

La haute atmosphère de la Terre primitive : Une source de composés organiques prébiotiques

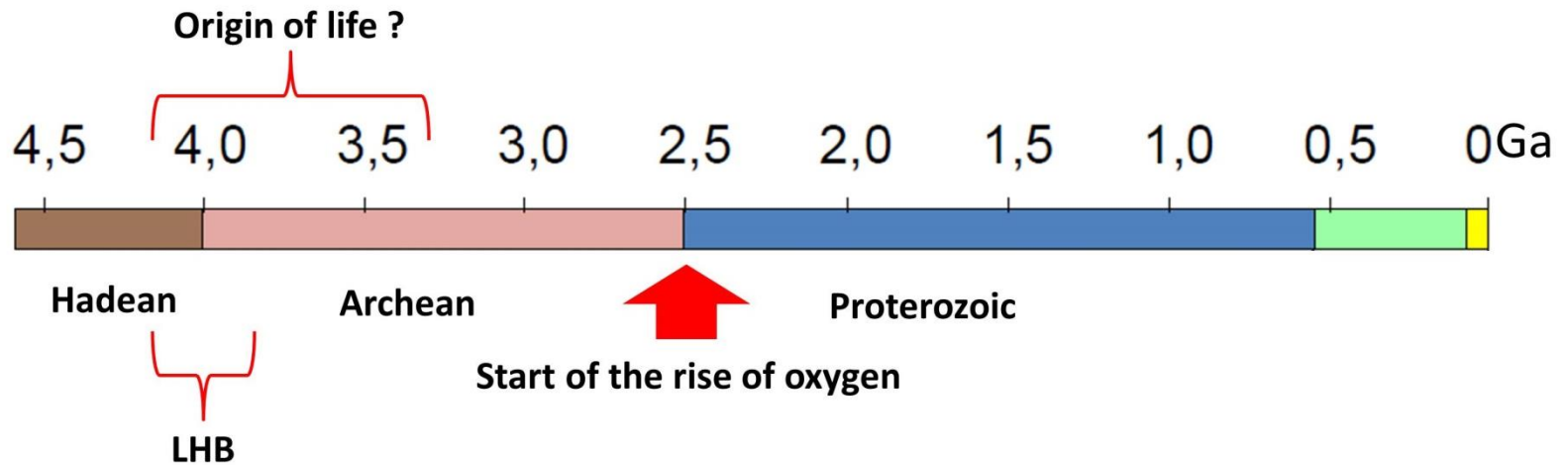
Benjamin FLEURY

Thèse encadrée par Nathalie Carrasco

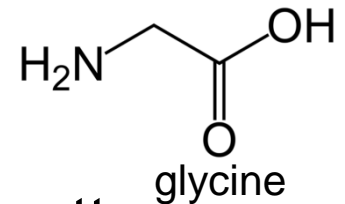
17 Novembre 2014 – Colloque DIM ACAV

« Projet soutenu par l'attribution d'une allocation doctorale région Ile-de-France »

Terre primitive



- Chimie prébiotique avant l'apparition de la vie
- Origine de la matière organique cruciale pour cette période
- Sources de matière organique?

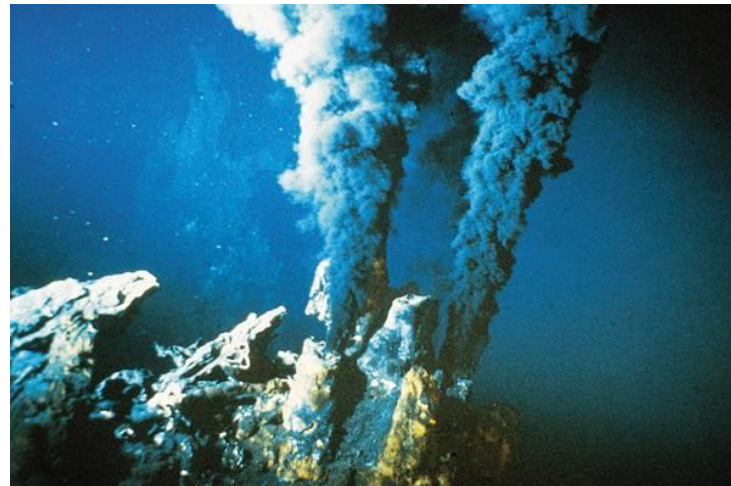


Sources de la matière organique ?

