



Comptoir
des Sciences

Et si on parlait de science...

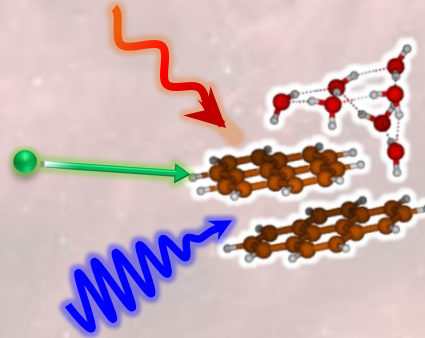
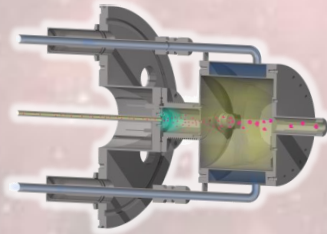
... en **Physique Moléculaire Expérimentale** pour l'**Astrochimie**

Alexandre Marciniak

Chercheur au Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)

Laboratoire Collisions Agrégats et Réactivités (LCAR)

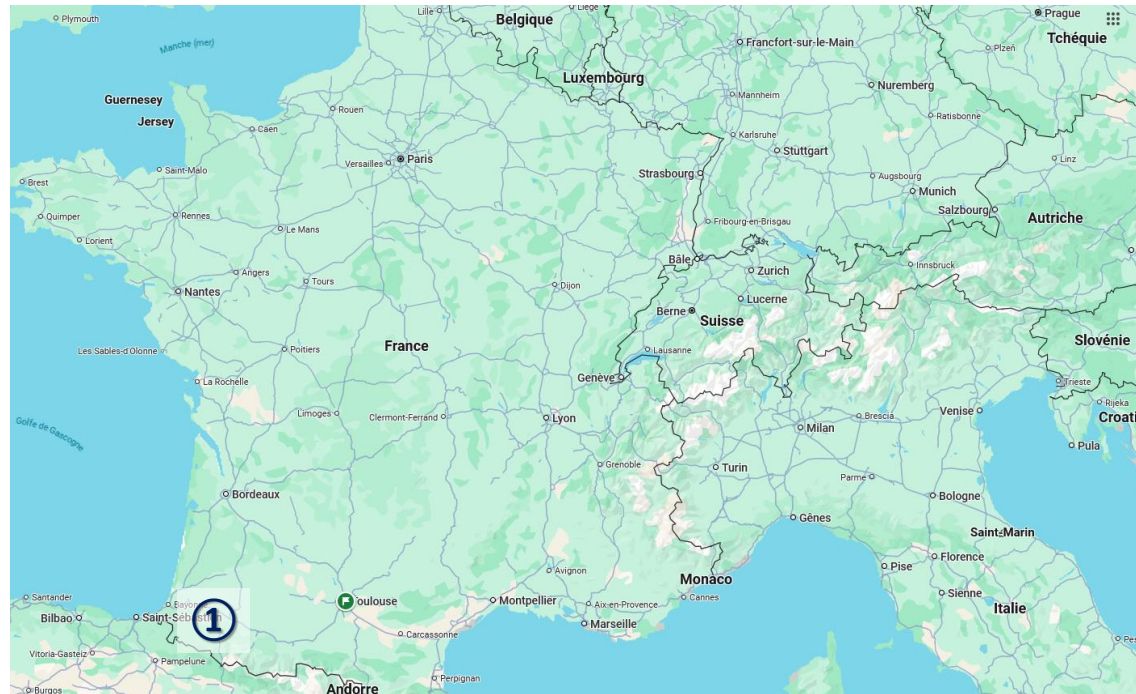
Université de Toulouse



Un chemin pour devenir chercheur.se

2006

Lycée Public
Terminal S
Oloron-S^{te}-Marie



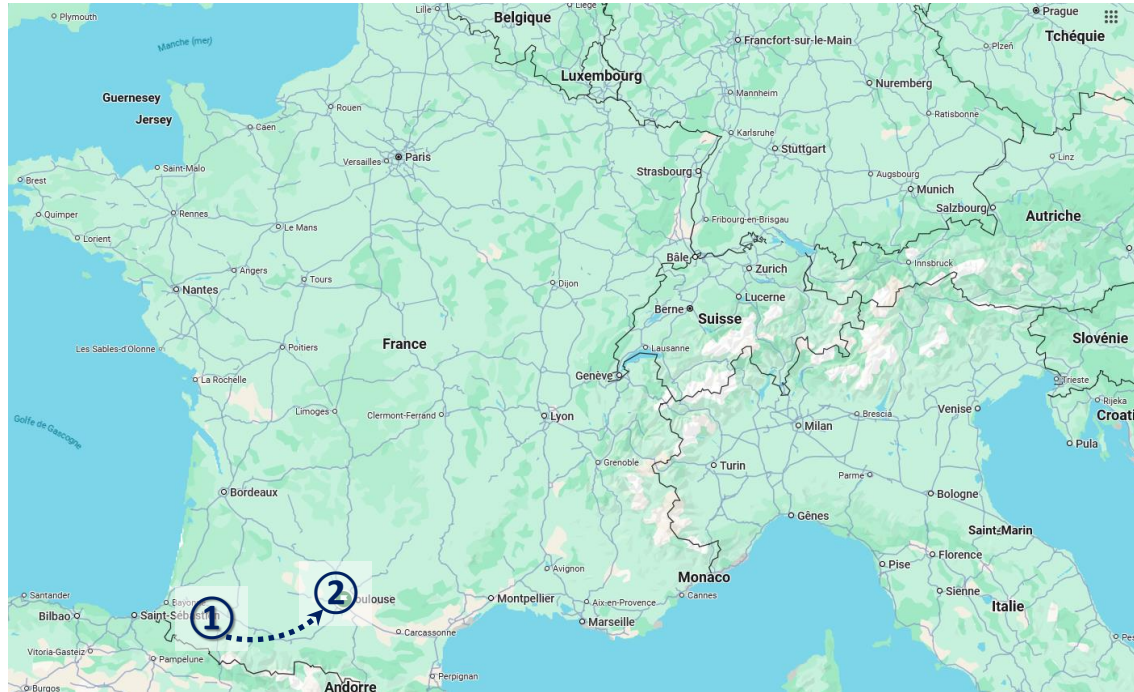
Un chemin pour devenir chercheur.se

2006

Lycée Public
Terminal S
Oloron-S^{te}-Marie

« Bac+3 »

