

Simulations de plasmas peu collisionnels

Arnaud Beck (*LESIA*)

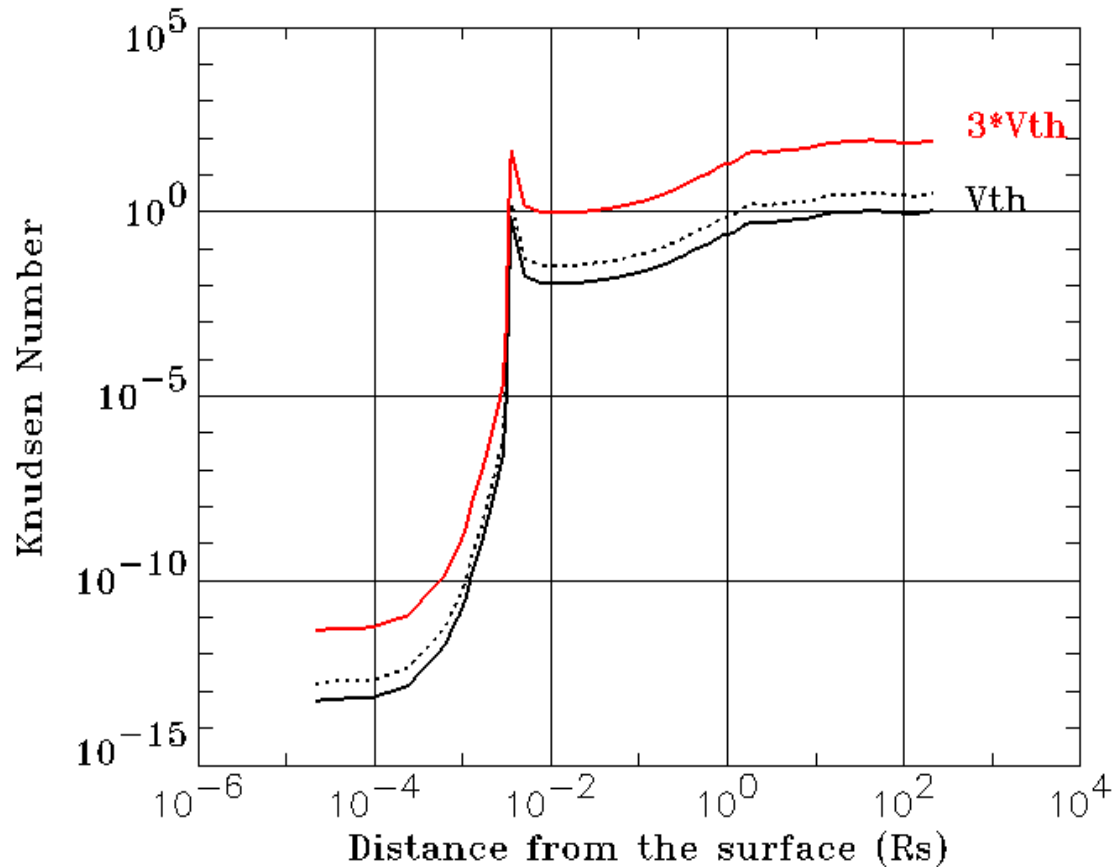
Simone Landi (*Observatoire de Florence*)

Filippo Pantellini (*LESIA*)

Libre parcours moyen dans l'atmosphère solaire

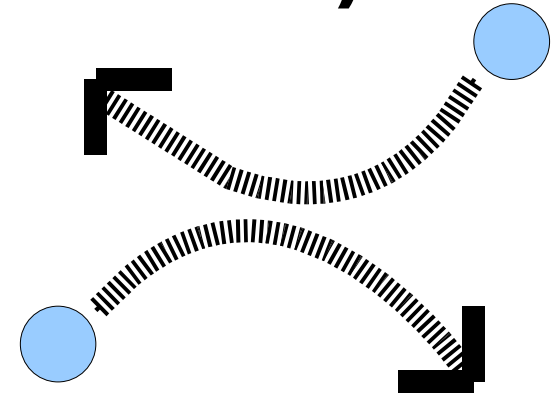
Nombre de Knudsen

$$K_T = \frac{lpm}{H_T}$$



Collisions proches (rasantes)