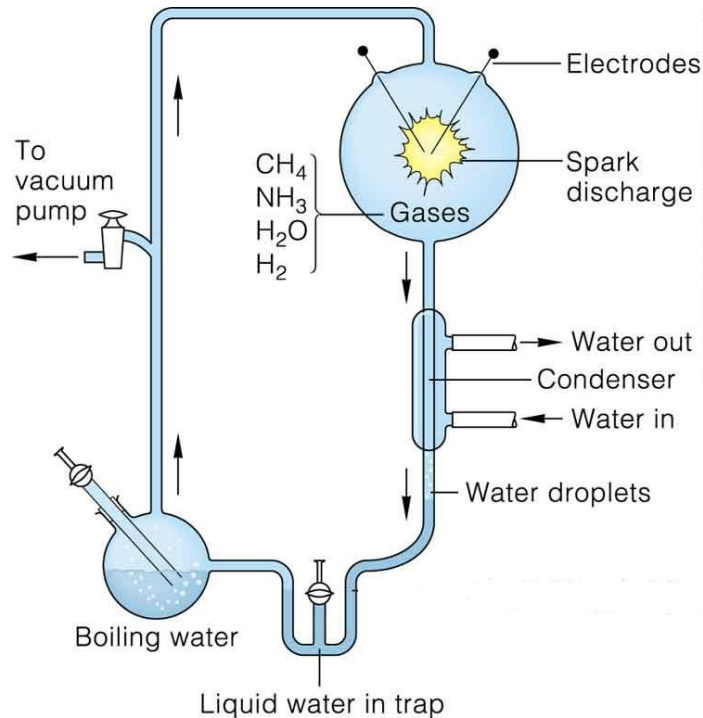
- Sources exogènes :
Météorites et Comètes



- Sources endogènes :
Océans (Sources hydrothermales)



Source atmosphérique



Chimie organique réduite
étudié par Miller: mélange
gazeux composé de NH₃-
CH₄-H₂O-H₂

Mise en évidence de la
formation de molécules
organiques complexes

Science, Miller 1953

- Mais la théorie actuelle (Etat d'oxydation du magma) →
atmosphère oxydée dominée par N₂ et CO₂

Nature, Trail et al. 2011

Approche expérimentale

Plus récemment: mélange gazeux $N_2/CO_2/CH_4$ irradié à Lyman- α /121.6 nm

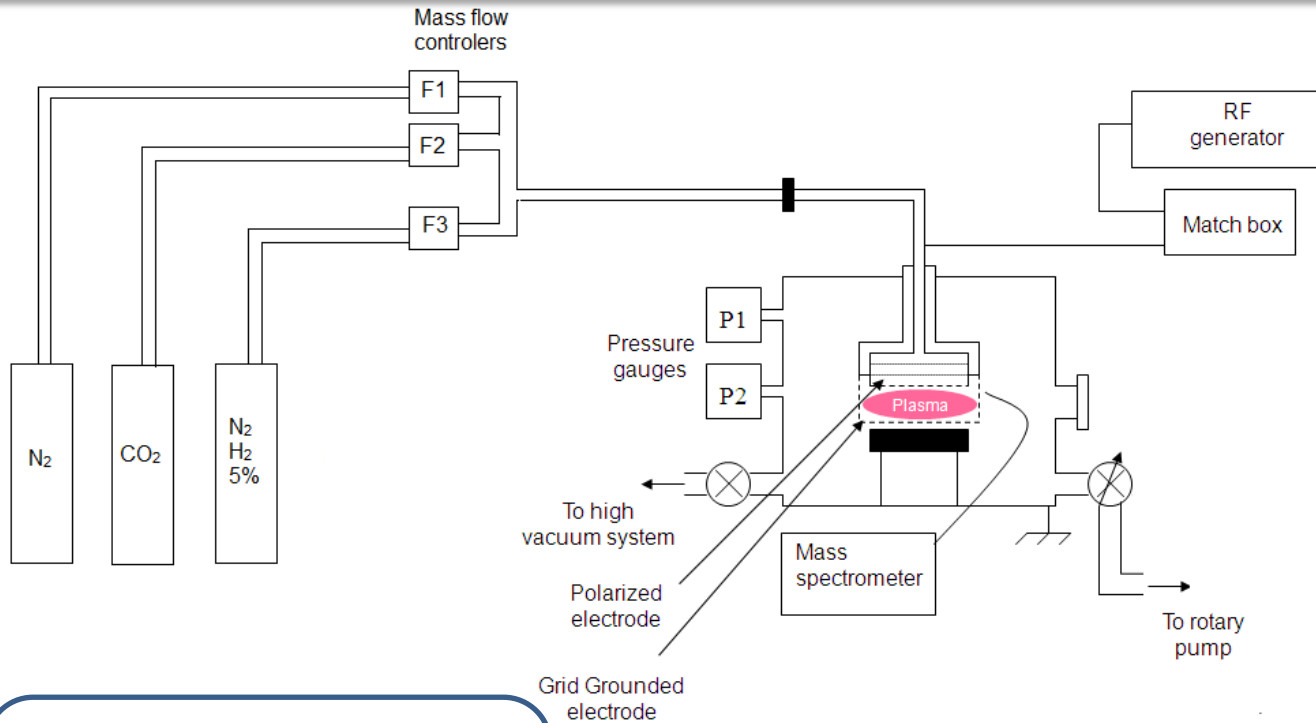
- Mise en évidence d'une chimie organique basé sur CH_4
- Pas de chimie de l'azote

PNAS, Trainer et al. 2006

Comment simuler une chimie organique avec un couplage de C, H, N et O?

