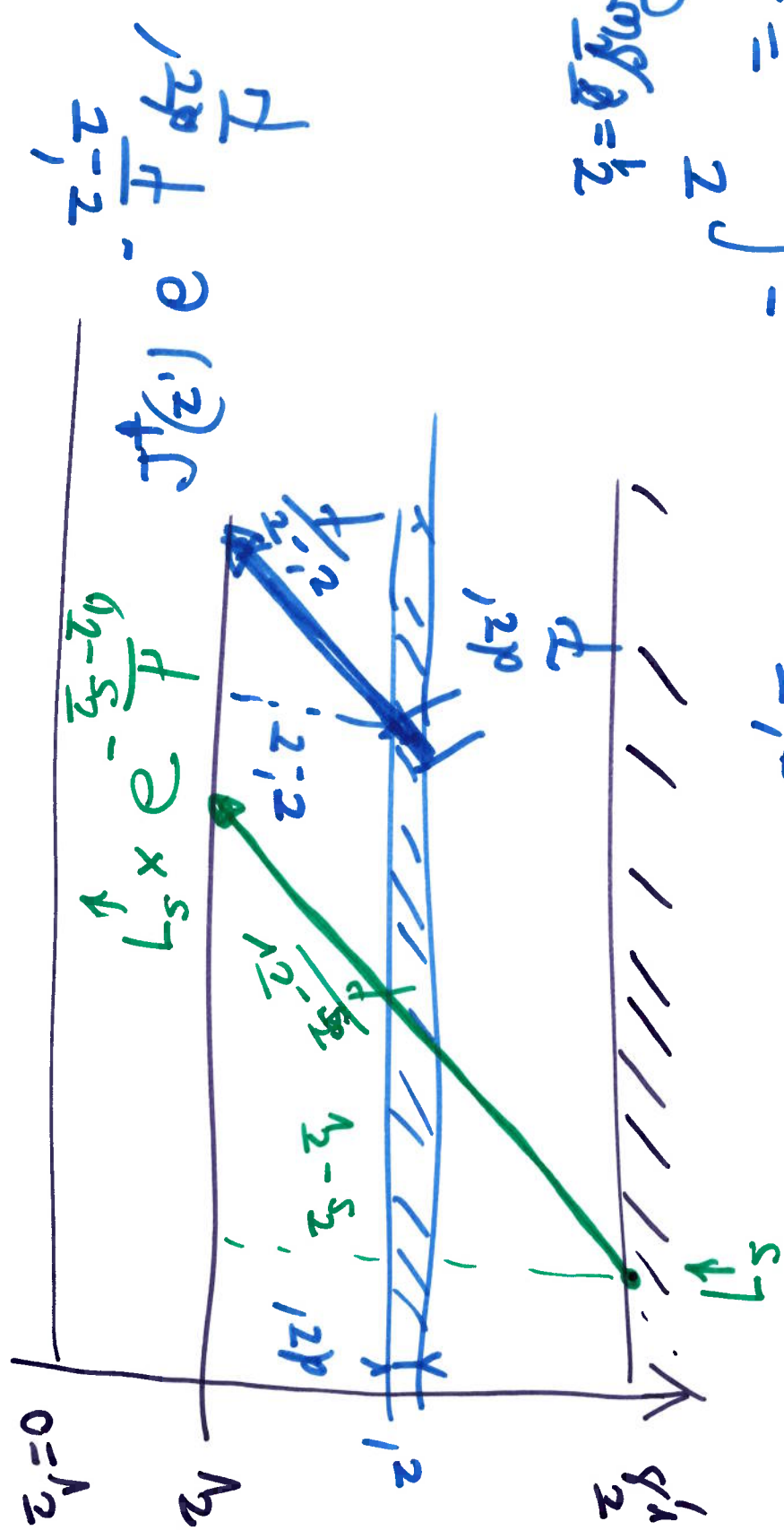
$dg = \rho_s g \theta = \rho ds$
 $dz_V = -R_V d\theta$ verticale

