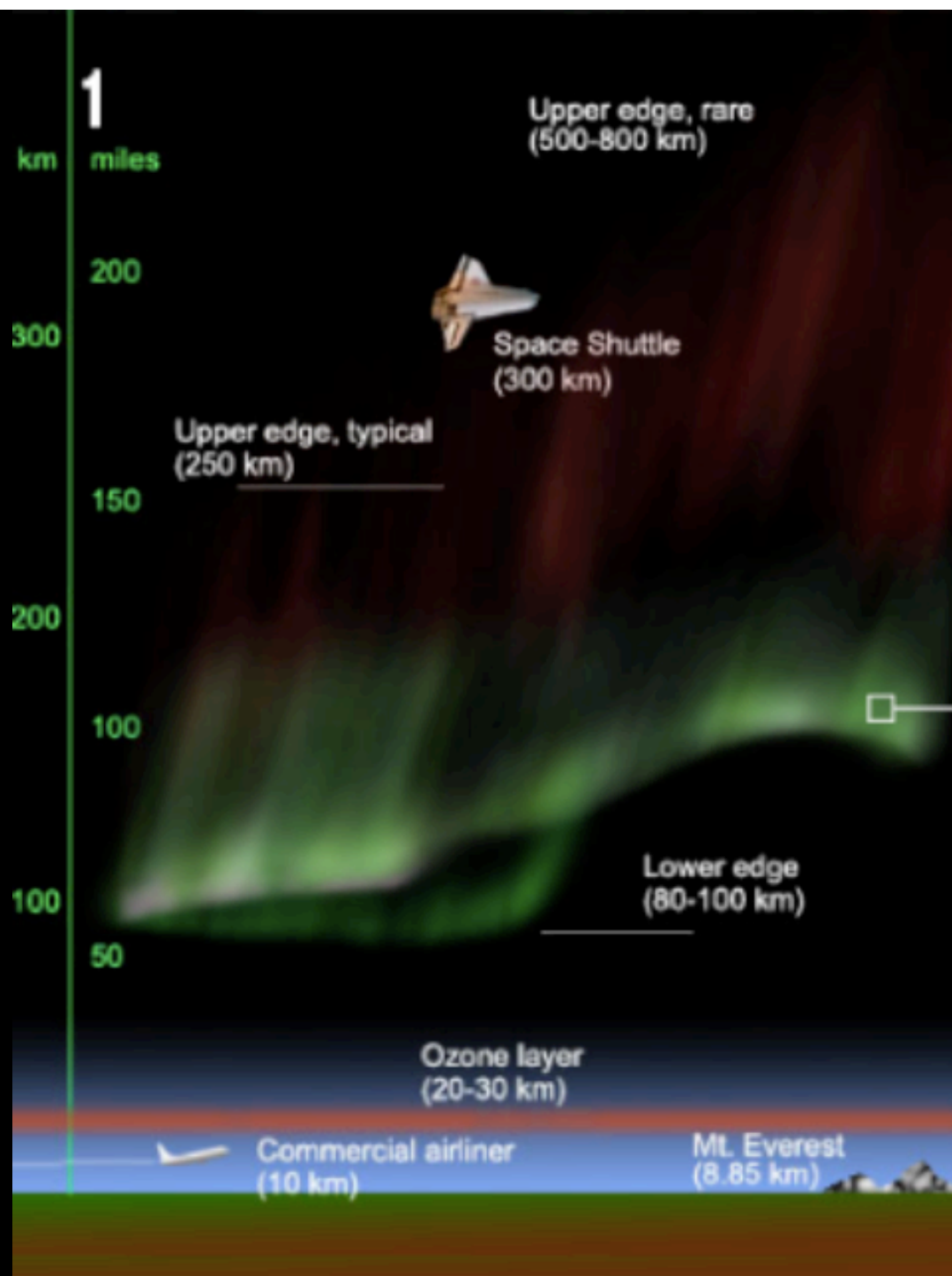


La polarisation de la raie rouge des aurores boréales: observations, théorie, modélisation