Possibilité de dissocié l'azote dans la haute atmosphère (ionosphère) avec $\lambda < 100$ nm

Comment simuler la chimie ionosphérique?



$P \sim 0.9$ mbar
Neutres à température ambiante

Décharge plasma → dissociation de l'azote

Quelle composition atmosphérique?

Durant l'Archéen:

$[N_2] = 0.5 \text{ à } 1.1 \text{ bar}$

$[CO_2] < 0.7 \text{ bar}$

Science, Marty et al. 2013

Source d'hydrogène?

- CH_4 : sujet à débat (pas de source d'émission prouvée)
- Une autre source possible: H_2 (issue du dégazage)

1 % durant l'Archéen

EPSL, Kuramoto et al. 2013

Mélange gazeux utilisé:

$[N_2]_0 = 86 \text{ à } 95 \%$

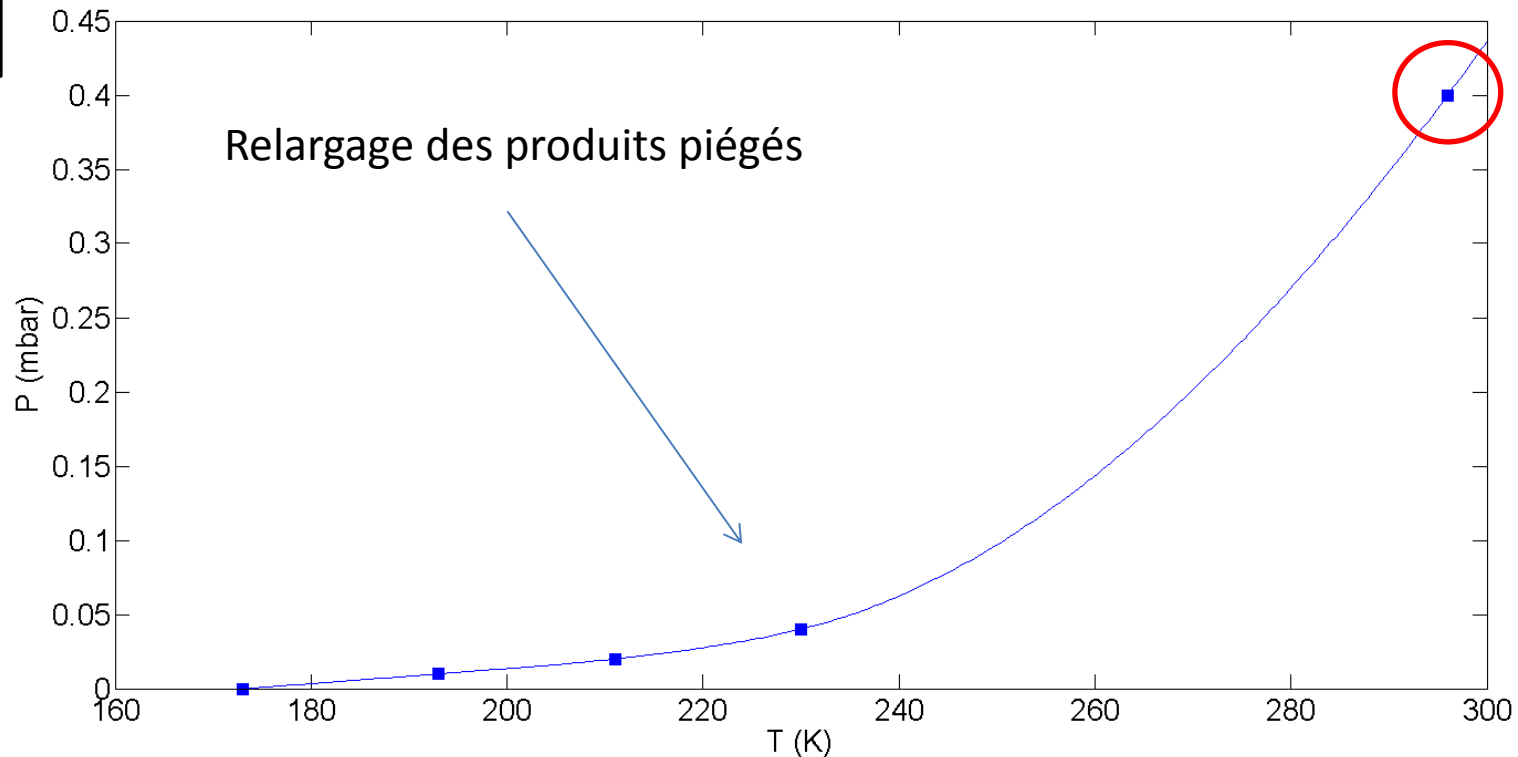
$[CO_2]_0 = 1 \text{ à } 10 \%$ → Seule source de carbone

