

12/01/2024, PNST, Marseille



**bepicolombo**



# Mesures des moments d'électrons à Mercure par MEA

50 ans après Mariner 10

M. Rojo, S. Aizawa, M. Persson, J. A. Sauvaud, G. Nicolaou, A. Barthe, E. Penou, N. André, A. Fedorov, S. Yokota, Y. Saito



Mariner 10

Dérivation des moments d'électrons

Donnés 3D

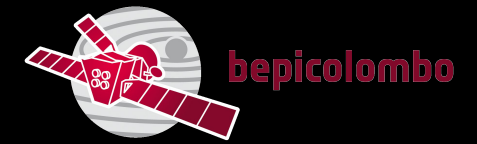
Données Omni

Présentation des résultats pour les survols de Mercure.

Conclusion



# Mariner 10 mission



Mariner 10 (M10) comprend 3 survols de Mercure.

## Deux instruments plasmas :

Face au Soleil : Scanning Electron Analyzer (SEA)

Dos au Soleil : Scanning Electron Spectrometer (SES)

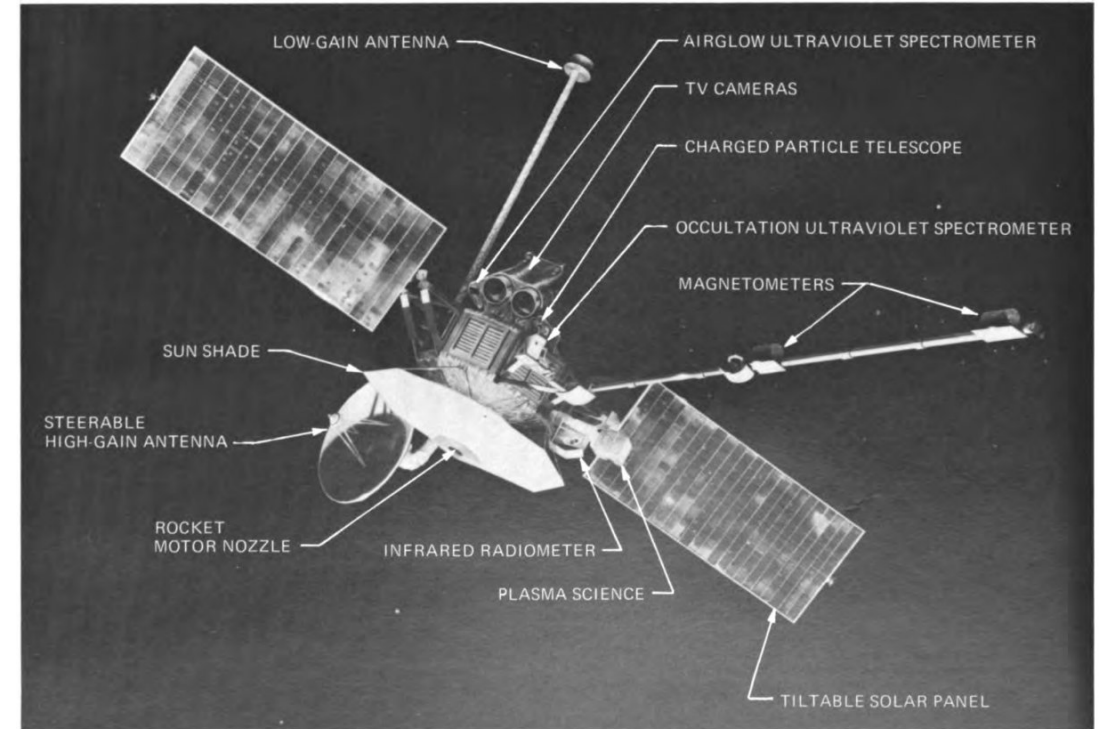
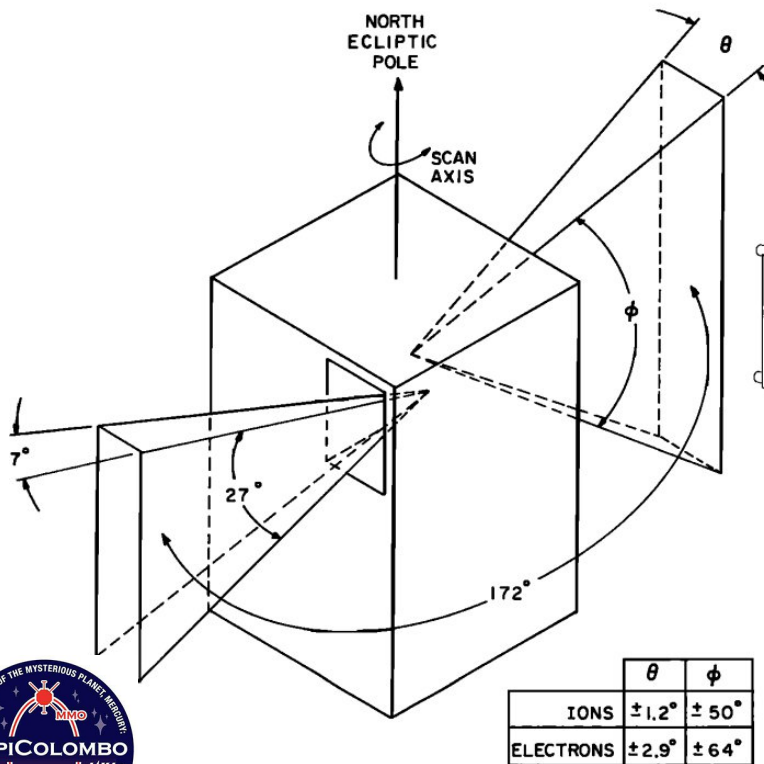
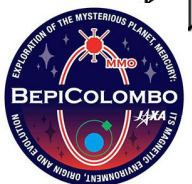


Fig : Mariner 10 et sa charge utile. Photo et schéma de l'instrument plasma à bord de M10. Extrait de James. A (1978) et Ogilvie *et al.* (1977)



## Deux instruments plasmas :

Face au Soleil : ~~Scanning Electron Analyzer (SEA)~~

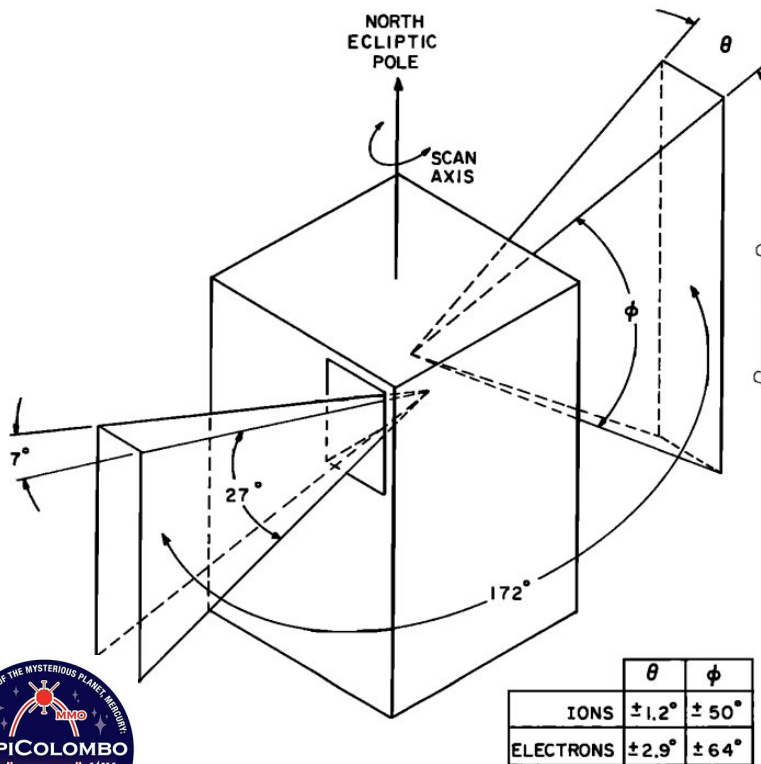
Dos au Soleil : Scanning Electron Spectrometer (SES)

## Malheureusement :

SEA n'a jamais fonctionné

SES a fonctionné correctement pour le 1er survol.