$\frac{dL_V}{ds} = -R_{ext}(L_V - J_V)$

$\frac{dL_V}{ds} dz$

$$+ \frac{dL_V}{ds} = L_V - J_V$$

⑥ Propagation over the fault $\mu > 0$ ~~$0 < \theta < \pi/2$~~



$$\int_{z_2}^{\infty} \frac{1}{2} e^{-\frac{1}{2}(z-z_2)} dz + \int_{z_2}^{\infty} \frac{1}{2} e^{-\frac{1}{2}(z-z_2)} dz = \int_{z_2}^{\infty} \frac{1}{2} e^{-\frac{1}{2}(z-z_2)} dz$$

$$\dots \int_{z_2}^{\infty} \frac{1}{2} e^{-\frac{1}{2}(z-z_2)} dz = \int_{z_2}^{\infty} \frac{1}{2} e^{-\frac{1}{2}(z-z_2)} dz$$

⑤ Intégration de l'équation de TR

(ou bien r)

$$L - \mu \frac{dL}{dt} = J$$

$$\frac{d}{dt} e^{\int \mu dt} L = e^{\int \mu dt} J$$

$$J \neq 0 \quad L(t) = K(t) e^{\int \mu dt}$$

$$-\mu \frac{dL}{dt} = K(t) \mu e^{\int \mu dt} (-1) = \mu \frac{dK}{dt} e^{\int \mu dt}$$

$$-e^{-\int \mu dt} J(t) = -\mu \frac{dK}{dt} e^{\int \mu dt} = -\int \mu J(t) e^{\int \mu dt} dt + K(t) e^{\int \mu dt}$$

$$L(t) = -\int \mu J(t) e^{\int \mu dt} dt + K(t) e^{\int \mu dt}$$

$$L(t) = -\int_{t_1}^t \mu J(t) e^{\int \mu dt} dt + L(t_1) e^{\int_{t_1}^t \mu dt}$$