$[H_2]_0 = 4 \%$

Détection des produits volatiles

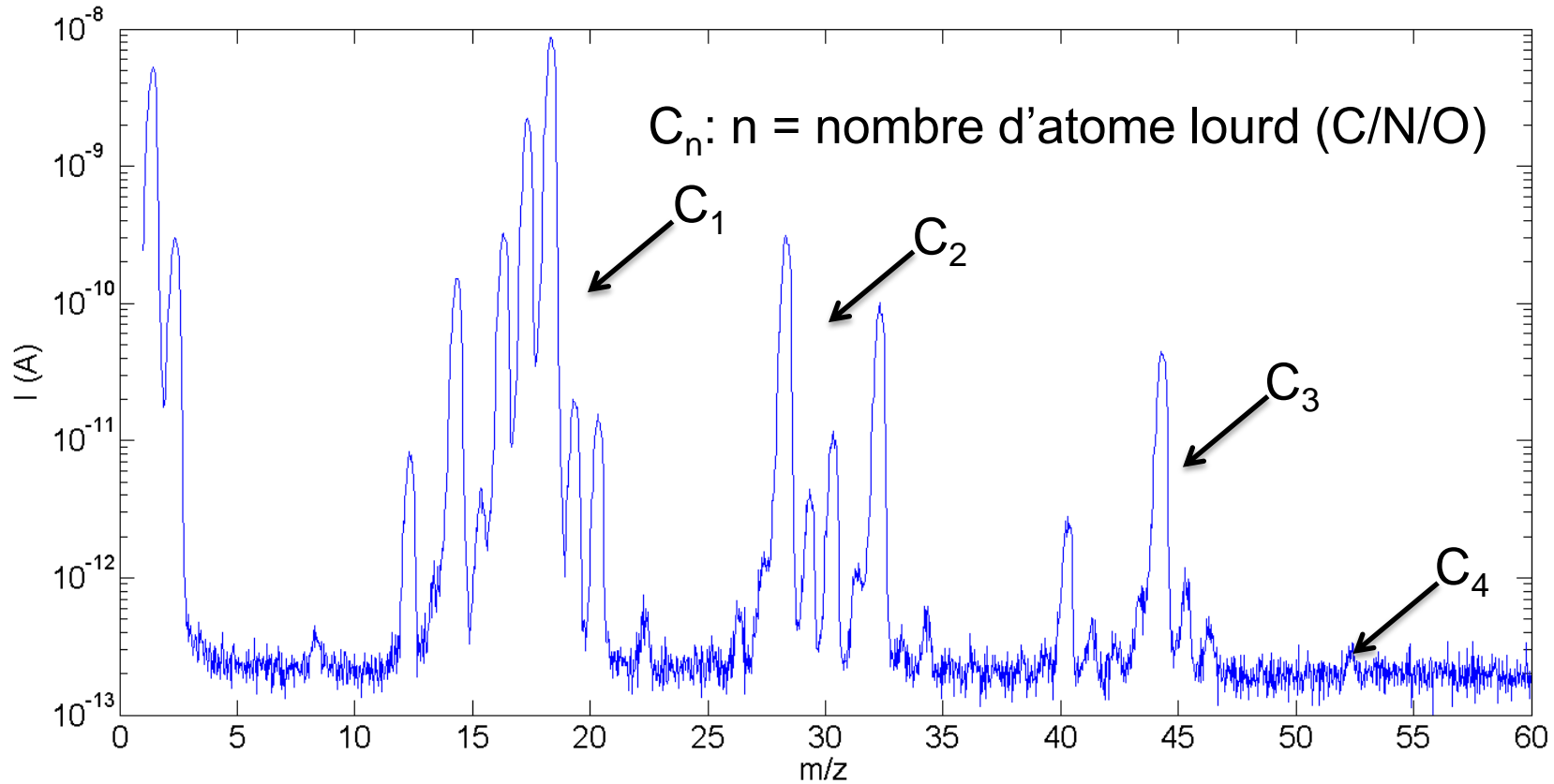


Piégeage cryogénique dans le réacteur (circulation de L_{N_2}) ~2 hrs
↗ progressive de la température:



Analyse des produits à température ambiante

Analyse des produits par spectrométrie de masse



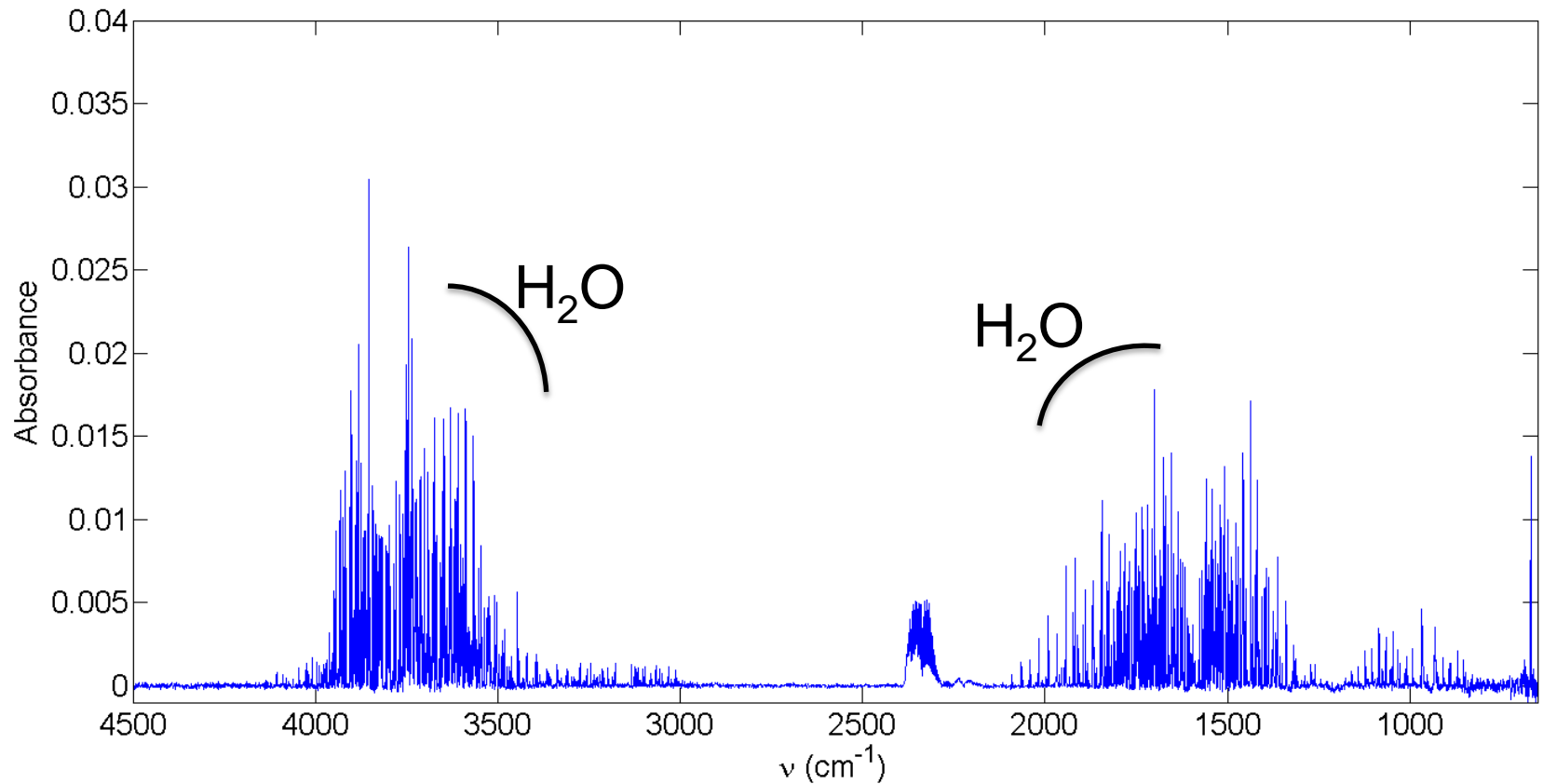
Produits avec m/z jusqu'à 60

→ Croissance organique dans un mélange gazeux oxydé

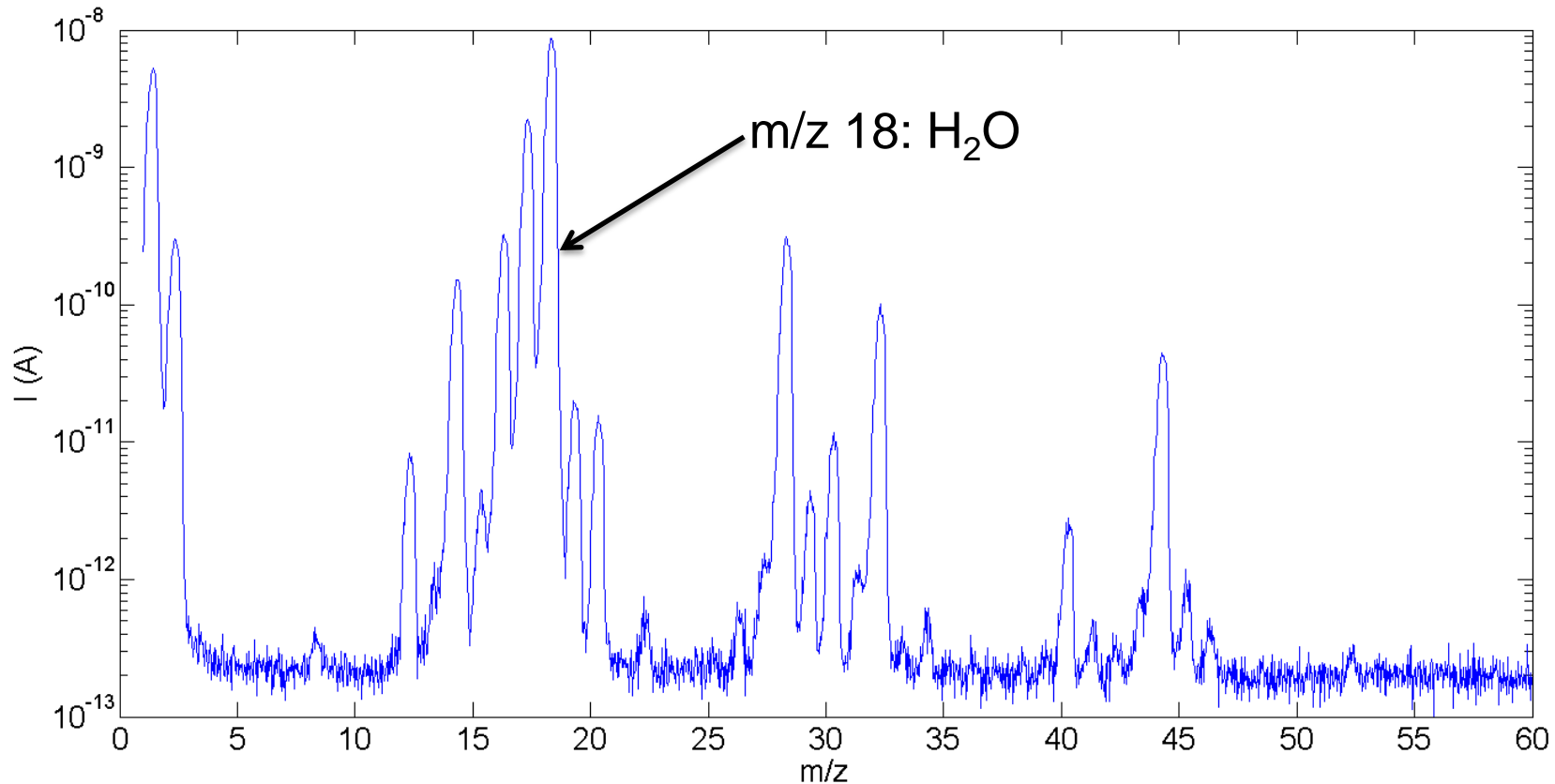