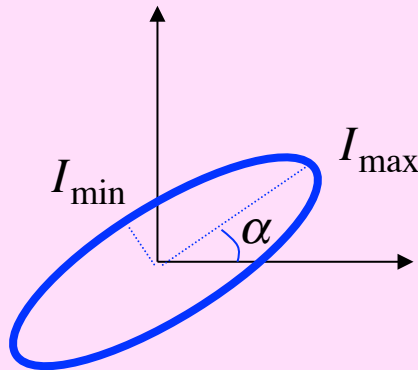
Véronique Bommier¹, Jean Lilensten² & Mathieu Barthélémy²

¹LESIA, Observatoire de Paris ²IPAG, Grenoble



LA POLARISATION: LES PARAMÈTRES DE STOKES

La polarisation linéaire



– le taux de polarisation linéaire

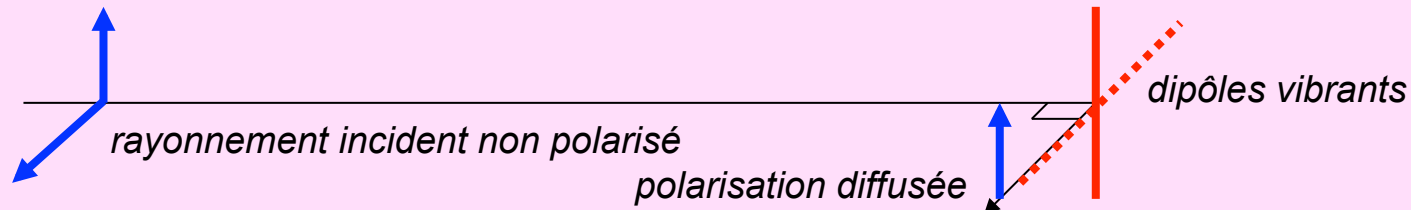
$$p_{\ell} = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} = \frac{\sqrt{Q^2 + U^2}}{I} \leq 1$$

– la direction de polarisation linéaire

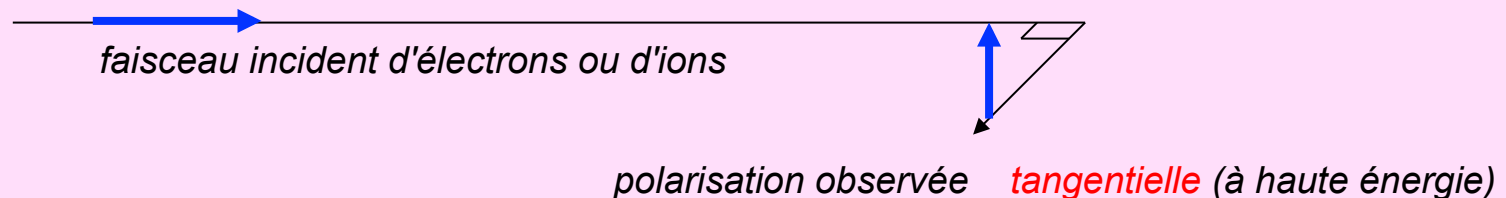
$$\tan 2\alpha = \frac{U}{Q}, \quad \alpha : \text{direction de } I_{\max}$$

2 causes:

1/ la diffusion à angle droit est un mécanisme polarisant: **polarisation par diffusion**

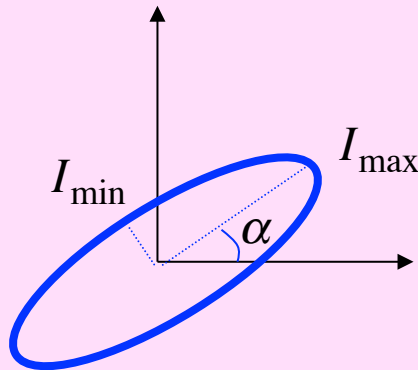


2/ observation à angle droit d'un faisceau d'e⁻ incidents: **polarisation par impact**



