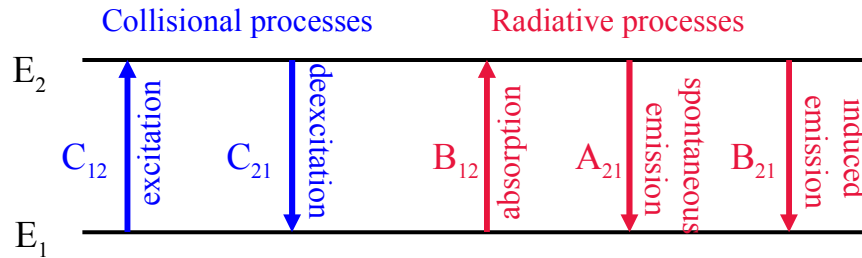


Collisions atomiques pour atmosphères froides

N. Feautrier, A. Spielfiedel
collaborateurs (M. Guitou, A. Belyaev, P. Barklem)

Modélisation NLTE : compétition entre les processus radiatifs et collisionnels, (excitation et ionisation)

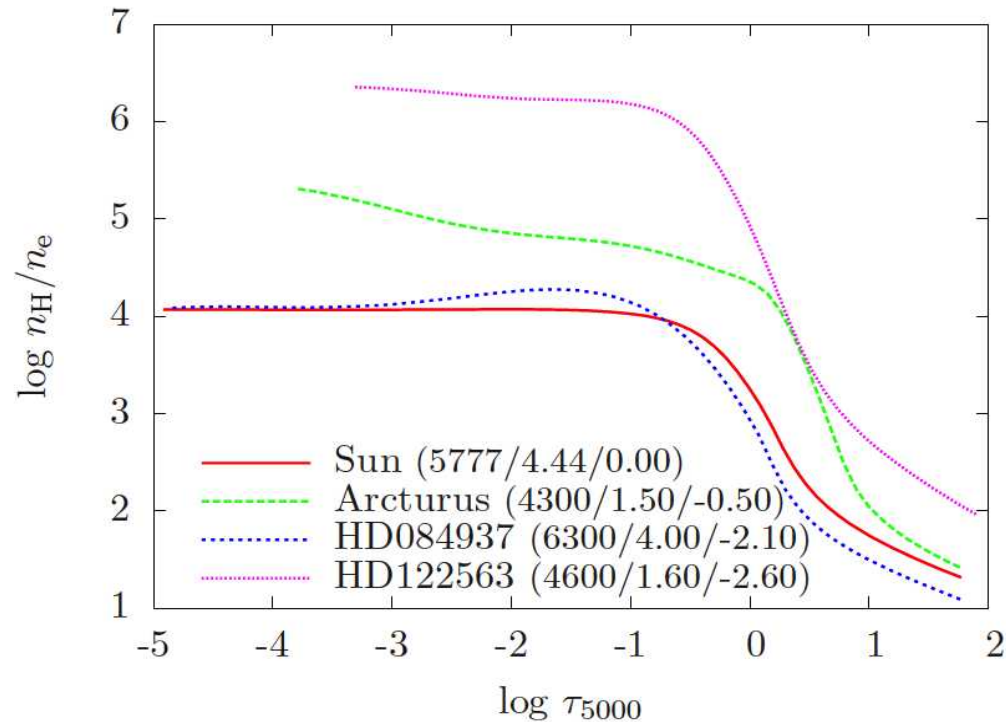


$$C_{21} = n_P k_{21}(T)$$

s^{-1} $cm^3 s^{-1}$

collisions avec H dominantes pour les atmosphères d'étoiles froides

Quelles sont les collisions dominantes : H ou e ?