2ème survol : Trop loin





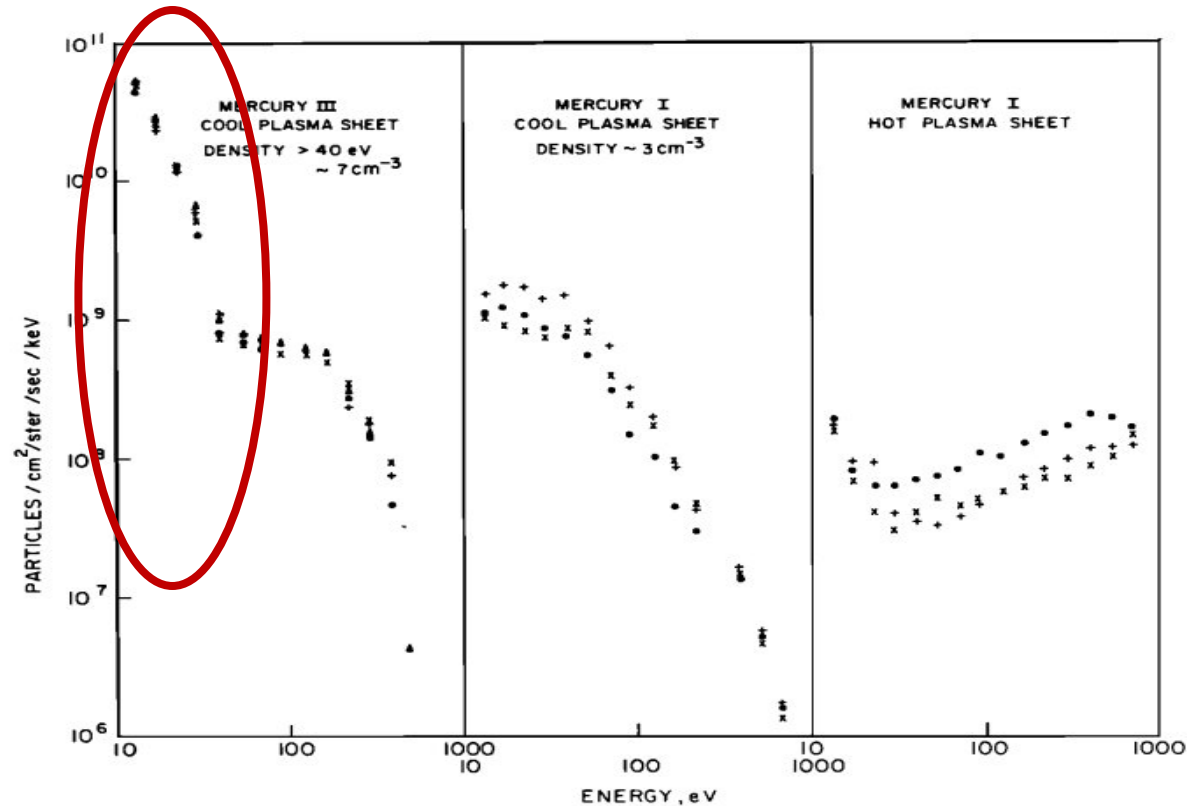


Fig: spectre en énergie des électrons pour les survols 1 et 3 (Ogilvie *et al.* 1977)

## Malheureusement :

SEA n'a jamais fonctionné

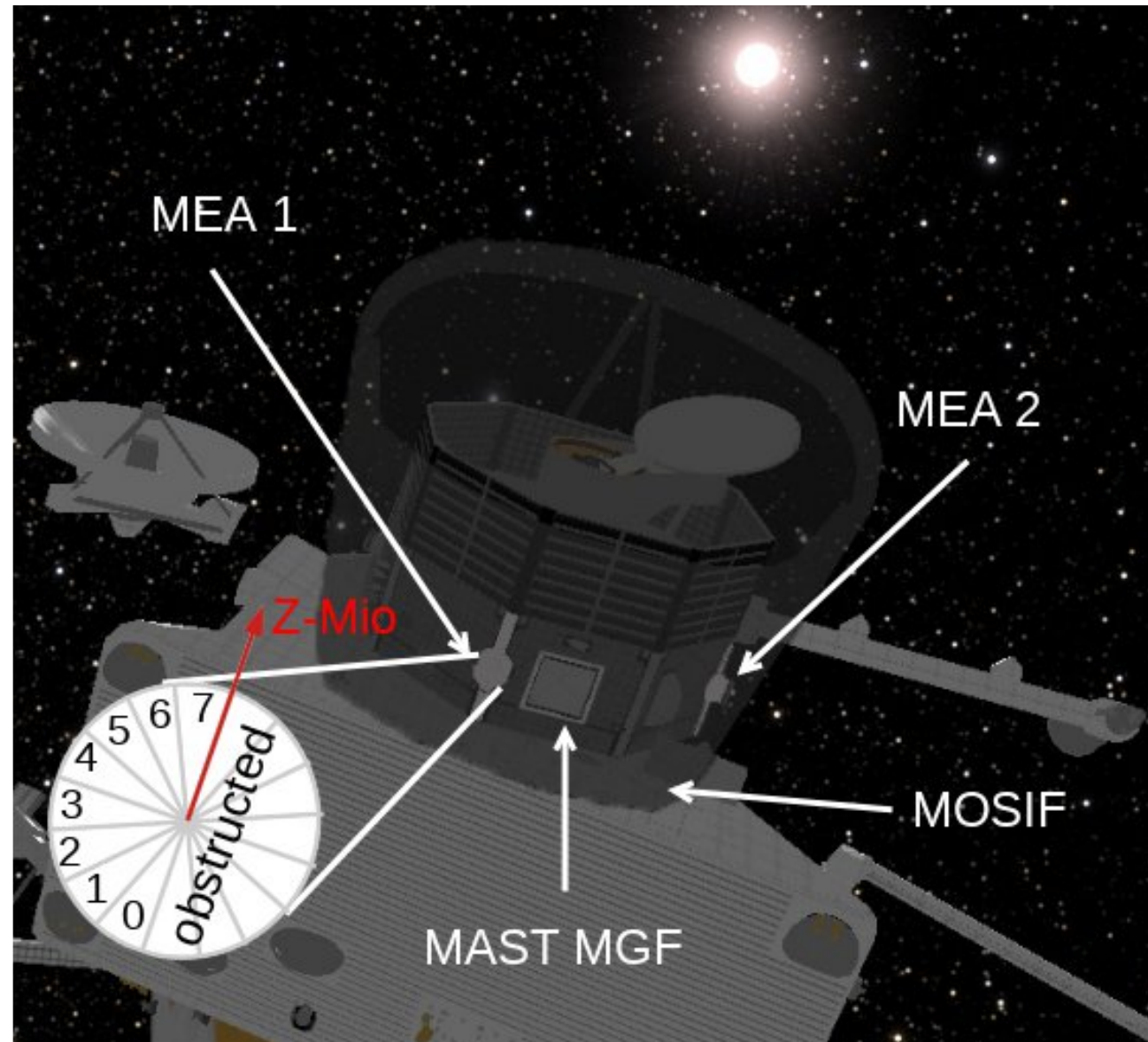
SES a fonctionné correctement pour le 1er survol.

2ème survol : Trop loin

**3ème survol : problème SES à basse énergie**

—> Comparaison uniquement avec le 1er survol

Fig : Configuration de Mio durant son orbite de transfert vers Mercure. Le cercle blanc représente MEA1 et les orientations des différents secteurs.



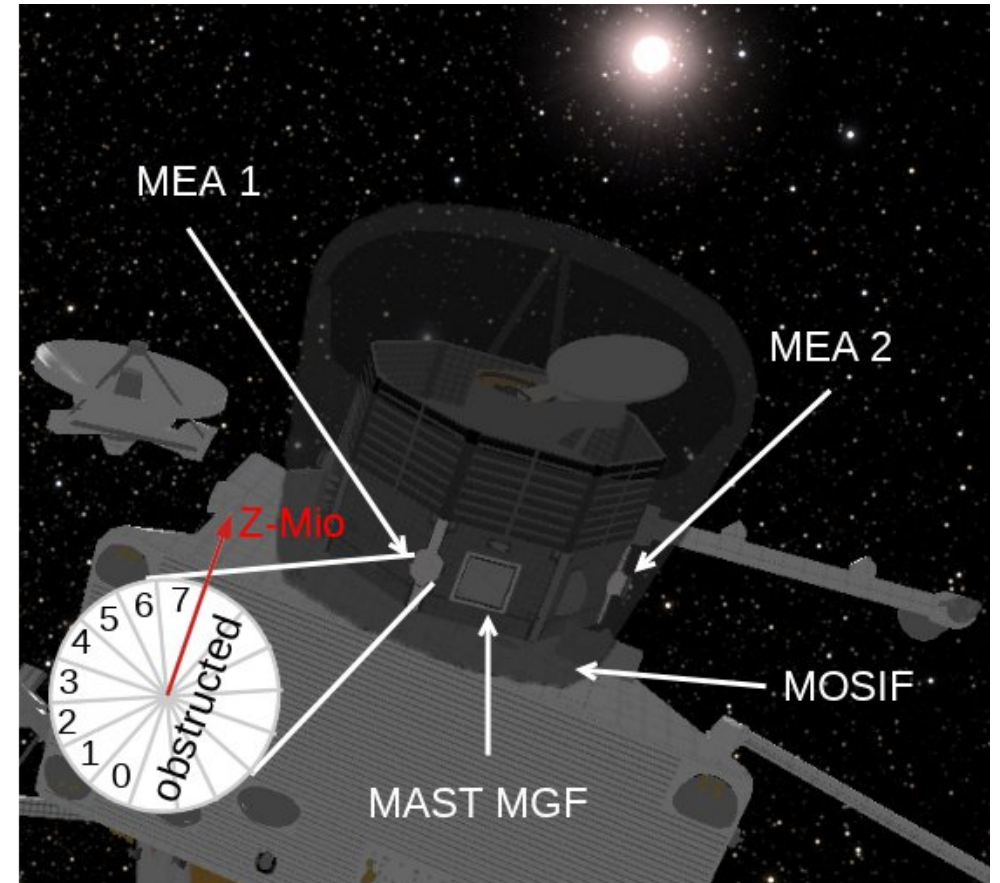
Deux types de données produites en croisière:

**Omni** : comptage **simultané** des électrons sur toutes les anodes **chaque 4 s**.

**3D** : Comptage des électrons **par anode chaque 640 s**.

**Téléométrie limitée** : **16 bin en énergie...**

Comment obtenir les moments des données 3D ?