→ Impact: possible croissance organique dans l'ionosphère de la Terre primitive

Identification des produits

Spectroscopie d'absorption infrarouge

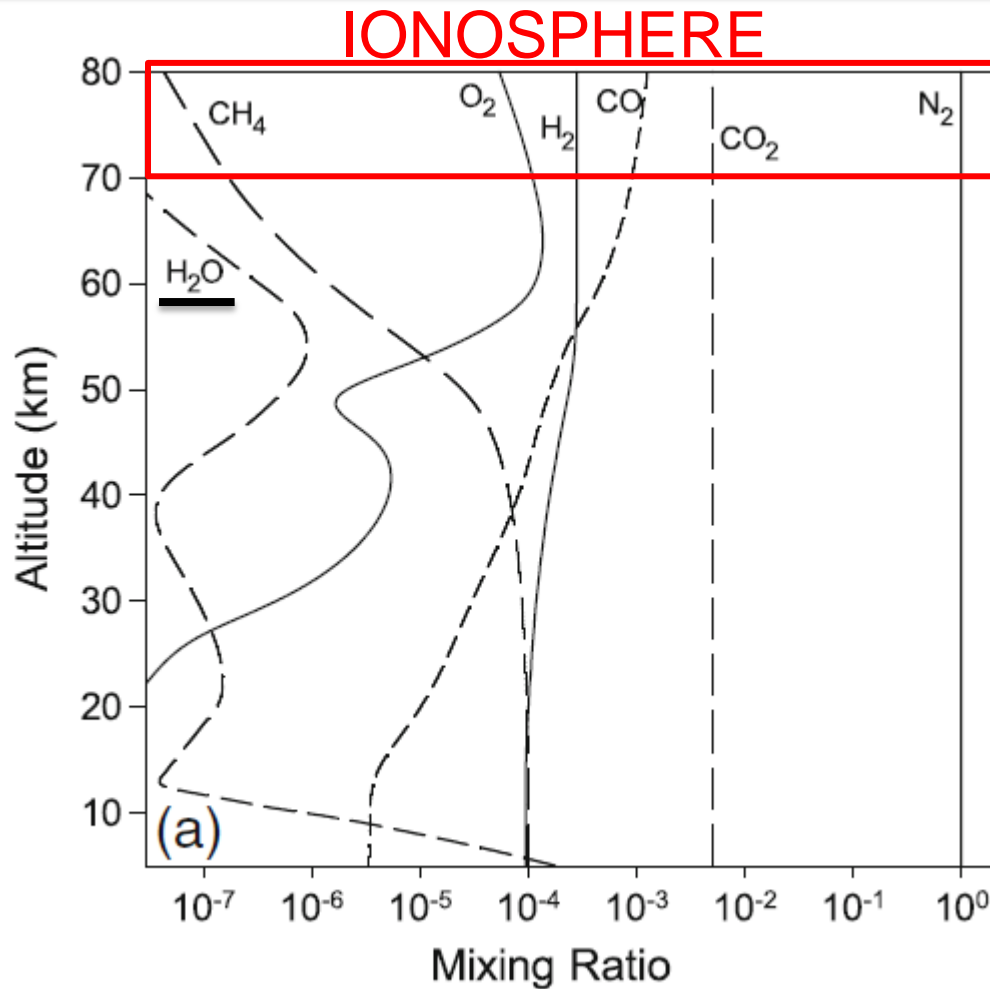


Analyse des produits par spectrométrie de masse



→ Eau = produit majeur (~10 % des produits piégés)