LA POLARISATION: LES PARAMÈTRES DE STOKES

La polarisation linéaire



– le taux de polarisation linéaire

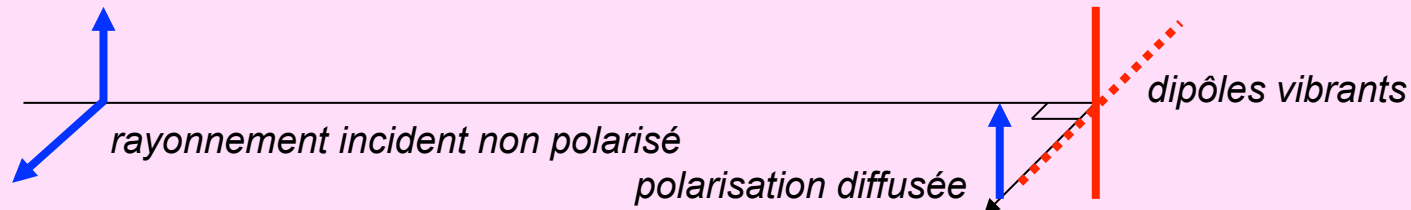
$$p_{\ell} = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} = \frac{\sqrt{Q^2 + U^2}}{I} \leq 1$$

– la direction de polarisation linéaire

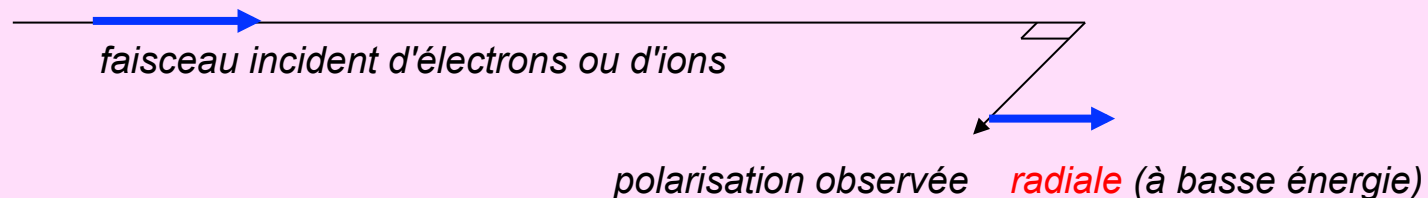
$$\tan 2\alpha = \frac{U}{Q}, \quad \alpha : \text{direction de } I_{\max}$$