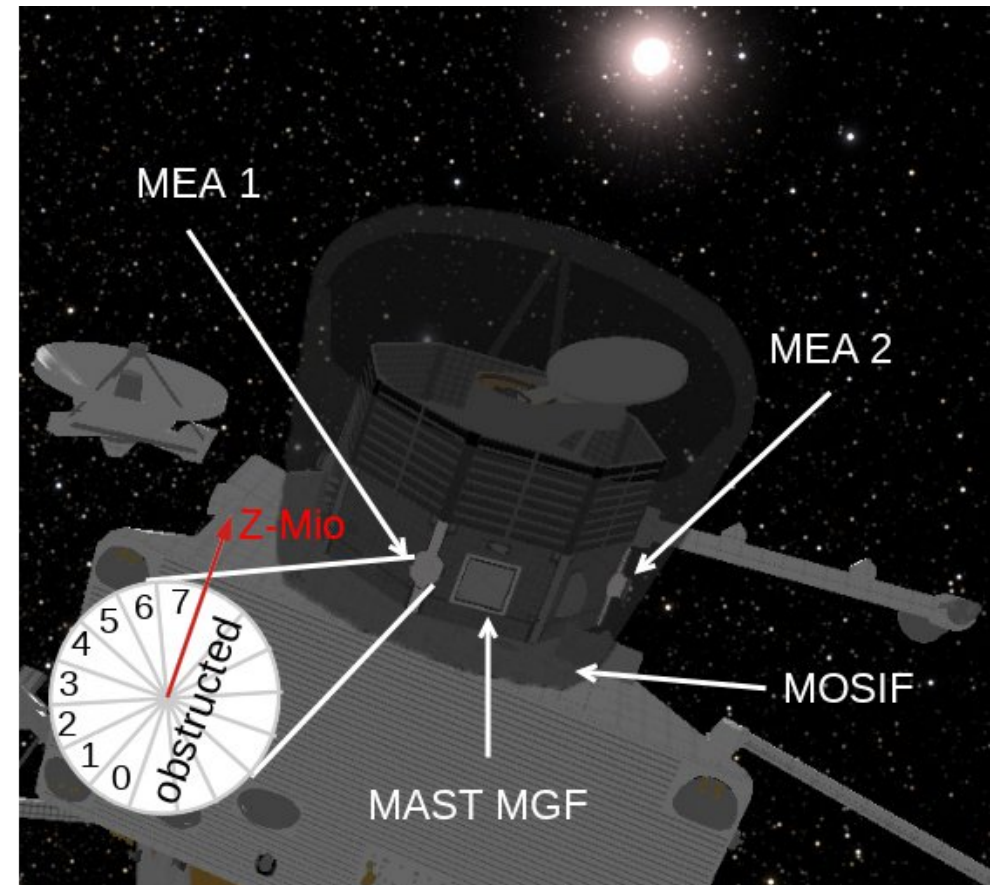
## Deux types de données produites:

**Omni** : comptage **simultané** des électrons sur toutes les anodes **chaque 4 s.**

**3D** : Comptage des électrons **par anode chaque 640 s.**

## Comment obtenir les moment des données 3D ?

- Anodes 6 & 7 voient entièrement l'espace.
  - > Électrons isotropes
  - > Création d'une « anode virtuelle » (comptage max entre 6 & 7)
- Remplacement des anodes par « l'anode virtuelle »
- Suppression des électrons secondaires





# Suppression des électrons secondaires



- Taux de **comptages des électrons brut**
  - Localisation du maximum  
—> Fit maxwellien (**étoiles marrons**)
  - Soustraction du fit sur le taux de comptage
  - Suppression des comptages résiduels de faible énergie (**Aire rose**).
  - Reconstruction des comptages (**ligne pleine marron**):  
—> fit + comptage résiduel à haute énergie.
- **Integration :  $n_e$  et  $T_e$  à partir des données 3D**

Mais résolution temporelle de 640 s ...

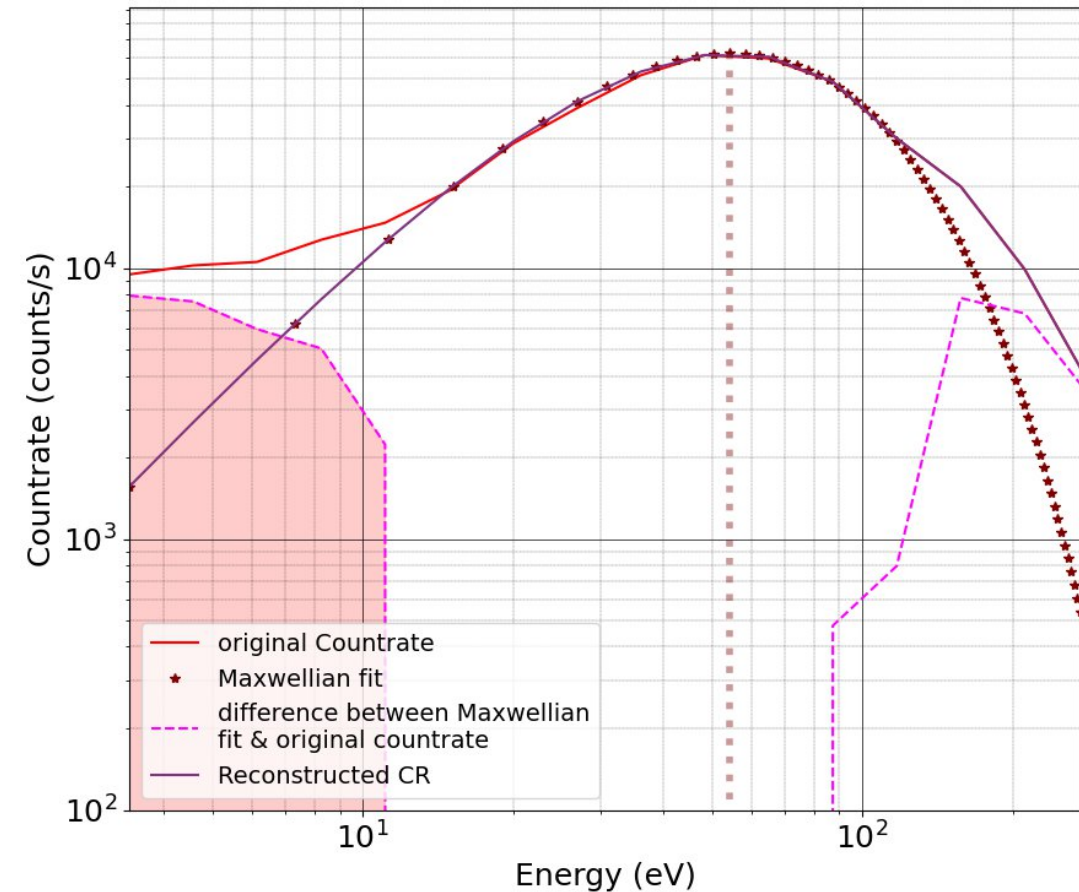
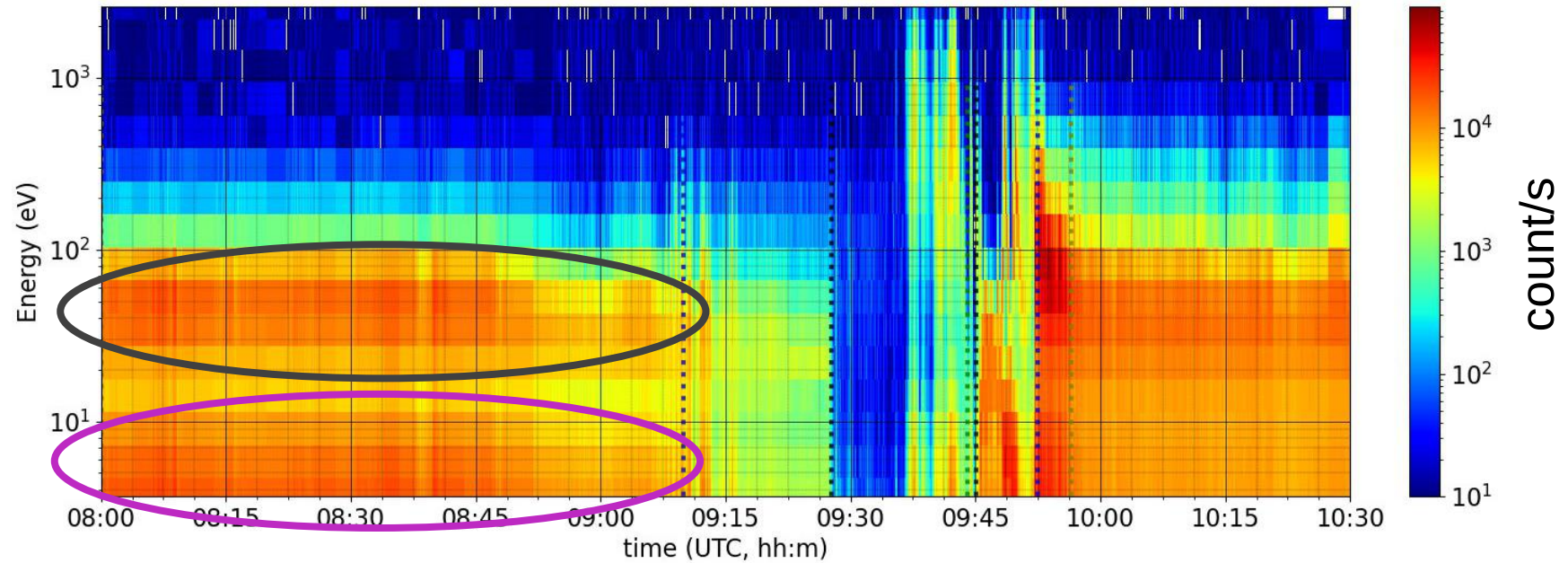
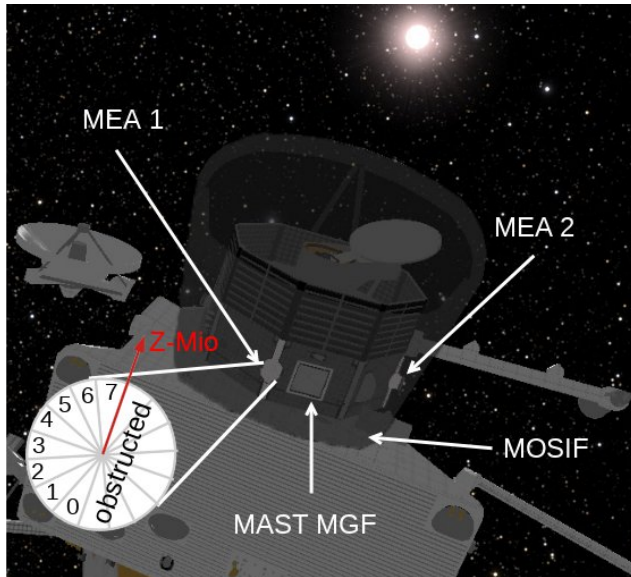


Fig : Illustration de la procédure pour la suppression des électrons secondaires. Mesure faite le 11 Mars 2022 à 19:39:40 UTC.