$$E_{\text{cinétique}} = E_{\text{potentielle}}$$



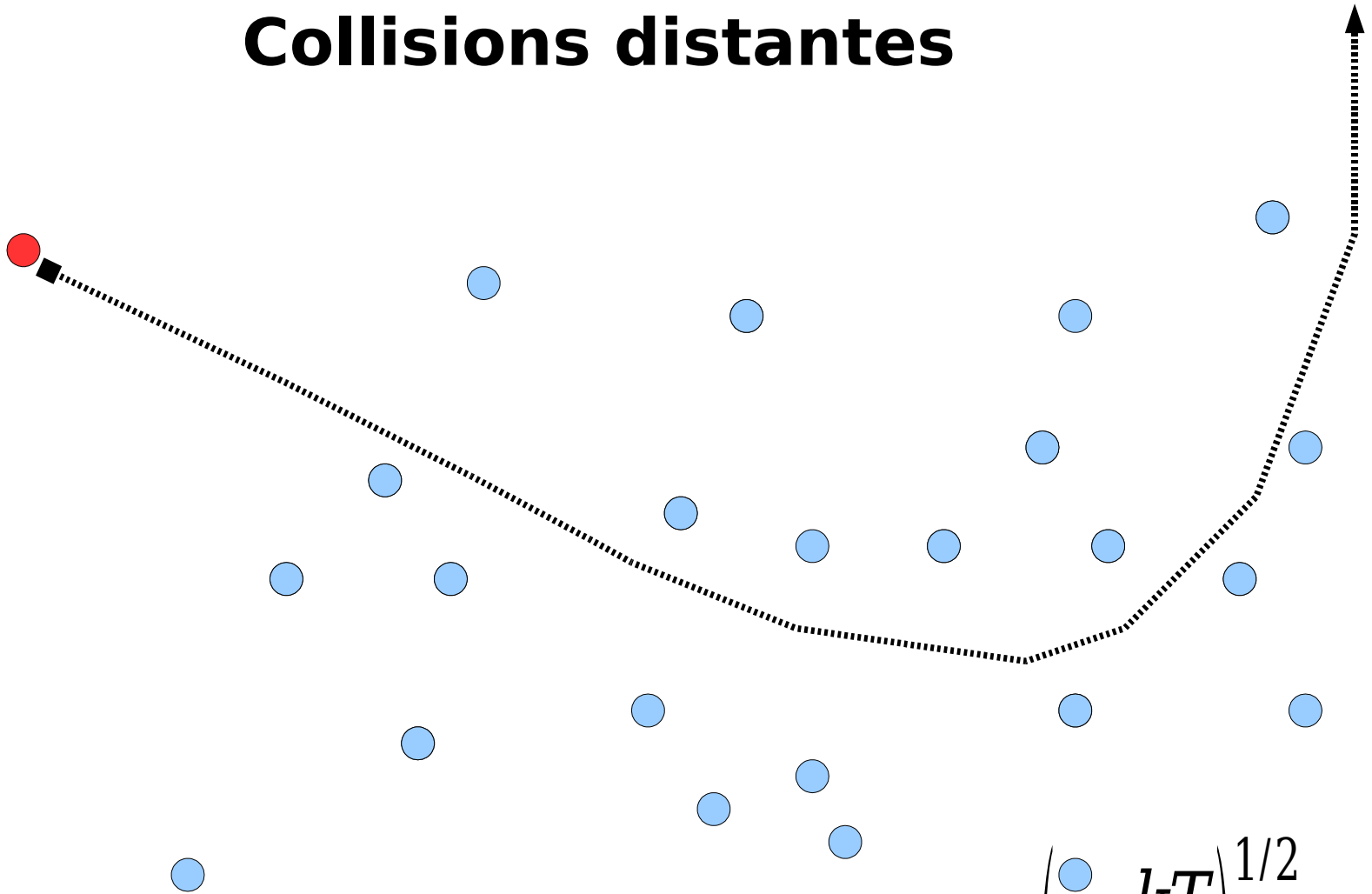
Rayon de Landau

$$r_l = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 kT}$$