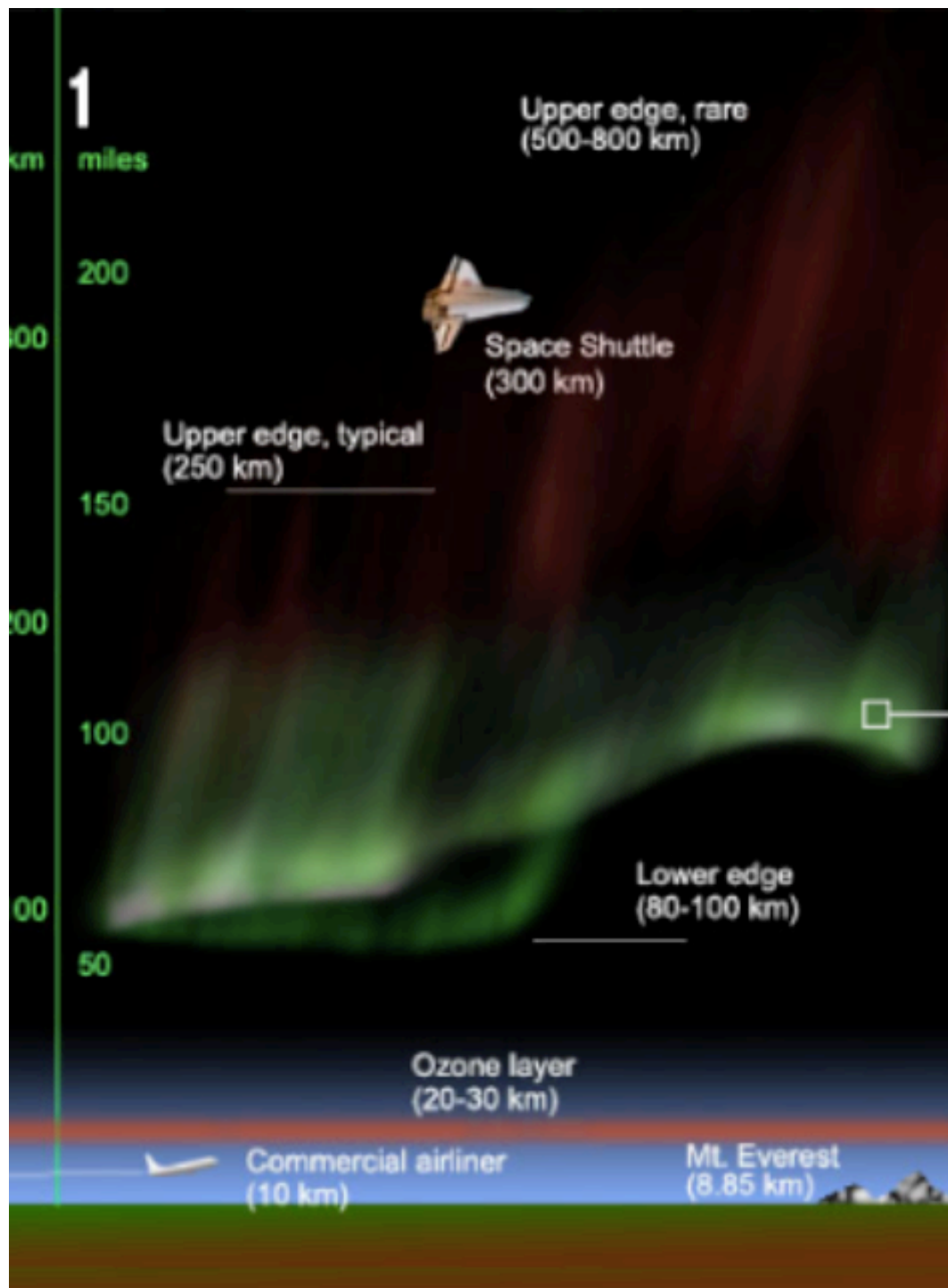
2 causes:

1/ la diffusion à angle droit est un mécanisme polarisant: **polarisation par diffusion**



2/ observation à angle droit d'un faisceau d' e^- incidents: **polarisation par impact**

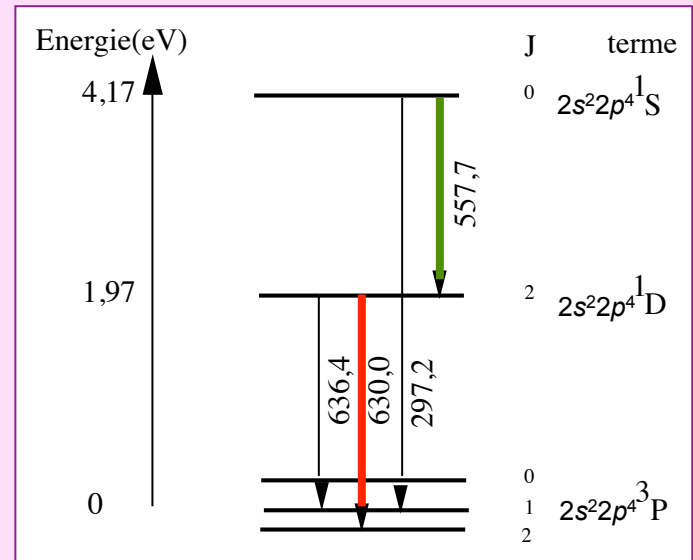




raies interdites de O I

raies de la configuration du fondamental
raies quadrupolaires électriques

- **raie rouge**: doublement interdite
transition singulet-triplet
elle est polarisable:
niveau supérieur $J = 2 \neq 0$
- **raie verte**: non polarisable
niveau supérieur $J = 0$