**Fig:** Spectrogramme énergie – temps des électrons durant le 2nd survol de Mercure, enregistré par MEA1.

Vent solaire: secteur 5, 6 et 7

Émission secondaire et electrons réfléchis par les parois:  
secteur 0, 1, 2, 3 et 4

# Données Omni: temperature



## Bepi proche du soleil:

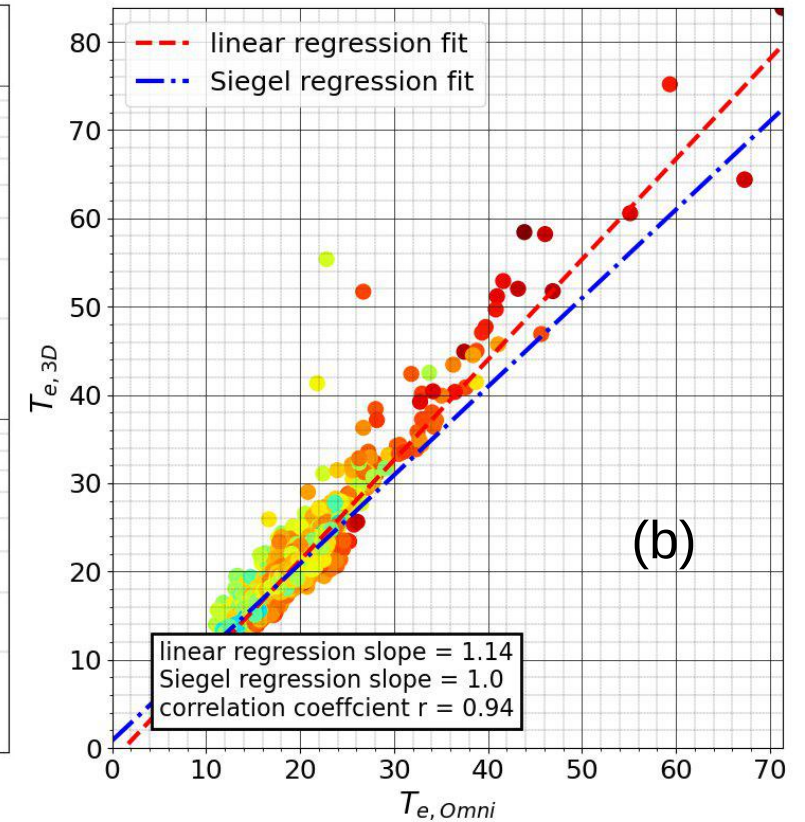
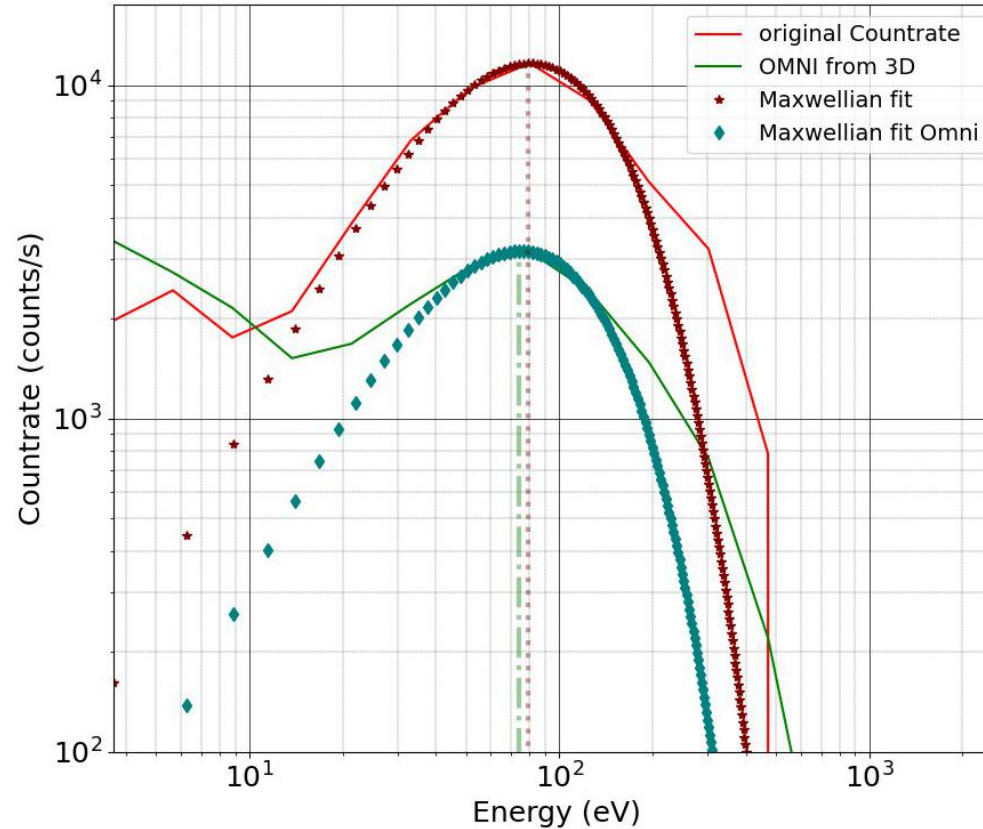
- Détection du maximum possible même en Omni

## Forte corrélation:

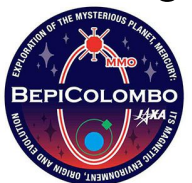
- $T_{e,3D} \approx T_{e,OMNi}$

## Résolution temporelle:

640 s  $\rightarrow$  4 s



**Fig:** (a) exemple de taux de comptage en 3D et en Omni. (b)  $T_e$  vs  $T_{e,Omni}$ .





# Données Omni: densité

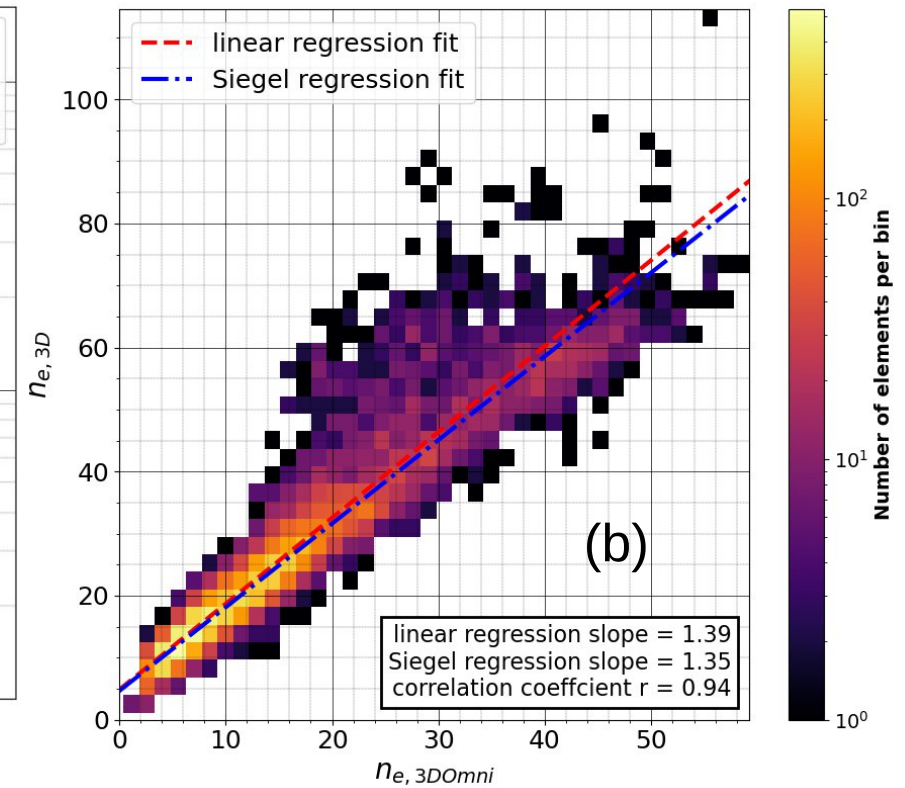
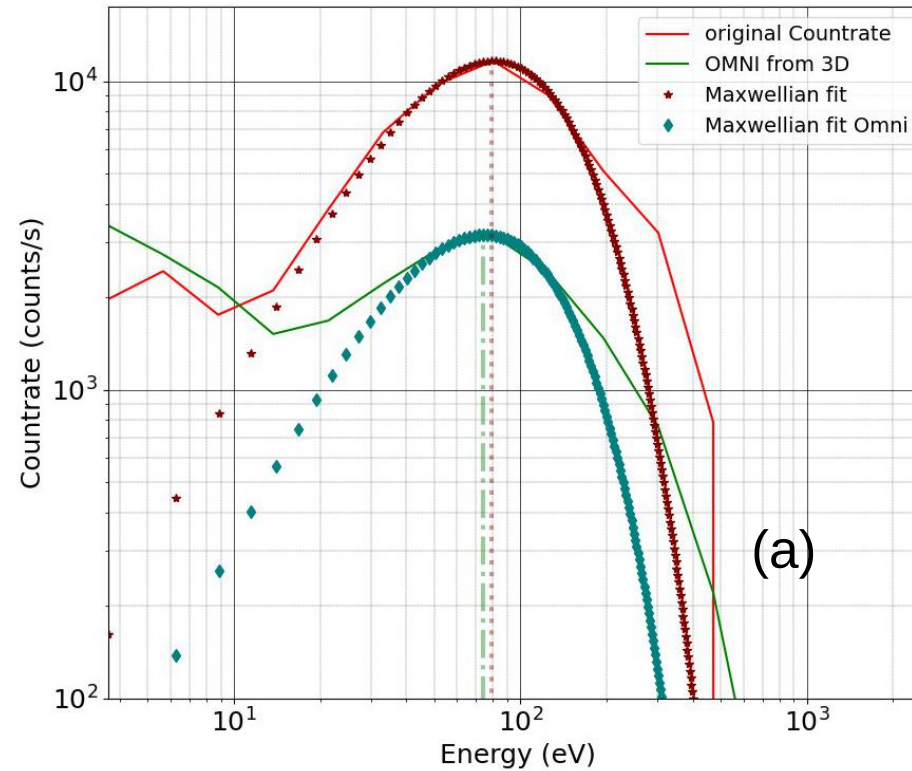