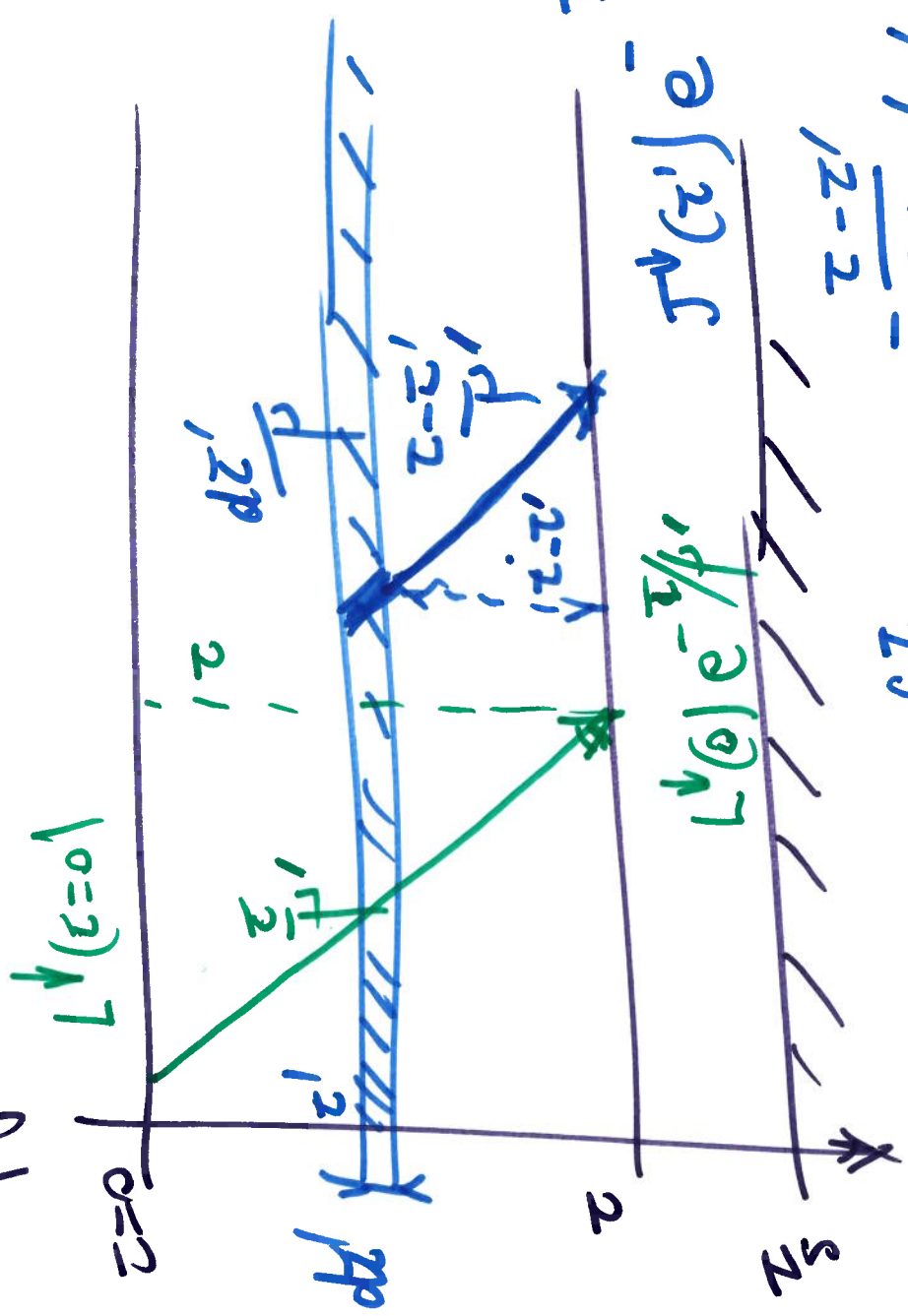
ht de l'atmos
= espace

$$\frac{1}{2} \int_0^{\infty} e^{-\rho z} \rho^2 d\rho$$

couche supérieure

$$\frac{1}{2} \int_0^{\infty} e^{-\rho z} \rho^2 d\rho = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} \rho^2 e^{-\rho z} d\rho$$