Plan

- Observations
- Théorie
- Équilibre chimique
- Modélisation

OBSERVATIONS

Bref historique

- Bricard & Kastler (1947, 1950)
 - ont observé la polarisation des raies rouge et verte du ciel nocturne
 - longues campagnes (un mois), lieu ?
 - polariscope de type Lyot opérant par contraste de franges
 - le seuil de détection du polariscope était réglé à 1.5%:
 - => ce taux de polarisation n'a pas été détecté
 - => il en est conclu que le taux de polarisation est $< 1.5\%$
- Duncan (1959)
 - opérant à la latitude de Sydney (34° S)
 - mesure par polaroïd tournant
 - a mesuré UNE FOIS (sur un mois d'observations) un taux de 30%,
avec une direction de polarisation perpendiculaire au champ magnétique local

NOUVELLES OBSERVATIONS

J. Space Weather Space Clim. 3 (2013) A01
DOI: [10.1051/swsc/2012023](https://doi.org/10.1051/swsc/2012023)
© J. Lilensten et al., Published by [EDP Sciences](#) 2013



RESEARCH ARTICLE

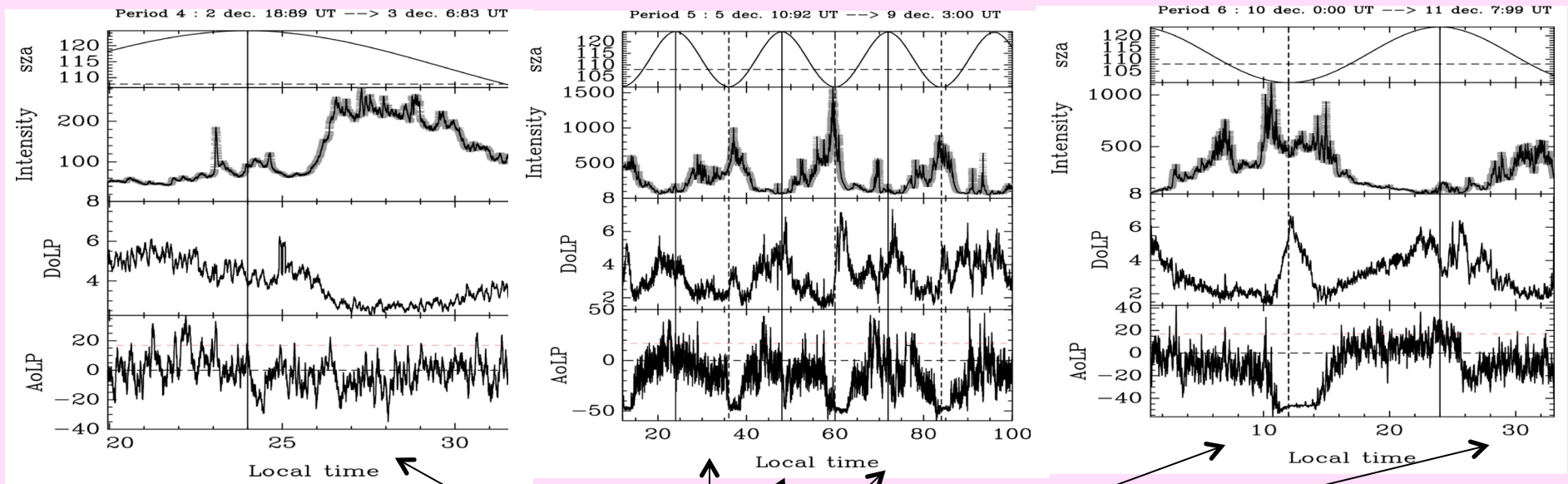
OPEN ACCESS

The thermospheric auroral red line polarization: confirmation of detection and first quantitative analysis

Jean Lilensten^{1,*}, Mathieu Barthélémy¹, Pierre-Olivier Amblard², Hervé Lamy³, Cyril Simon Wedlund³,
Véronique Bommier⁴, Joran Moen⁵, Hanna Rothkaehl⁶, Julien Eymard¹, and Jocelyn Ribot¹