Libre parcours moyen

$$l_{pm} = \frac{1}{\pi r_l^2 n}$$

Collisions distantes

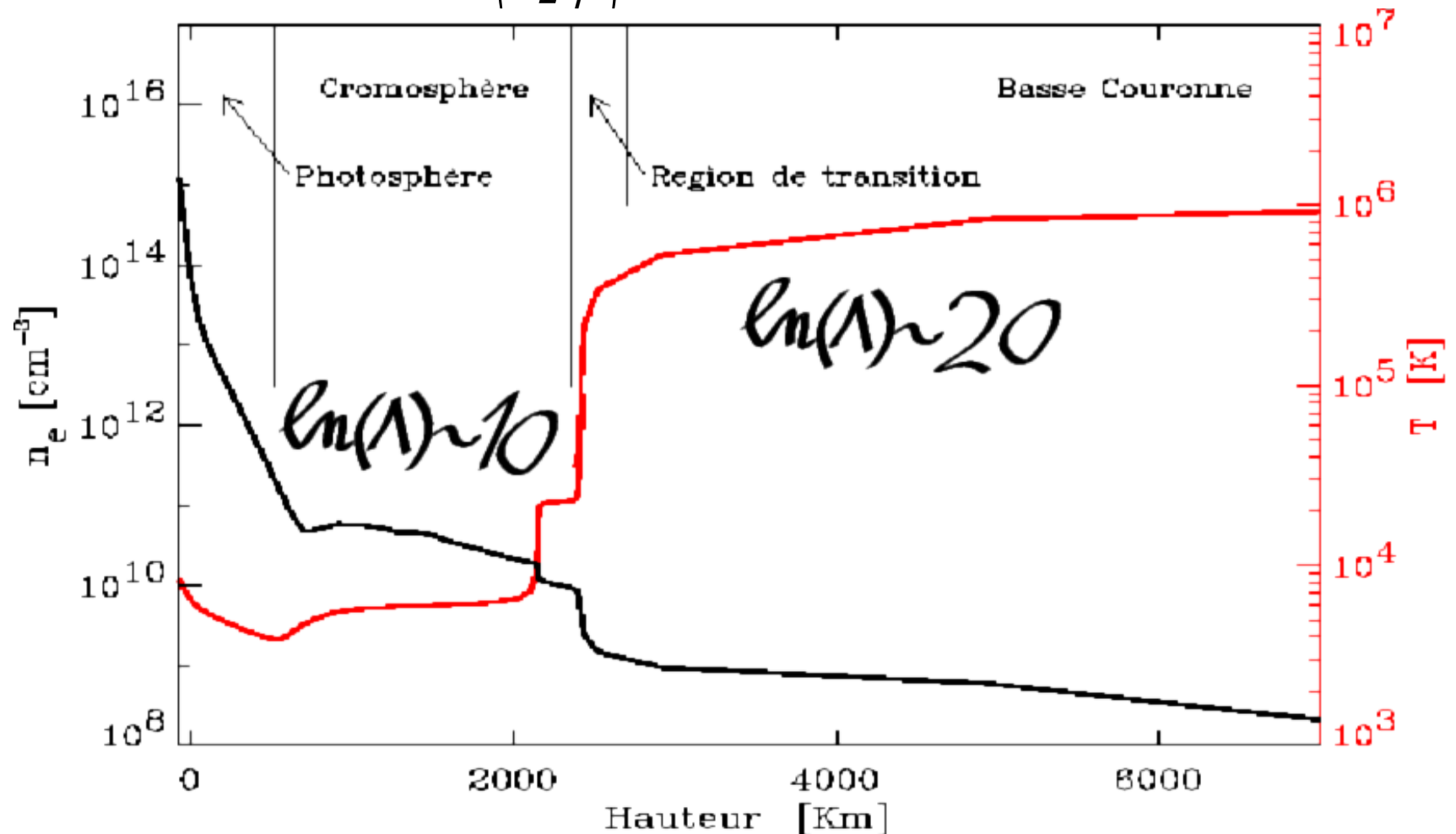


Longueur caractéristique (long de Debye):