Eau : impact pour la Terre primitive



Origins of Life and Evolution of Biospheres, Harman et al. 2013

- Haute atmosphère sèche dans les précédentes modélisations photochimiques
- Nouvelle source de H_2O par chimie ionosphérique
- Impact sur le budget radiatif?

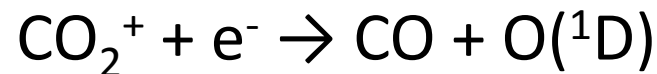
Voies de formation de H₂O

- Production de O(¹D):

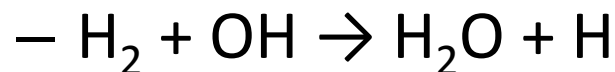
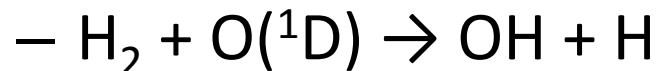
- Voie Neutre:



- Voie ionique : (recombinaison dissociative)

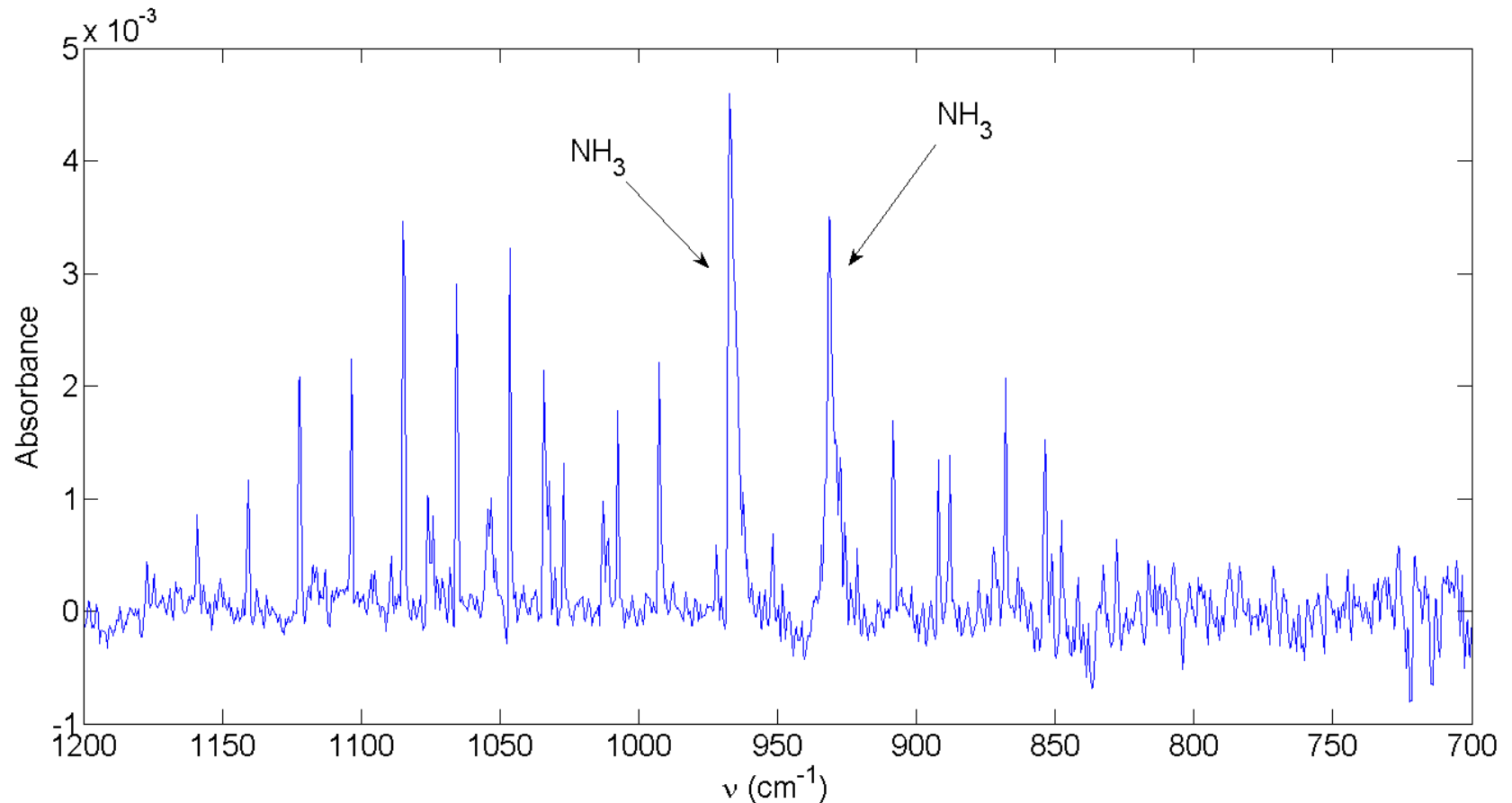


- Puis :