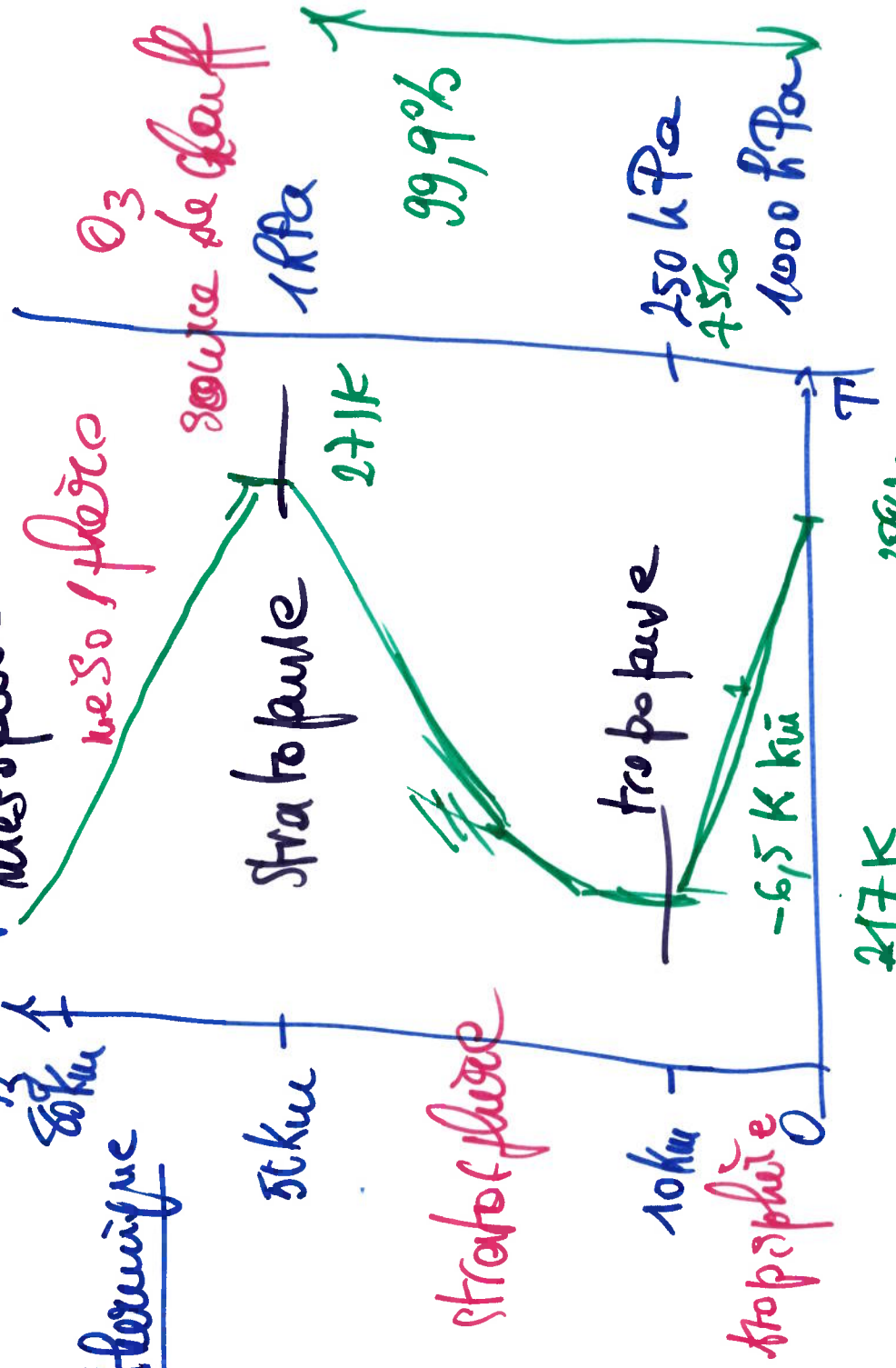
$$\frac{1}{2} \int_0^{\infty} \rho^2 e^{-\rho z} d\rho$$