$$L_D = \left(\frac{\varepsilon_0 kT}{ne^2} \right)^{1/2}$$

Collisions distantes versus collisions rasantes

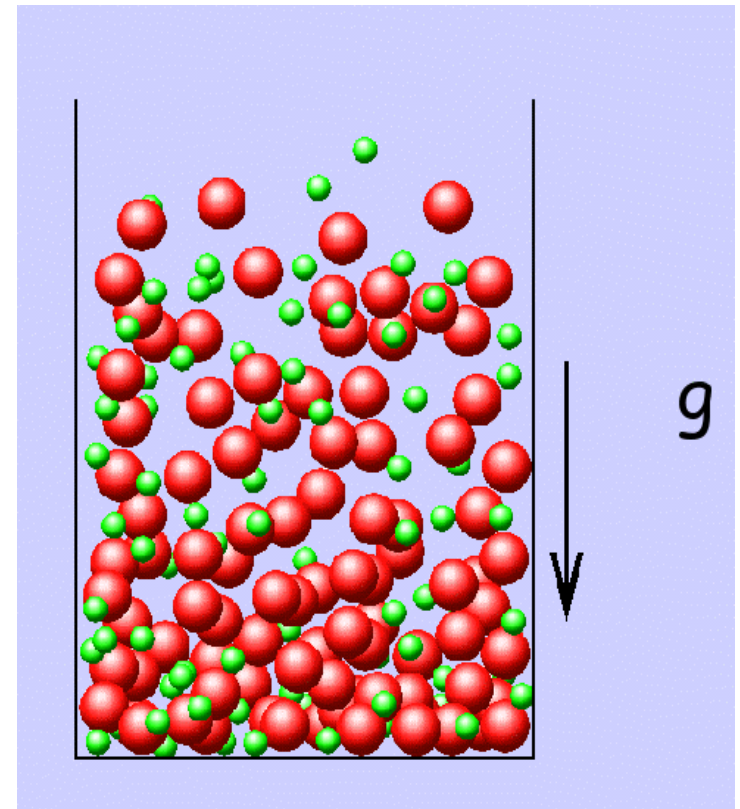
$$\ln(\Lambda) = \ln\left(\frac{L_D}{r_1}\right) \quad (\text{logarithme de Coulomb})$$



Méthodes de simulation possibles

- Fokker-Planck: calcul de l'évolution de la fonction de distribution $f(x,v)$. Nécessite $\ln(\Lambda) \gg 1$

- N-corps: accessibles avec algorithmes de complexité $\propto N$



N-corps 1d simplifié

Collisions binaires

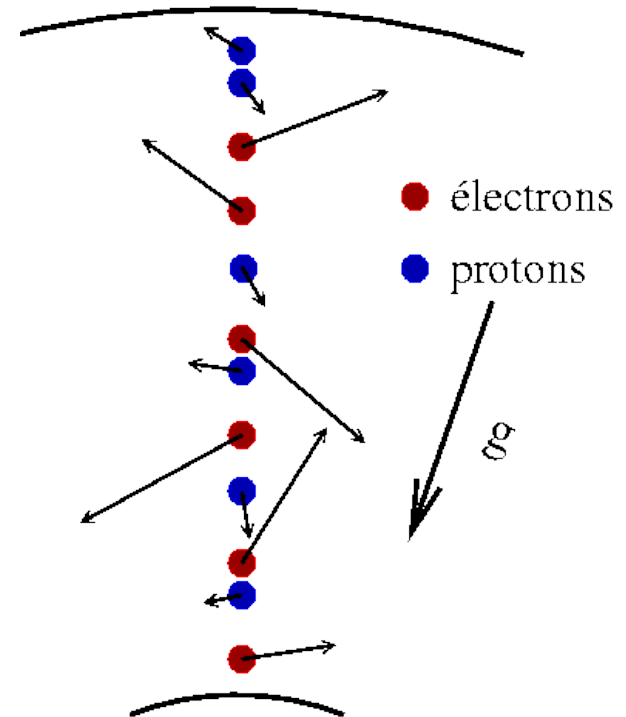
Collisions a section efficace Coulombienne

Spatialement 1d (cartésien ou sphérique)