- **Nouveau site sans pollution lumineuse:** Hornsund (Pologne, sud Spitzberg)
avatar de la précédente campagne:
contamination par la diffusion Rayleigh de la lumière d'une ville voisine
(Longyearbyen, Svalbard)
- **Polarimètre:** polaroïd tournant & photomultiplicateur
 - **Polarisation instrumentale:** anisotropie du photomultiplicateur
corrigée après mesures de calibration
 - **Futur instrument en cours de construction:**
polarimètre à séparation de faisceau pour mesure instantanée de la polarisation

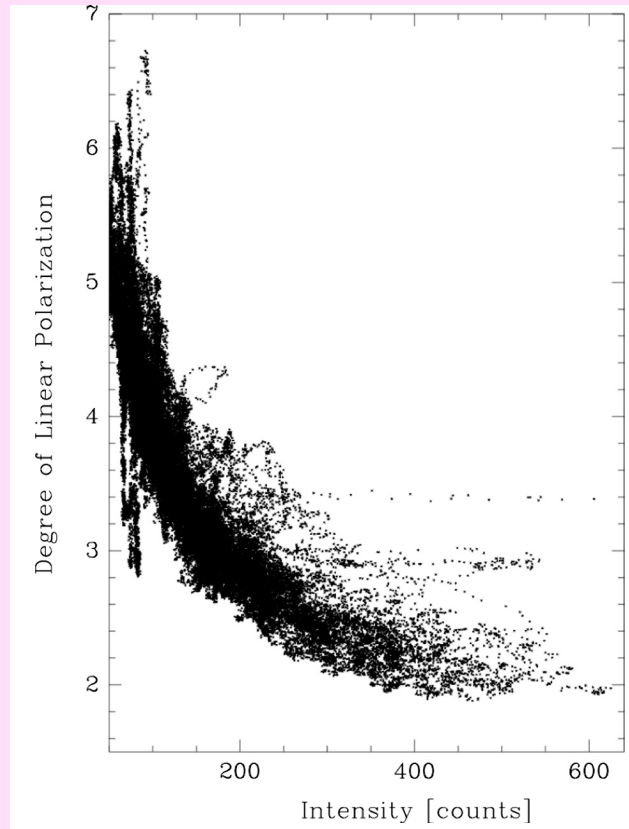
EXAMPLES



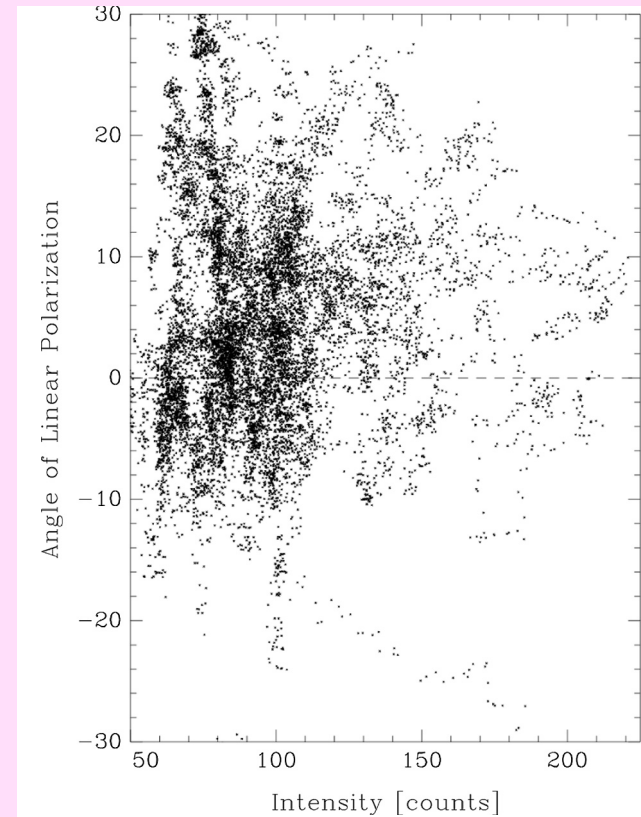
Aurores

RESULTATS D'ENSEMBLE

taux de polarisation



direction de polarisation



Pendant les aurores:

- le taux de polarisation est faible (2%)
- la direction de polarisation est quasiment parallèle au B local

THÉORIE: POLARISATION PAR IMPACT

Ann. Geophys., 29, 71–79, 2011
www.ann-geophys.net/29/71/2011/
doi:10.5194/angeo-29-71-2011
© Author(s) 2011. CC Attribution 3.0 License.