⑦ profondeur vers le bas $0 > z$

⑧ Chap 5 | Rayt ds l'atmosphère = domaine solaire

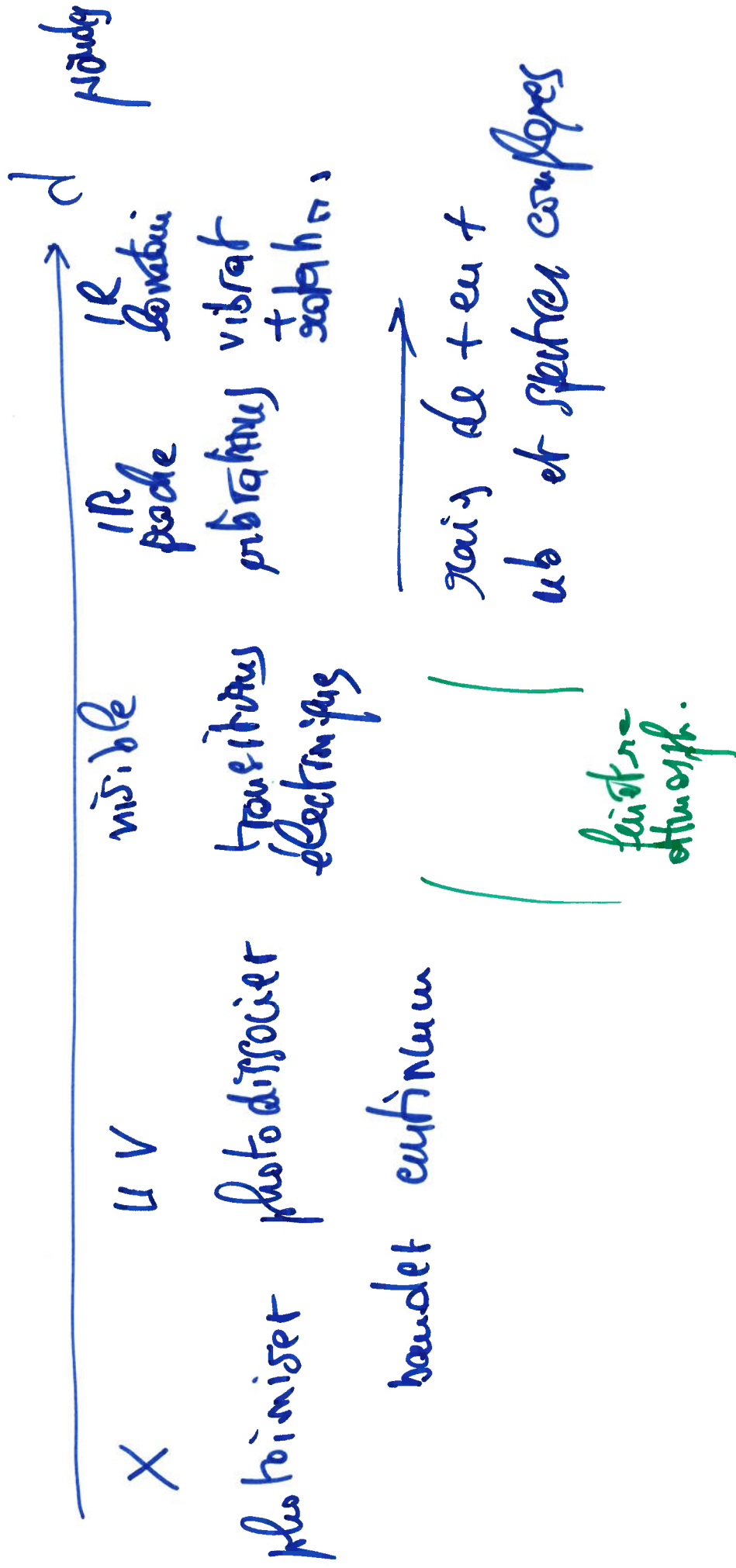
I Introduction :
I.1 Structure thermique



homosphère : équilibre de mélange maine laire = Cte
 → mésosphère 1 seule cellule de Kt.
 hétérosphère : équilibre de diffusion : séparation en Kt
 de la masse H_i = échelle de Kt

⑨ Répartition spectrale de l'absorption

Structure moléculaire → propriétés spectroscopiques



⑩ Espèces chimiques

épaisseur subuite

$$\Delta z_i \times n_{\text{air}}(z=0) = \int_0^{\infty} n_i(z) dz = N_i(0 \rightarrow \infty)$$

$$n_{\text{air}}(z=0) = 2,55 \cdot 10^{25} \text{ molécules m}^{-3} \quad 15^\circ\text{C}$$

ob de Loschmidt $T = 273,15 \text{ K}$ $p = 1013 \text{ hPa}$

$$n_{\text{air}} = 2,69 \cdot 10^{25} \text{ molécules m}^{-3}$$

$$\underline{\text{EX}} \quad \text{air} \quad \Delta z_{\text{air}} = \int_0^{40} \frac{n_{\text{air}}(z)}{n_{\text{air}}(0)} dz = \frac{RT}{M_{\text{air}}} \approx 8 \text{ m}$$

$$- \text{O}_3 \quad \Delta z_{\text{O}_3} \approx 3 \text{ mm}$$

(11)

Rapport de mélange en volume $n_i \beta_i = \frac{n_i \beta_i}{\sum_{air} \beta_i}$