Forte corrélation:

- $n_{e,3D} \approx 1.4 \times n_{e,OMNi}$
- Shift  $n_{e,Omni}$  à  $n_{e,3D}$

Résolution temporelle:

640 s  $\rightarrow$  4 s



**Fig:** (a) exemple de taux de comptage en 3D et en Omni. (b) Histogramme 2D,  $n_e$  VS  $n_{e,OMNi}$





# Comparaison des spectres en énergie



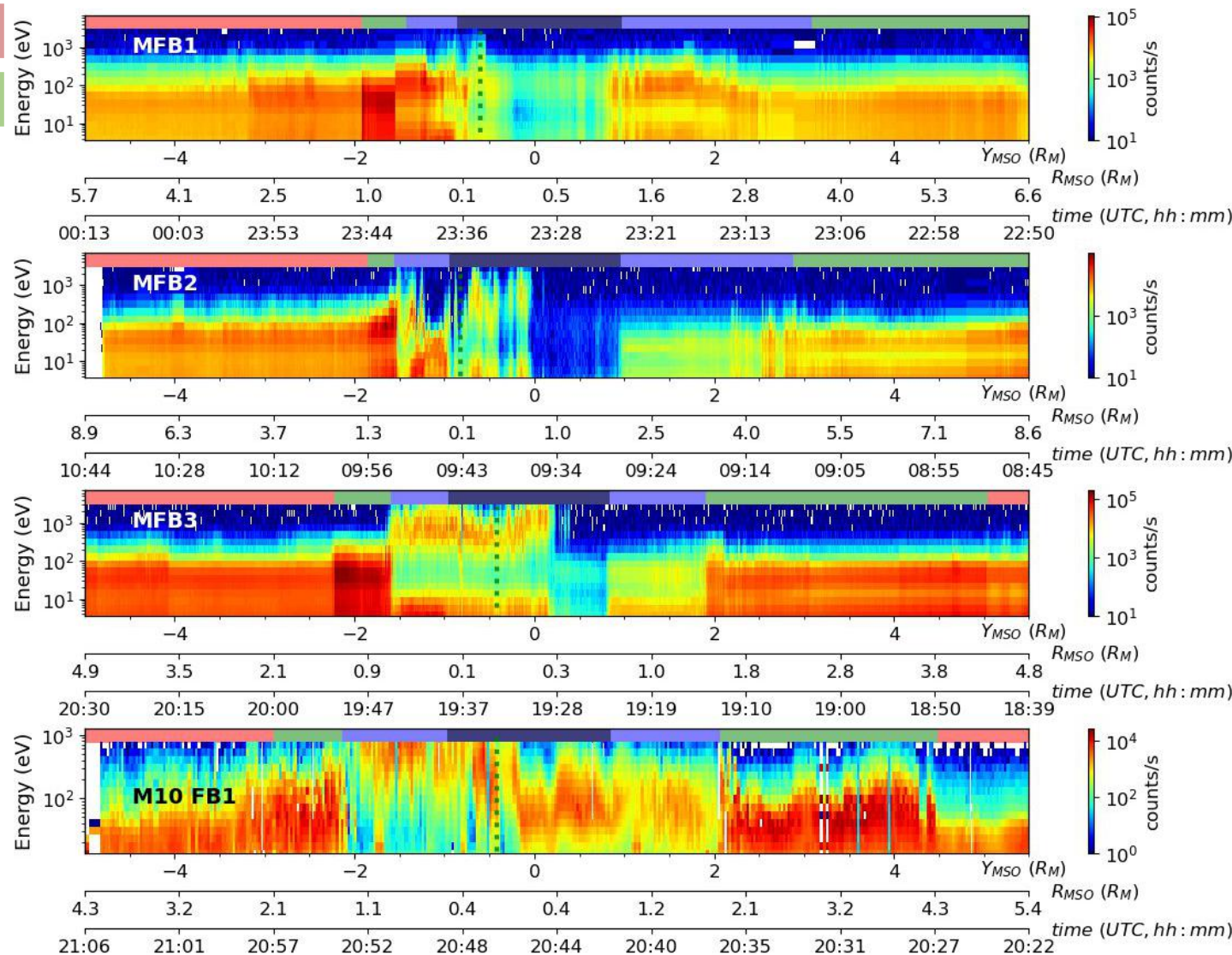
**On retrouve la tendance observée avec M10 :**

Magnétosphère : cavité  
asymétrie dusk/dawn

**Malgré quelques différences :**

Pas d'asymétrie pour MFB1

Effet de sillage et/ou de charging mesuré par MEA1.