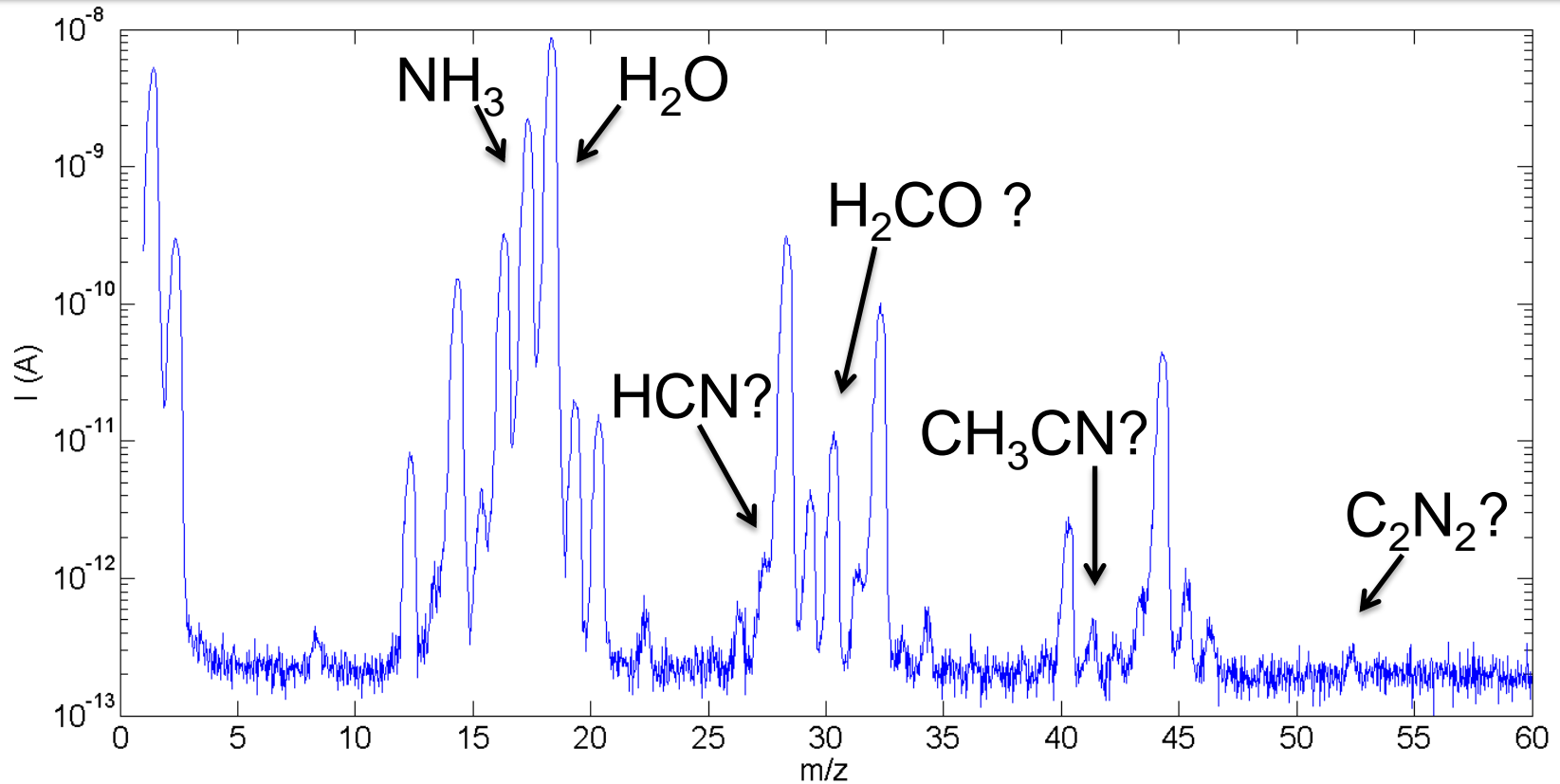
Identification des produits

Spectroscopie d'absorption infrarouge



→ Détection de l'ammoniac (~ 0.1 % des produits piégés)

Impact pour la Terre primitive



- Initiation de la chimie de l'azote
→ Impact: possible chimie organique complexe dans l'ionosphère de la Terre primitive

Conclusion

- Simulation expérimentale de la réactivité ionosphérique sur la Terre primitive :
Atmosphère sans méthane : $\text{N}_2\text{-CO}_2\text{-H}_2$
- Formation importante de H_2O
 - Potentiel impact sur le budget radiatif
- Croissance organique dans une atmosphère oxydée, sans méthane
 - Nouvelle source de composés prébiotiques ?