Raies atomiques formées pour $-4 < \log \tau < 0$

Étoiles avec différents paramètres (T, log g, métallicité [Fe/H]):

Les atomes H dominant pour les étoiles froides

Collisions atomiques : approche quantique

Pourquoi une approche quantique ? énergies de collision de l'ordre de grandeur des interactions quasi-moléculaires ($5000\text{K} = 0.5\text{ eV}$)

→ 2 étapes :

- calcul des potentiels moléculaires atome+H et leurs interactions (chimie quantique)
- dynamique à partir de ces potentiels

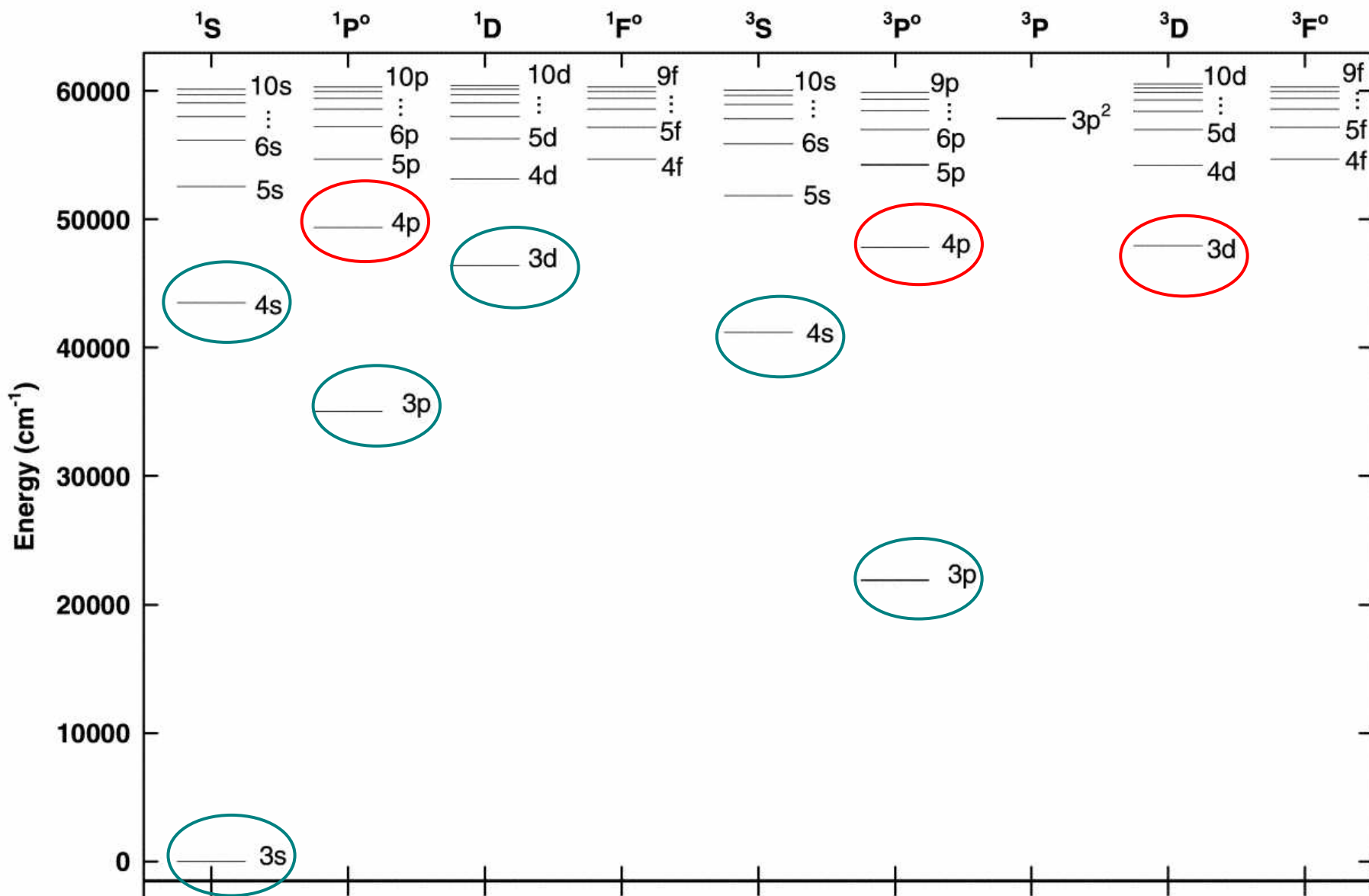
Difficulté croissante pour les états atomiques très excités et les atomes complexes
(à la limite des méthodes ab initio actuelles)