3d en vitesse

$$\frac{d^2 r}{dt^2} = -\frac{GM}{r^2} + \frac{L^2}{m^2 r^3} + \frac{q}{m} \mathcal{E}(r).$$

$$\mathbf{L} \equiv m \mathbf{r} \times \mathbf{v}_\perp = \text{constant}$$

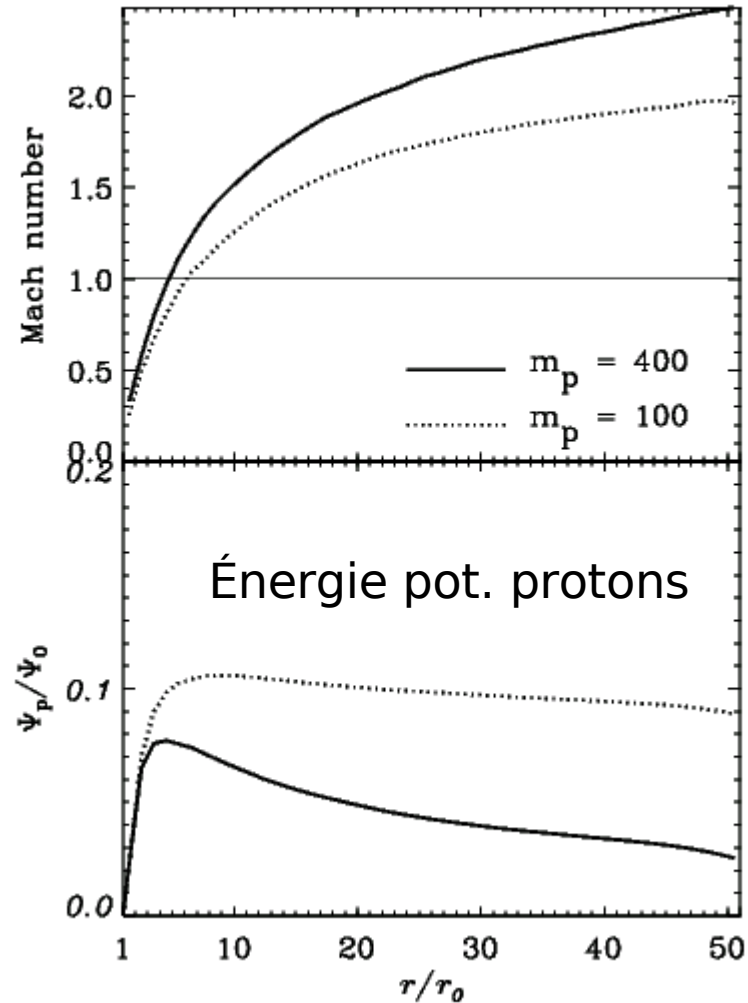


Exemple: accélération du vent solaire

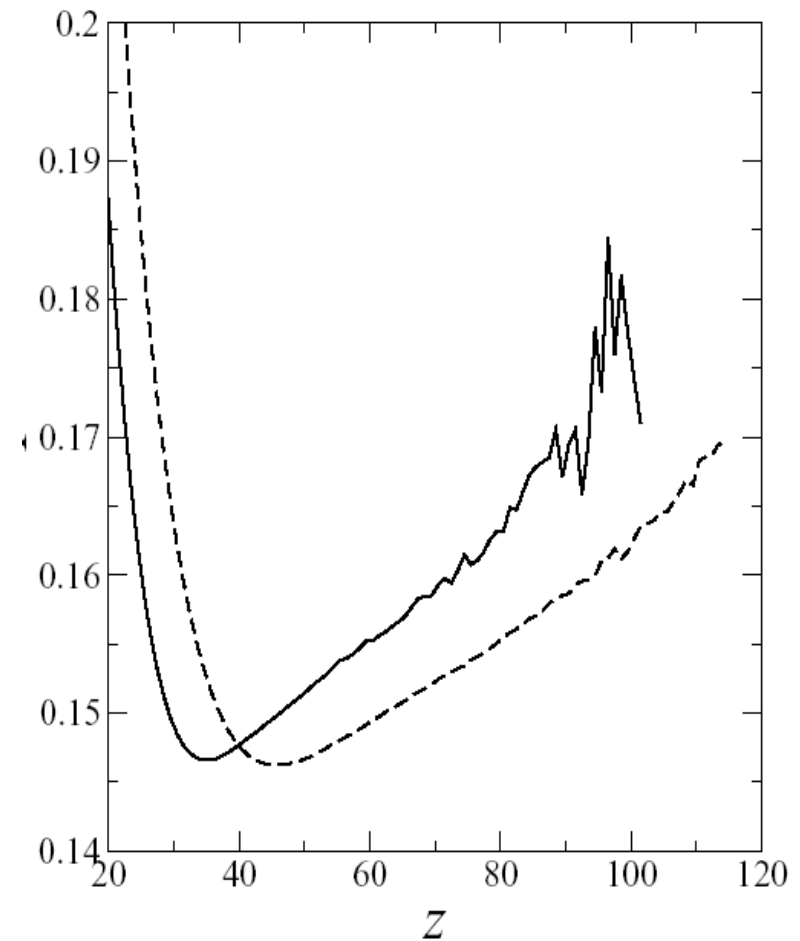
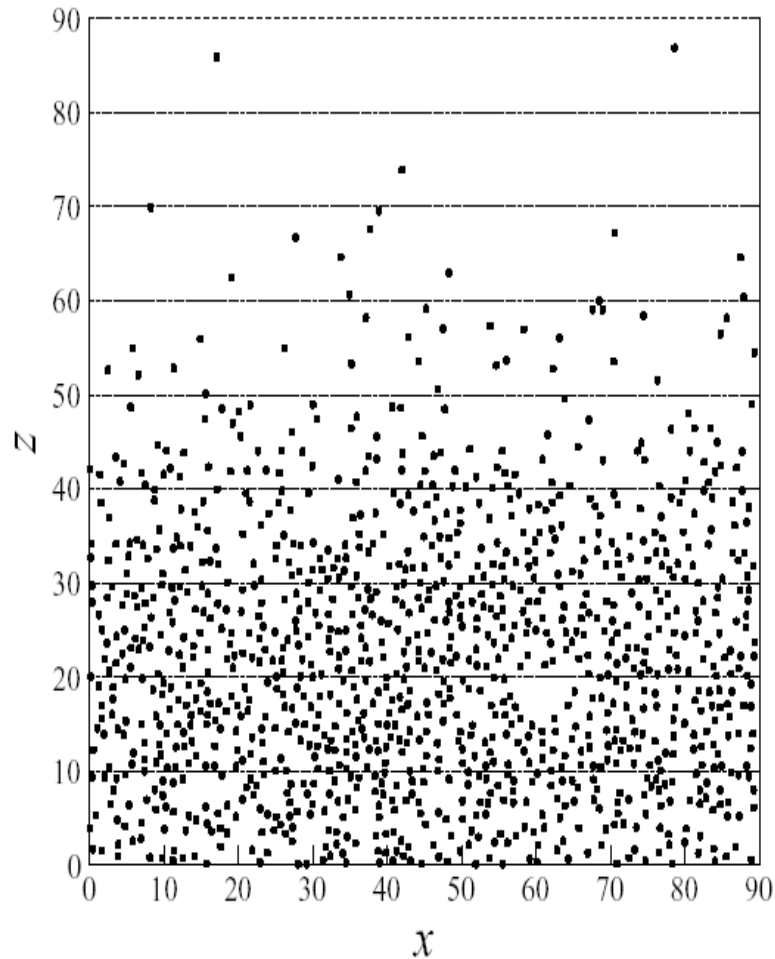
Landi & Pantellini, A&A, 2003