**Fig:** Spectrogramme de MEA1, pour MFB1, 2 , 3 et de SES pour M10 FB1.



# Trajectoire des survols et frontières



Entrée : dusk nuit  
Sortie : matin jour

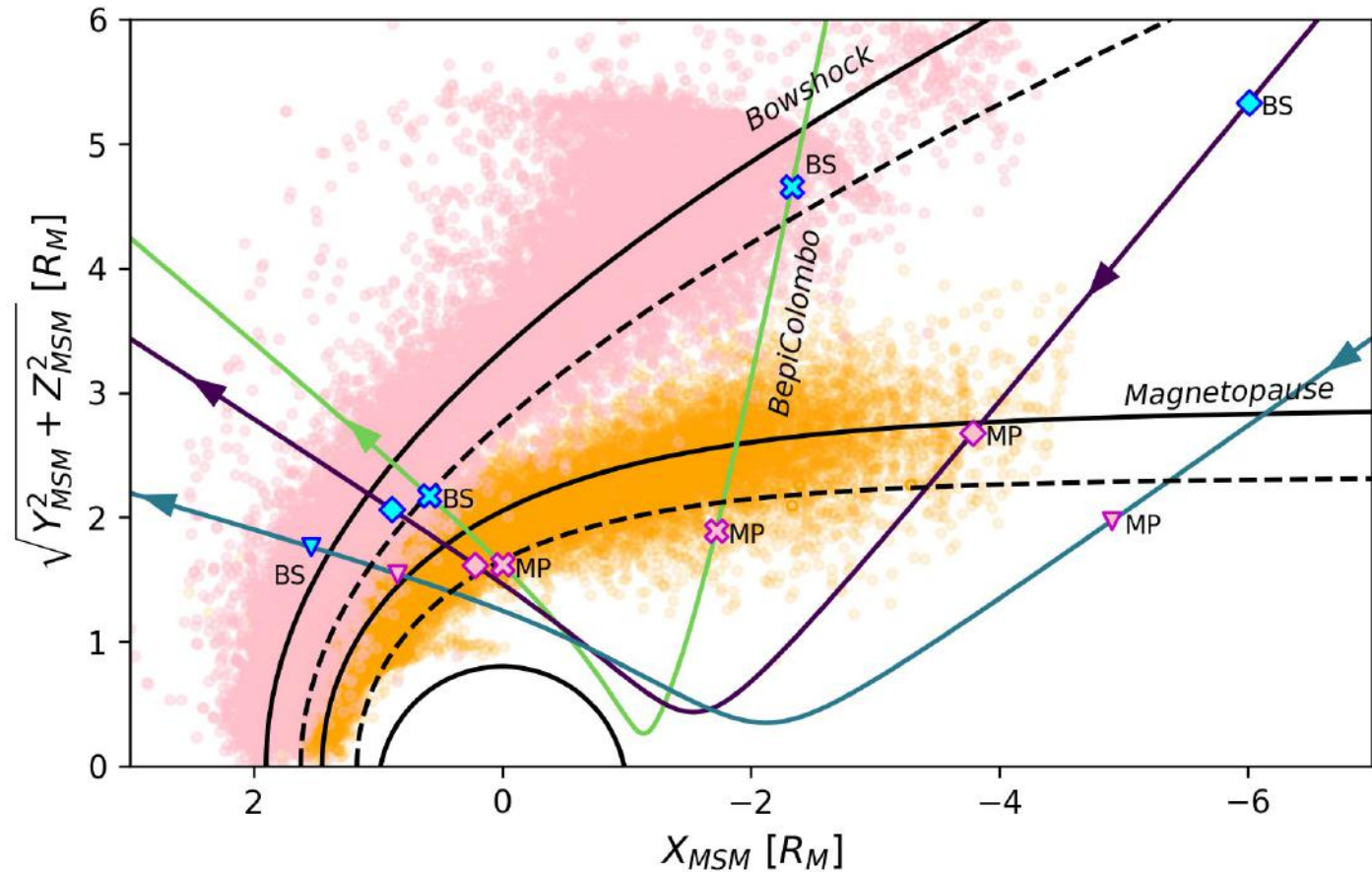
**BepiColombo:**

Nord vers Sud

**Mariner 10:**

Sud vers Nord

MFB1, MFB3 :  
Magnétosphère comprimée



**Fig:** Trajectoire de BepiColombo durant les 3 premiers survols de Mercure : MFB1, 2 et 3 respectivement. Les lignes noires pleines et pointillés représentent la position moyenne et lors du MFB3 du choc (Slavin et al., 1981) et de la magnétopause (Shue et al., 1997) respectivement. Les points roses et oranges représentent les détections de traversées de frontières durant la phase nominale de MESSENGER (Winslow et al., 2013)





# Comparaison des densités

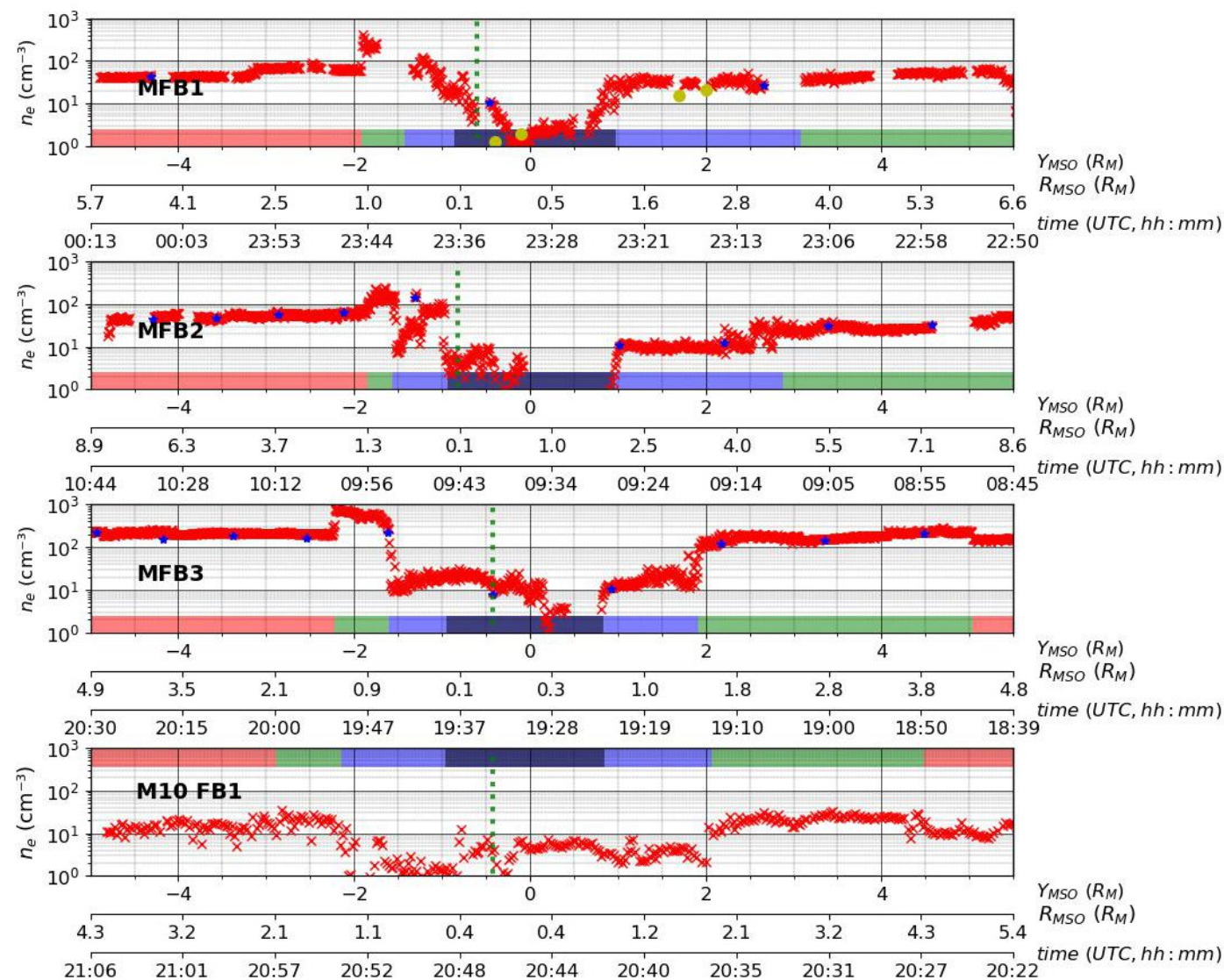


Plasma plus dense dans la magnétogaine

Vent solaire très dense pour MFB3 !!

Mariner 10 sous-estime d'un ordre de grandeur les densités.

Bon accord avec  $n_i$  (Y. Harada et al. 2022).  
 Bon ordre de grandeur avec SORBET  
 (Griton et al. 2023)



**Fig:** densité électronique, pour MFB1, 2 3 et M10 FB1.



# Comparaison des températures

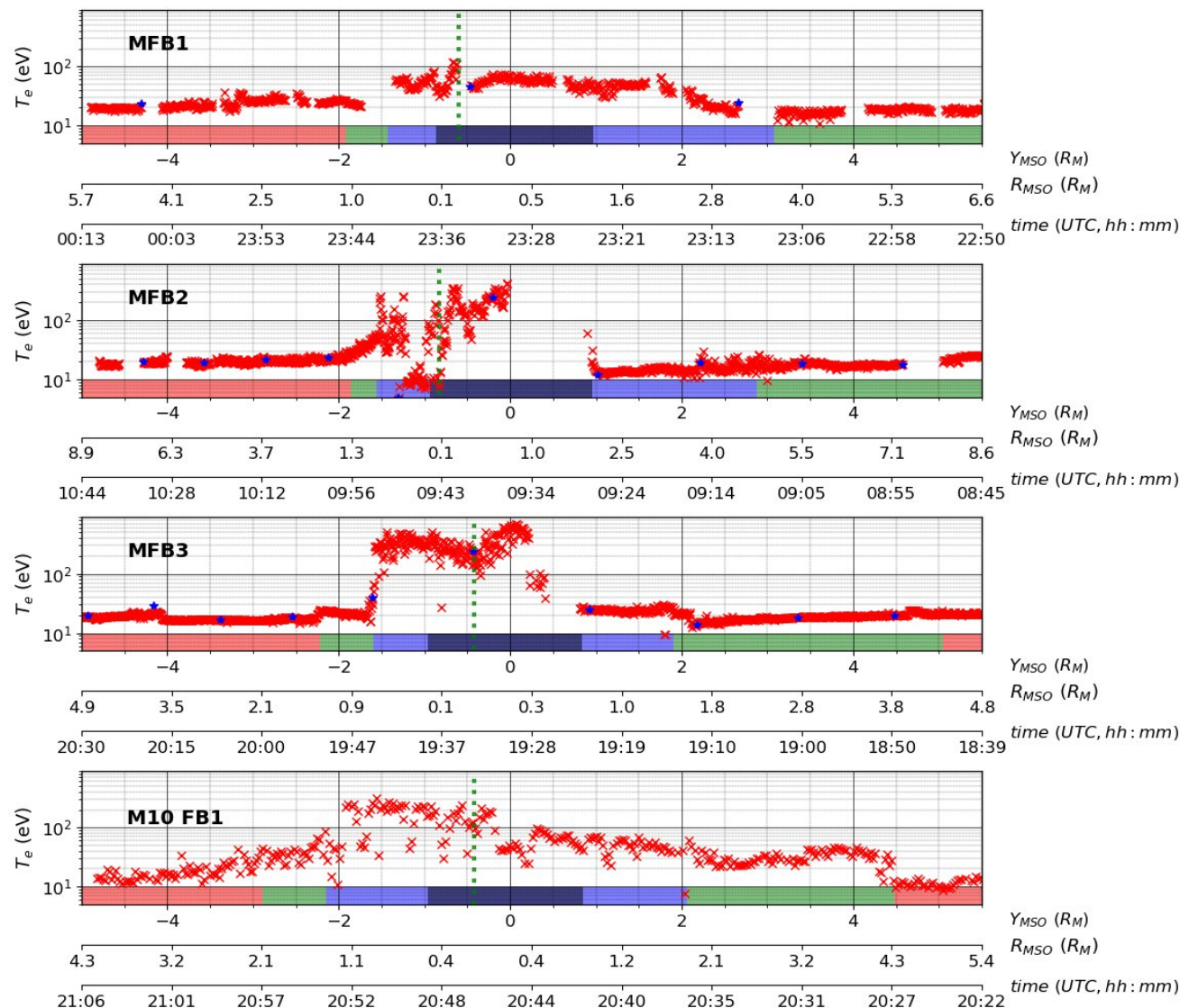


Asymétrie : Électrons énergétiques détectés après minuit et le matin.