Résultats actuels : Li+H, Na+H, Mg+H

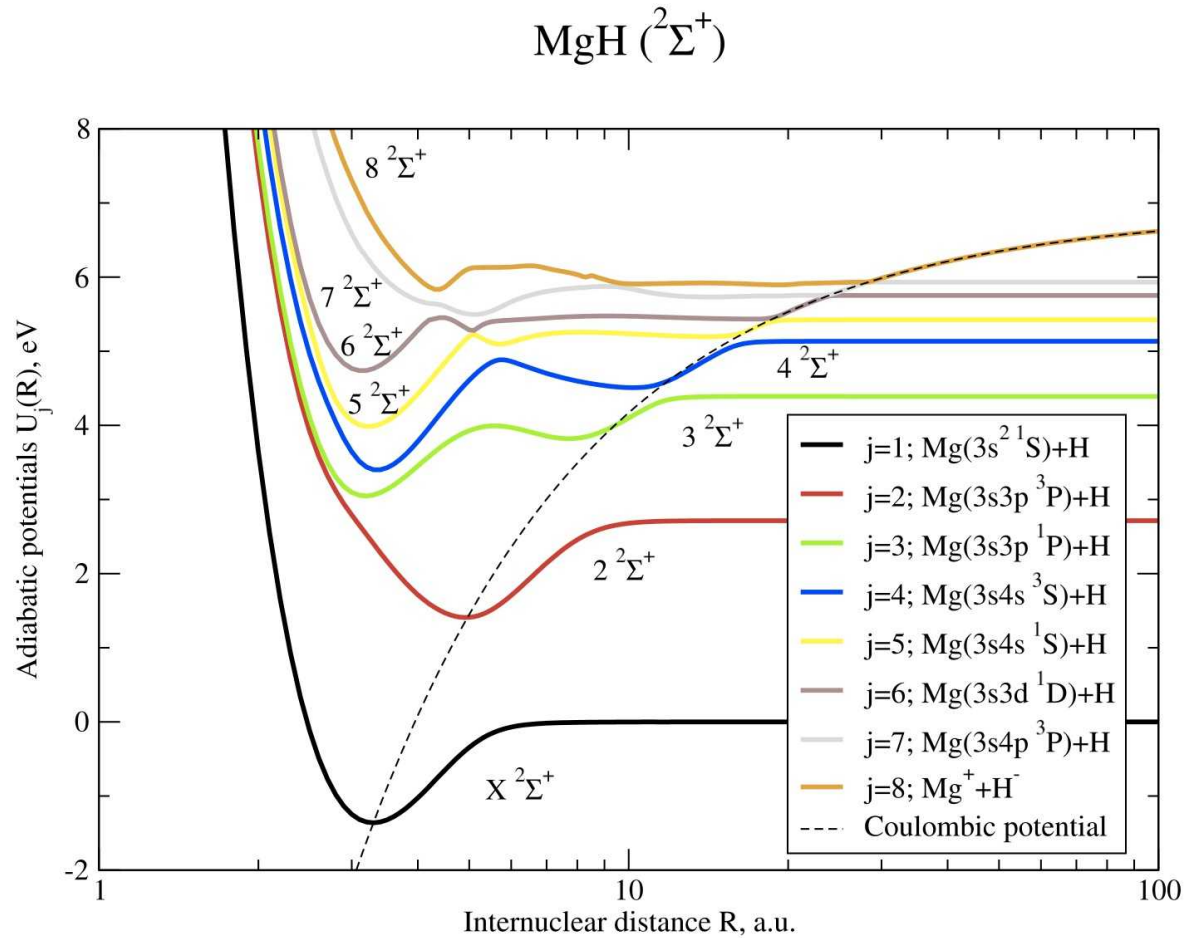
En cours : Ca+H, O+H, Call+H ; projet : Fe+H ???