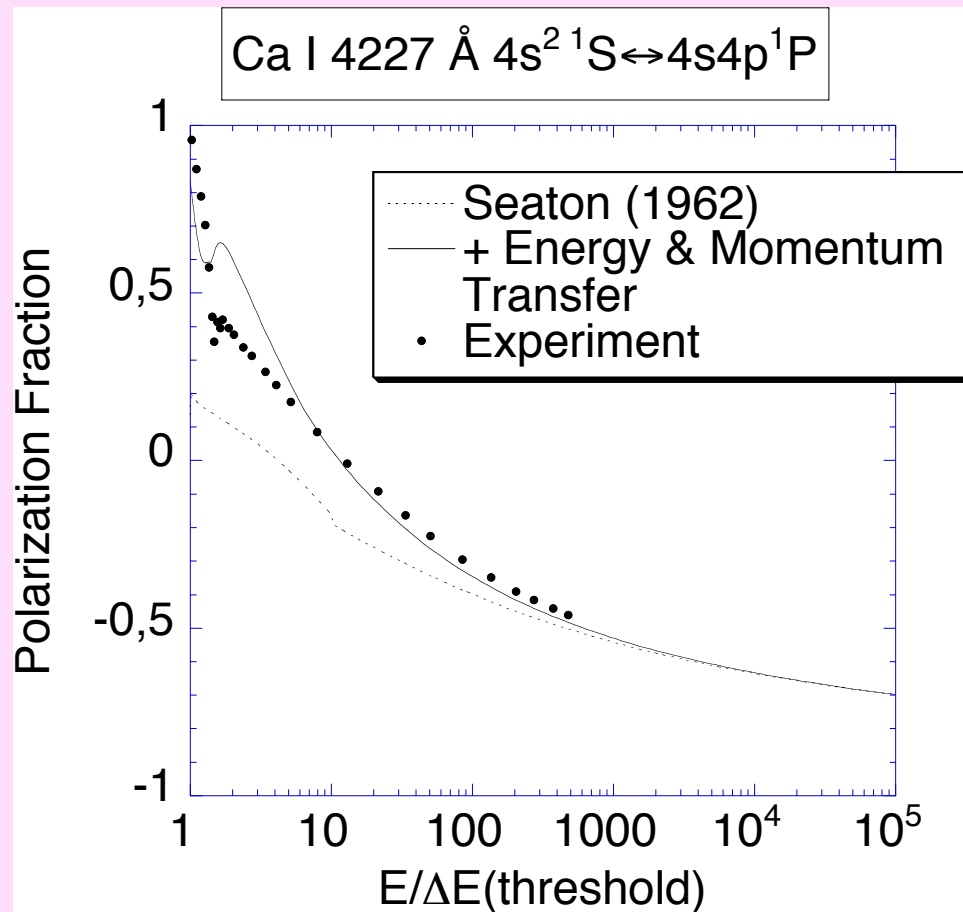
The theoretical impact polarization of the O I 6300 Å red line of Earth aurorae