Bon accord avec Mariner 10

Injection des électrons côtés post-minuit.

Pas d'asymétrie pour MFB1



**Fig:** Séries temporelles des spectres en énergie des taux de comptages, pour MFB1, 2 , 3 et M10 FB1.

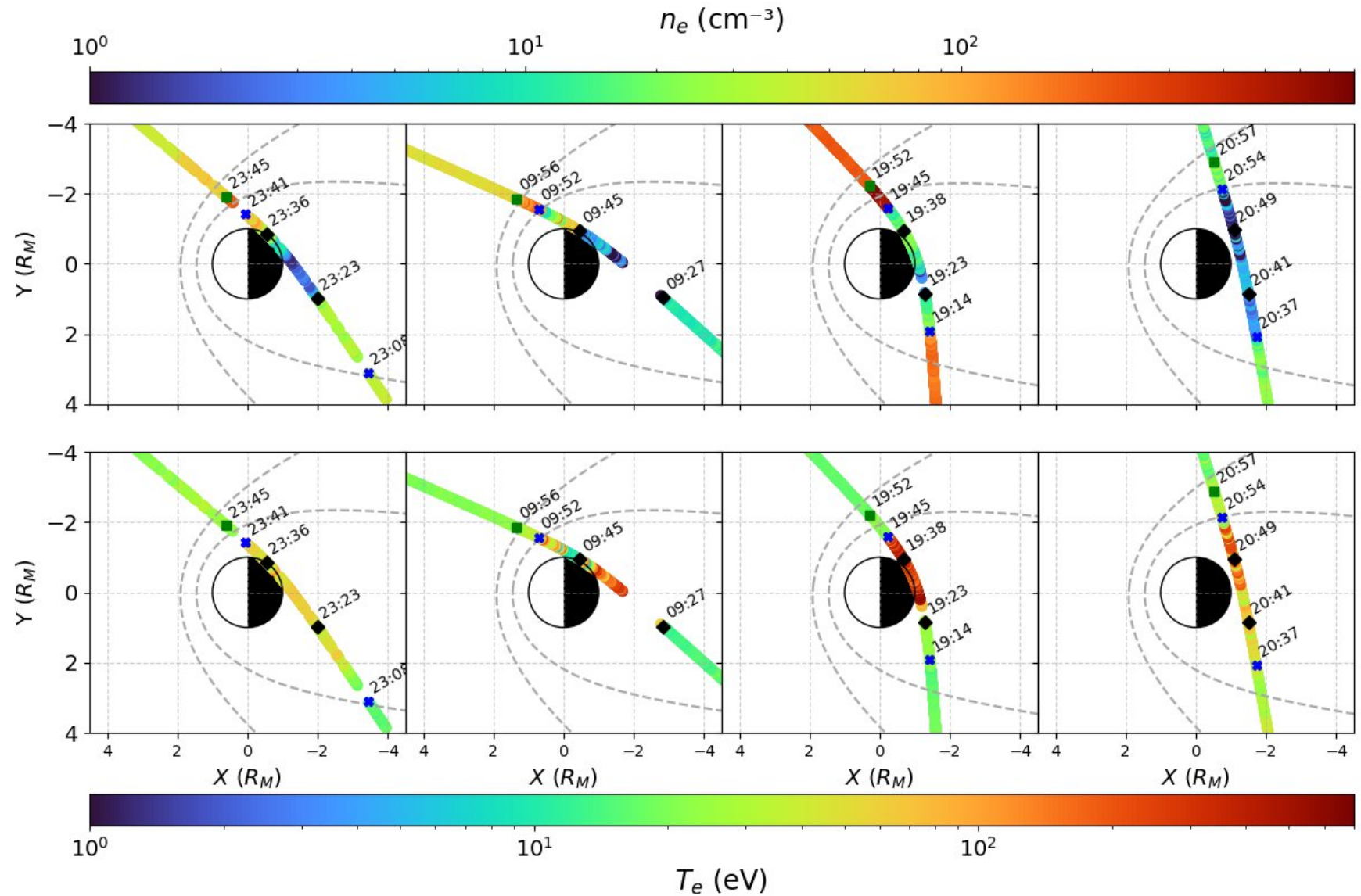




- Malgré les contraintes géométriques possibilité de déduire les moments d'électrons: densité et température.
- Suppose électron isotrope, pas de pitch angle (ou très partiels)
- Mariner 10 et Messenger sous-estime  $n_e$ .
- Entrée en éclipse : effet réel ? Effet de sillage, charge de surface ?  
Regarder les sondes Themis B & C.