- $ppm \approx 10^{-6}$
- $ppb \approx 10^{-9}$

équilibre de mélange $\rightarrow n_i \beta_i \text{ ind}^+ dz$

pas d'activité chimique

pas de clust de plate

litéosphère $k_i = \frac{RT}{m_i g}$

(12) le rapport de mélange \rightarrow

- majoritaires en masse

N_2 (78%) O_2 (21%) diatomiques

spectre pur en IR \rightarrow sole des minoritaires

$$\Delta z_{O_2} = \frac{1}{n_{air}(0)} \int_0^{\infty} n_{O_2}(z) dz = \tau_{O_2} \times \frac{1}{n_{air}(0)} \int_0^{\infty} n_{air}(z) dz$$

indépendant Δz_{air}

$$\Delta z_{O_2} = 0,28 \times \Delta z_{air} = 2, \dots km$$

- minoritaires radiativement actifs

- H_2O troposphérique $\tau_{max} \approx 0,01$ $H \approx 2 km$

$$\Delta z_{O_2} \approx 20 m$$

spectre très riche en IR solaire et tellurique

- CO_2 mélange 1995 $\tau_{CO_2} = 3 \cdot 10^{-4} = 300 ppmv$

$$\Delta z_{CO_2} = \tau_{CO_2} \times H_{air} \approx 3,2 m$$

$$415 ppmv$$

(12)

- O₃ stratosphère n_{O₃} (3) ↗ ≈ 25 km

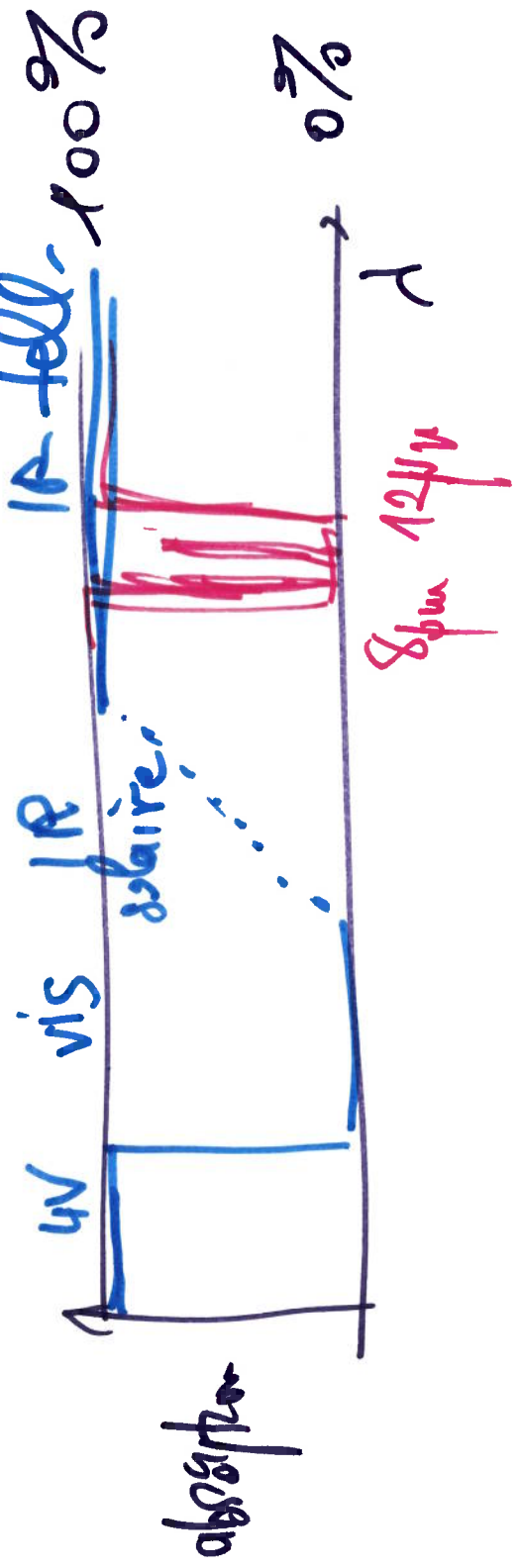
Az_{O₃} = 3 um = 300 Dobson Units = 300 D.U.

n_{O₃} max en stratosphère ≈ 30 km ≈ 10⁻⁵

en UV vis IR

- CH₄ rapport de mélange → 20 km

très dangereux n_{max} ≤ 10⁻⁹ CFC inertes en surf.



100% IR-tell. 100%