V. Bommier¹, S. Sahal-Bréchet², J. Dubau^{3,4}, and M. Cornille⁴

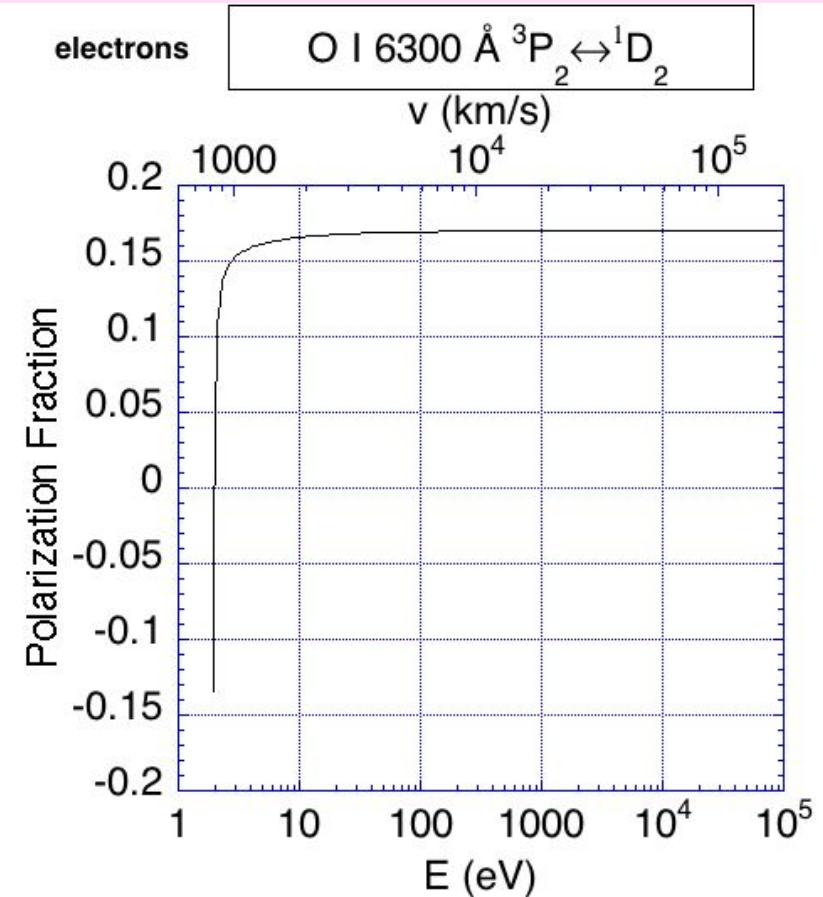
- théorie semi-classique-perturbations, type thèse S. Sahal-Bréchet (1969),
 - étendue au cas de la polarisation par prise en compte du transfert de moment et d'énergie pendant la collision (Bommier, 2006)
 - adaptée au cas de l'excitation quadrupolaire électrique
 - calibrée sur un point d'un calcul quantique (Barklem, 2007) pour franchir l'interdit triplet-singulet

THÉORIE: POLARISATION PAR IMPACT

raie permise
dipolaire électrique
(Bommier, 2006)



raie interdite
excitation quadrupolaire électrique
désexcitation dipolaire magnétique



ÉQUILIBRE CHIMIQUE

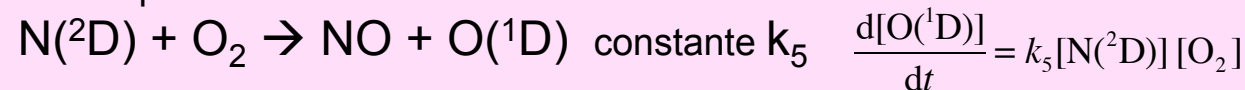
Thèse Olivier Witasse, Grenoble, 2000
direction: Jean Lilensten

Autres processus contribuant à peupler le niveau supérieur O(¹D):

– la recombinaison dissociative de O₂⁺



– la réaction chimique



finalement, la polarisation résulte de l'équilibre d'ensemble
 impact (thermique & suprathermique) & réactions chimiques & cascades radiatives

$$\frac{\rho_u^2}{\rho_u^0} = \frac{N_e v \sigma^{0 \rightarrow 2}}{N_e v \sigma^{0 \rightarrow 0} + N_{eth} k_3 \frac{[\text{O}_2^+]}{[\text{O}]} + k_5 [\text{N}(\text{}^2\text{D})] \frac{[\text{O}_2]}{[\text{O}]}}$$

$\sigma^{0 \rightarrow 2}$ section efficace de création d'alignement (ou polarisation)

$\sigma^{0 \rightarrow 0}$ section efficace de création de population (ou excitation globale)

MODÉLISATION

Approche numérique:

code TRANSCAR de modèle d'ionosphère

Prochaine étape:

y améliorer les calculs d'anisotropie des électrons

pour calculer une polarisation modèle

prenant en compte l'équilibre chimique

collaboration en cours