Exemple : collisions Mg+H

Mg+H : niveaux atomiques traités



Potentiels d'interaction Mg-H



Mg+H : taux de collisions

T = 4000.00 K

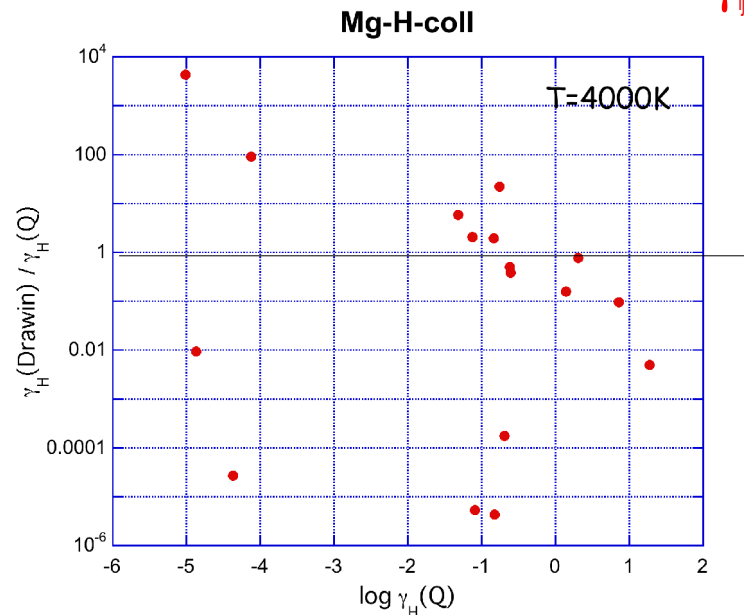
initial/final states	3s ¹ S	3p ³ Po	3p ¹ Po	4s ³ S	4s ¹ S	3d ¹ D	ionic
3s ¹ S		1.67e-17	9.32e-20	5.37e-20	2.14e-20	6.31e-21	5.05e-22
3p ³ Po	4.87e-15		2.76e-13	7.95e-14	2.07e-14	4.35e-15	1.47e-16
3p ¹ Po	1.05e-14	1.07e-10		5.21e-11	7.88e-12	9.96e-13	1.84e-13
4s ³ S	5.26e-14	2.67e-10	4.52e-10		1.38e-10	1.18e-11	9.14e-12
4s ¹ S	1.46e-13	4.83e-10	4.75e-10	9.56e-10		1.42e-09	8.64e-10
3d ¹ D	2.23e-14	5.28e-11	3.12e-11	4.28e-11	7.41e-10		1.73e-10
ionic	2.42e-13	2.42e-10	7.84e-10	4.48e-09	6.10e-08	2.35e-09	

- Pour l'excitation: les taux dominants correspondent aux **niveaux les plus proches**
- **Très grands taux entre états excités, même non reliés radiativement** (transitions singlet-triplets)
- **Contribution très importante de l'ionisation et la neutralisation mutuelle**

Comparaison résultats quantiques avec la formule « semi-classique » de Drawin

- Formule de Drawin : extension de la formule classique du taux d'ionisation de H par impact d'électrons
- Taux de collision proportionnels à la force d'oscillateur
- Ne décrit pas correctement les interactions quasi-moléculaires

Comparaison des forces effectives de collision: γ_{ij} (proportionnel au taux)



La formule de Drawin sous-estime ou surestime les taux de collision par plusieurs ordres de grandeur !

- **Les résultats actuels** pour Li, Na et Mg montrent :
 - une grande sur-estimation/sous-estimation des taux de collision obtenus par la formule de Drawin et la nécessité d'utiliser les interactions quasi-moléculaires
 - l'importance des processus d'échange de charge
 - **mais problème** avec les méthodes actuelles : difficulté pour les transitions entre niveaux très élevés et les atomes complexes (Fe)
- **nécessité**
1. **de développer de nouvelles méthodes approchées** mais réalistes (projet en collaboration A. Belyaev (St Petersburg), M. Guitou (Marne la Vallée))
 2. **d'établir des liens forts avec les observateurs/modélisateurs** pour définir les meilleurs choix (collaborations actuelles F. Thévenin, R. Cayrel)