Merci pour votre attention

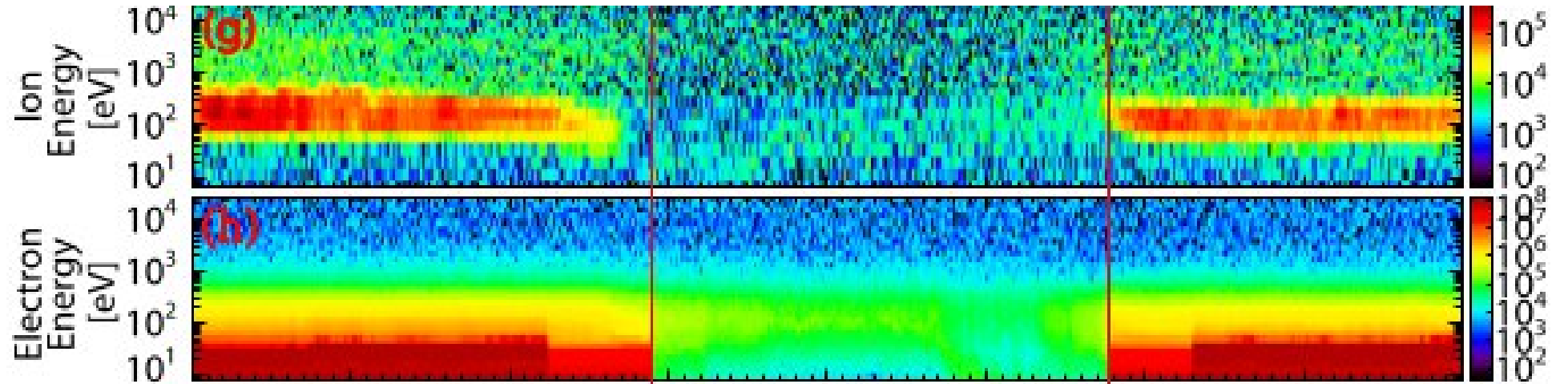
# Données Omni: densité et température



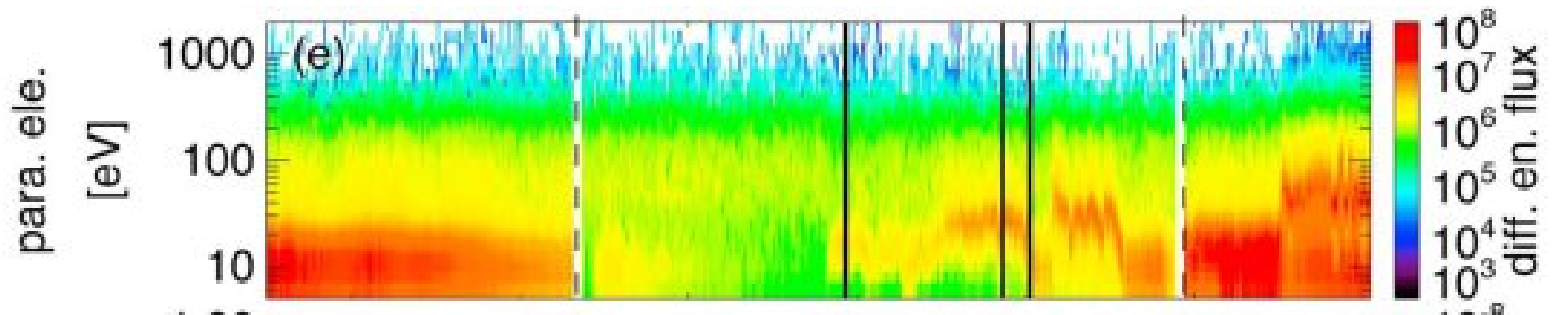
12/01/2024

Lunar wake, ESA

Xu *et al.* 2019



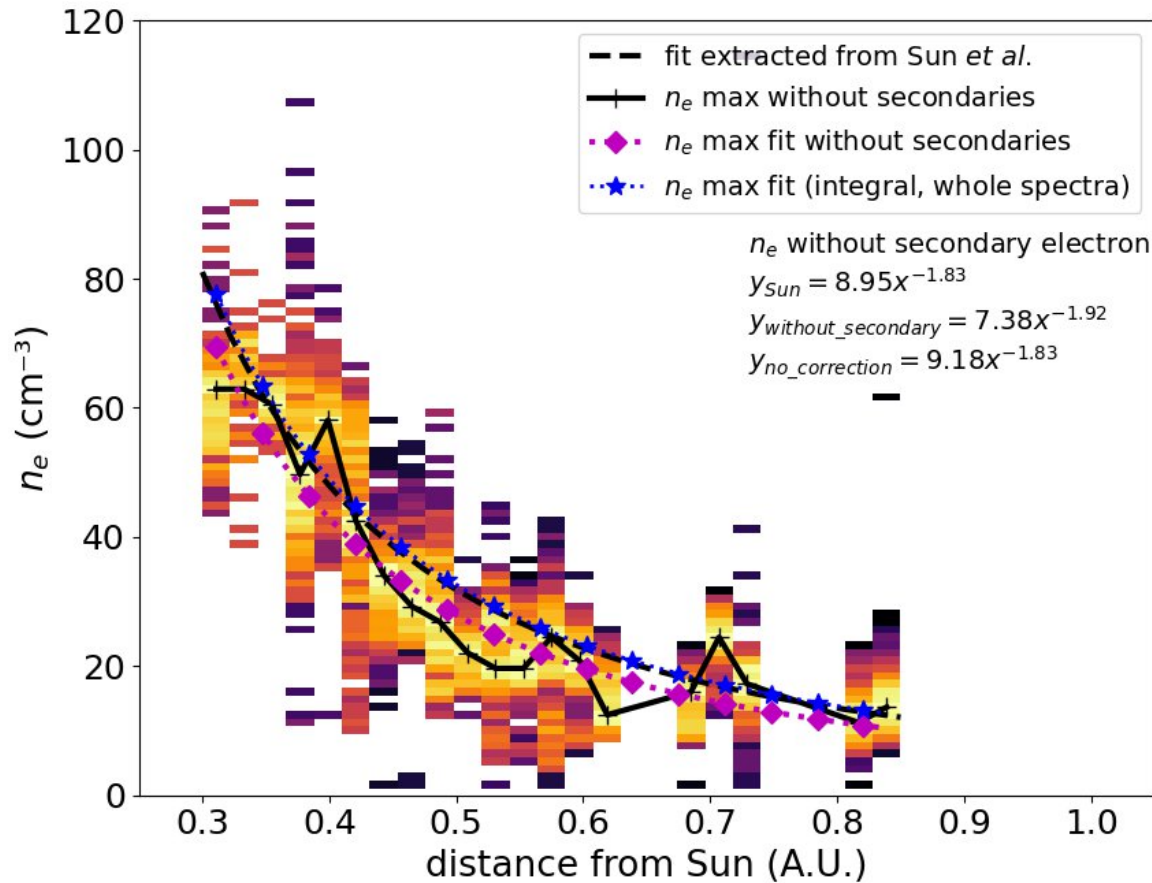
Tao *et al.* 2012



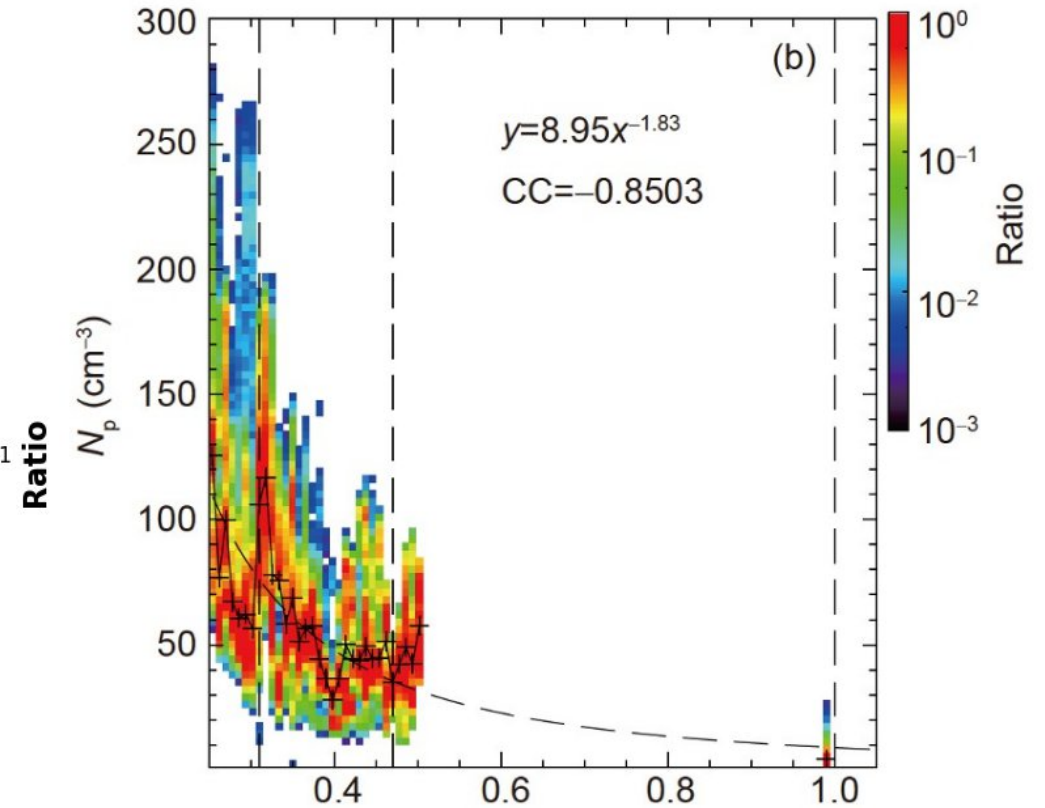


# Comparaison statistique de la densité

## Statistical study: $n_e$ vs distance to the Sun



**Fig:** Histogramme 2D de  $n_e$  vs  $r_{Sun}$ . Pour chaque intervalle de distance on normalise par la valeur maximale de la densité.



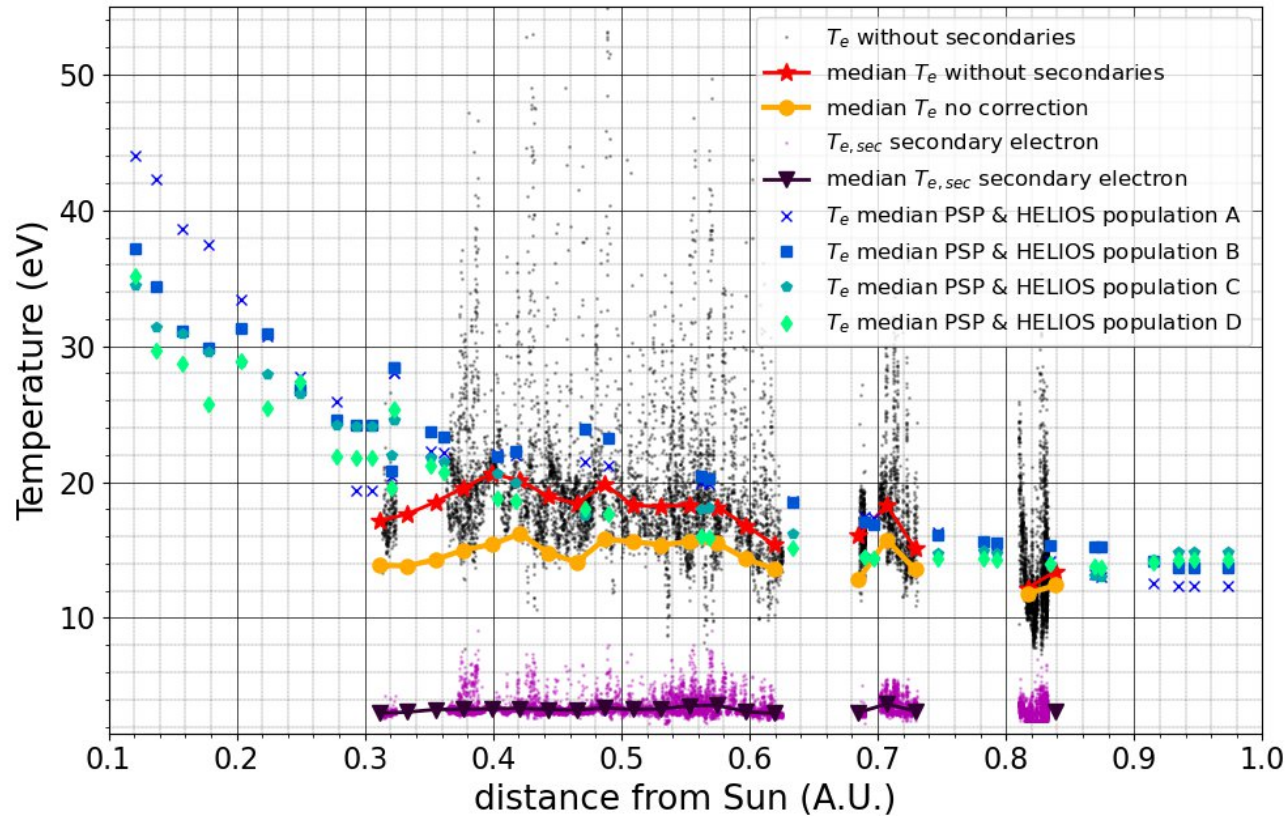
**Fig:** idem avec la densité de proton mesurés par PSP (extrait de Sun et al. 2021).

➤  $n_e$  décroît avec la même tendance lorsque  $r_{Sun}$  augmente.



# Electron moments comparison

## Statistic comparison : $T_e$ vs distance to the Sun



**Fig:**  $T_e$  vs  $r_{Sun}$ . **Dark blue** to **light blue** symbols are median  $T_e$  for **slow** to **fast** solar wind speeds (extracted from Dakeyo (2022)). **Red stars**, **yellow circles** and **purple triangles** are the median  $T_e$  measured by MEA 1 when **secondaries have** and **don't have** been removed and for the **secondary electron**.

Comparison with Dakeyo *et al.* (2022)

Dakeyo *et al.* (2022) use PSP & HELIOS electronic temperature.

Median  $T_e$  classified with SW speed.

➤ Removing the secondary electron allows to retrieve PSP and Helios trend.

➤  $T_{e,sec}$  around 3.5 eV