Flux de chaleur dans la zone d'accélération du vent est de type non collisionnel:

$$q \sim n v k_B T$$



Simulations d'un gaz inélastique

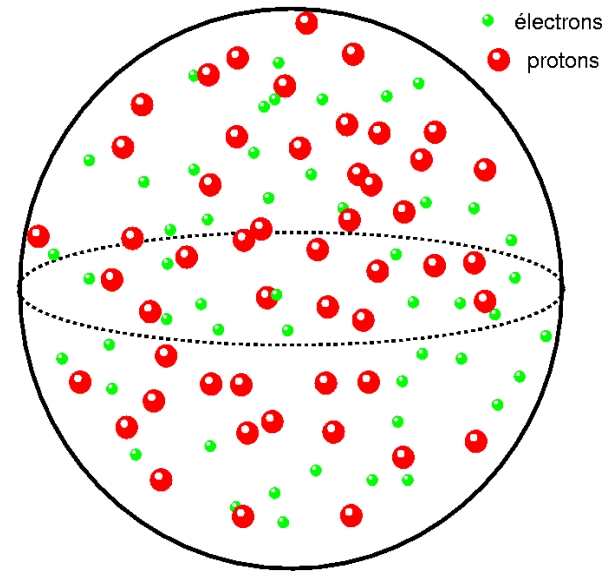


Ramirez & Soto, Physica A, 2003

Vraies simulations N-corps



Stage M2: Arnaud Beck, 2005



- Modèle électrostatique 3d
- t_{CPU} proportionnel à N
(W. Dehnen, JCP, 2002)

Relaxation de deux faisceaux

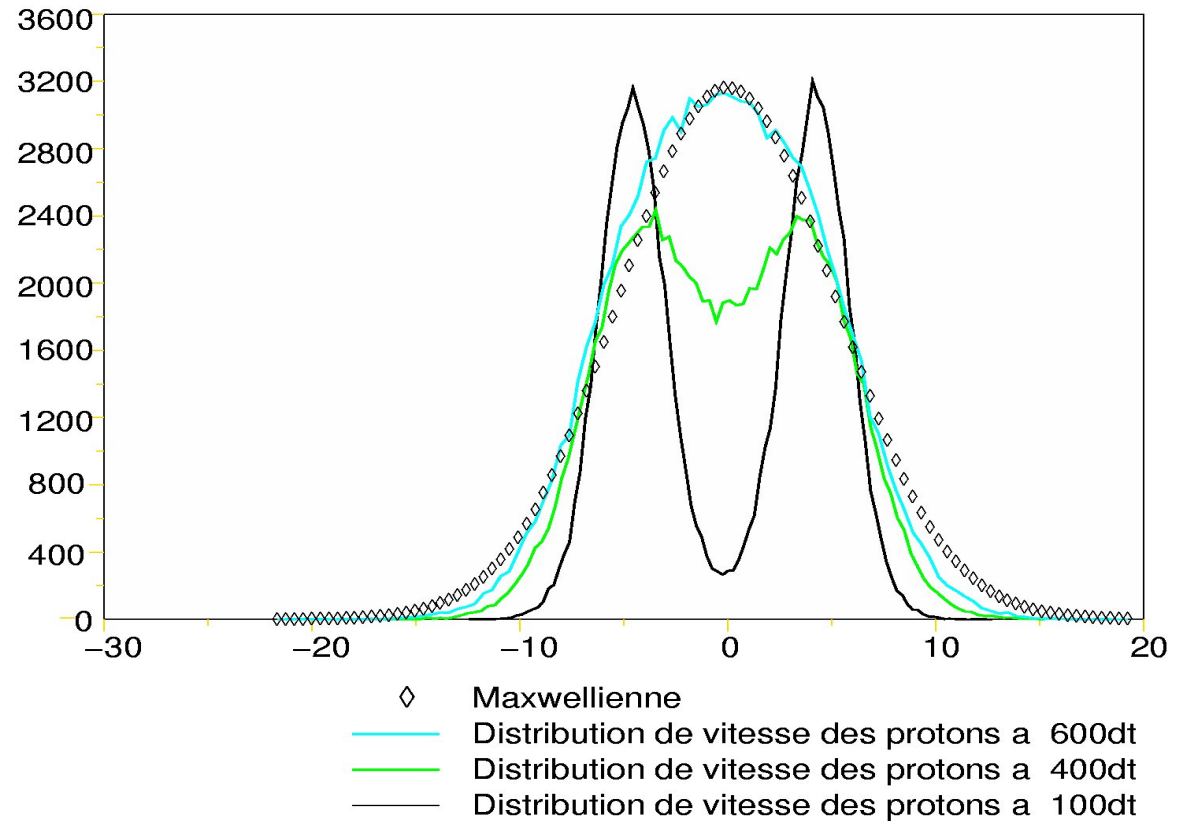
Paramètres:

$N=200000$

$N_{\text{collion/elec}}=4$

$\ln(\Lambda)=2.54$

Nombre de protons



Formation d'un nuage de Debye

Paramètres:

$$N = 2800000$$

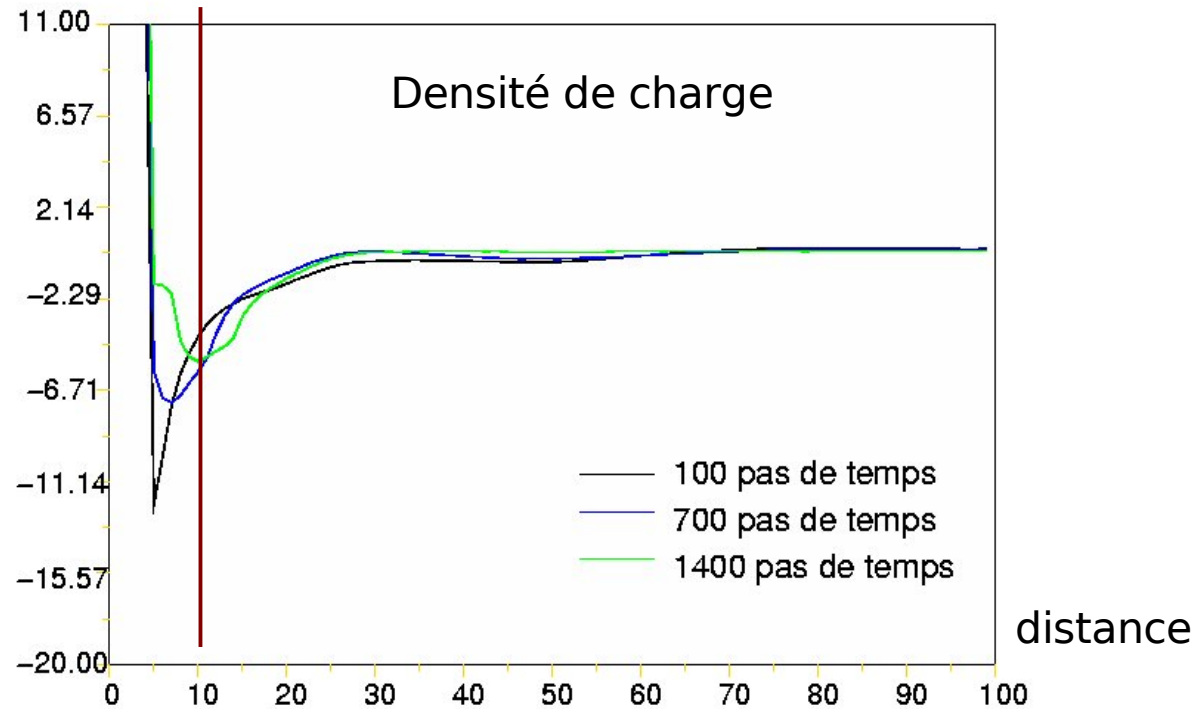
$$V_{th}(el) = 80$$

$$L_d = 10$$

$$dt = 0.001$$

$$\tau_D = 0.125$$

Profil radial de densité de charge en 3 instants différents



Conclusions

- Les simulations N-corps (simplifiés ou non) sont devenus des outils intéressants pour l'étude de la physique des milieux peu collisionnels, e.g. l'atmosphère solaire au dessus de 2000km.
- Elles sont particulièrement utiles dans l'étude des phénomènes de transport dans les milieux peu collisionnels et fortement stratifiés, pour lesquels les coefficients de transport classiques peuvent ne sont pas applicables.
- La complexité des codes N-corps étant $\propto N$, de nombreux problèmes fondamentaux de la physique des plasmas sont maintenant potentiellement accessibles via ce type de simulations.
- Les algorithmes sont encore améliorables ...