Ecole préparatoire Physique-Chimie Science de l'Ingénieur (PCSI/PC*)
Toulouse



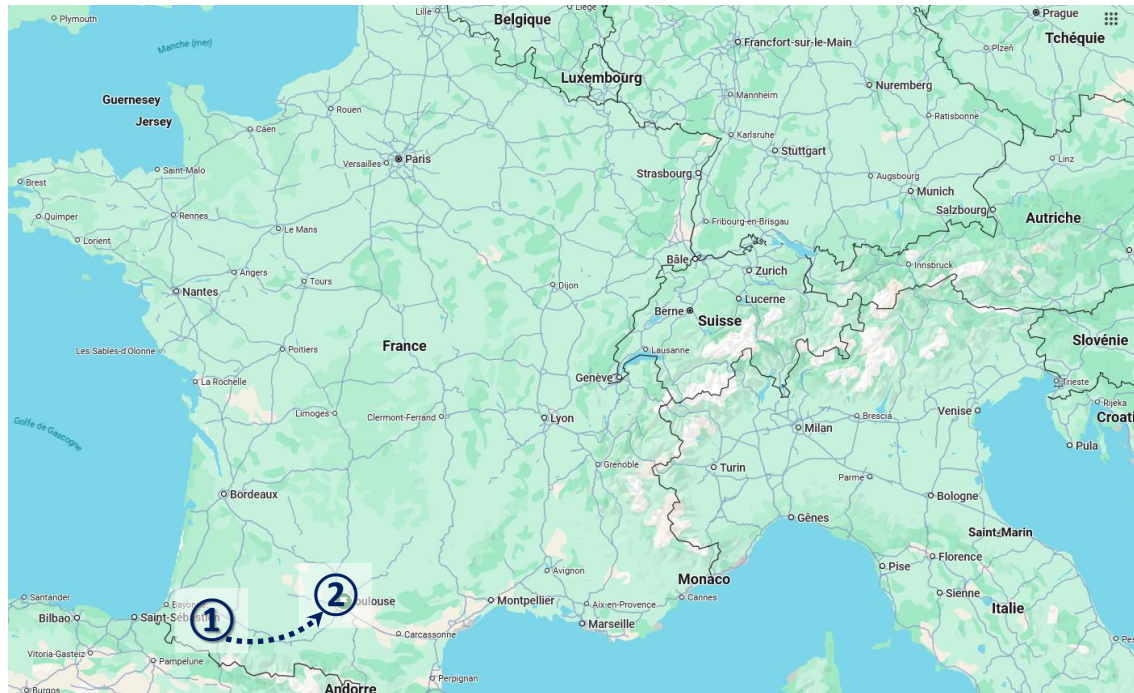
Un chemin pour devenir chercheur.se

2006

Lycée Public
Terminal S
Oloron-S^{te}-Marie

« Bac+3 »

Ecole préparatoire Physique-Chimie Science de l'Ingénieur (PCSI/PC*)
Toulouse



Un chemin pour devenir chercheur.se



2006

Lycée Public
Terminal S
Oloron-S^{te}-Marie

« Bac+3 »

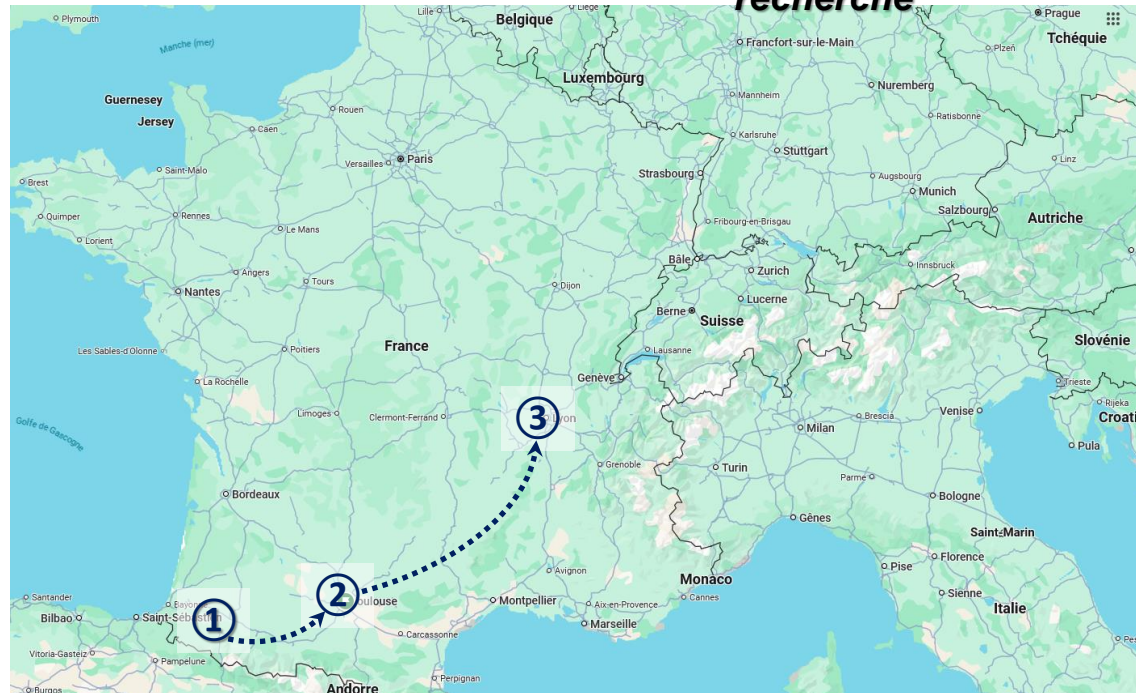
Ecole préparatoire Physique-Chimie Science de l'Ingénieur (PCSI/PC*)
Toulouse

« Bac+5 »

Ecole Normale Supérieure de Lyon
Science de la Matière



“Formation par et pour la recherche”



Un chemin pour devenir chercheur.se

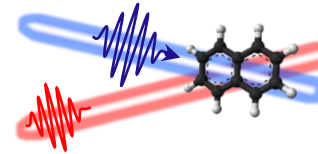
2006

Lycée Public
Terminal S
Oloron-S^{te}-Marie



« Bac+3 »

Ecole préparatoire PCSI/PC*
Toulouse



« Bac+5 »

Ecole Normale Supérieure de *Lyon*
Science de la Matière

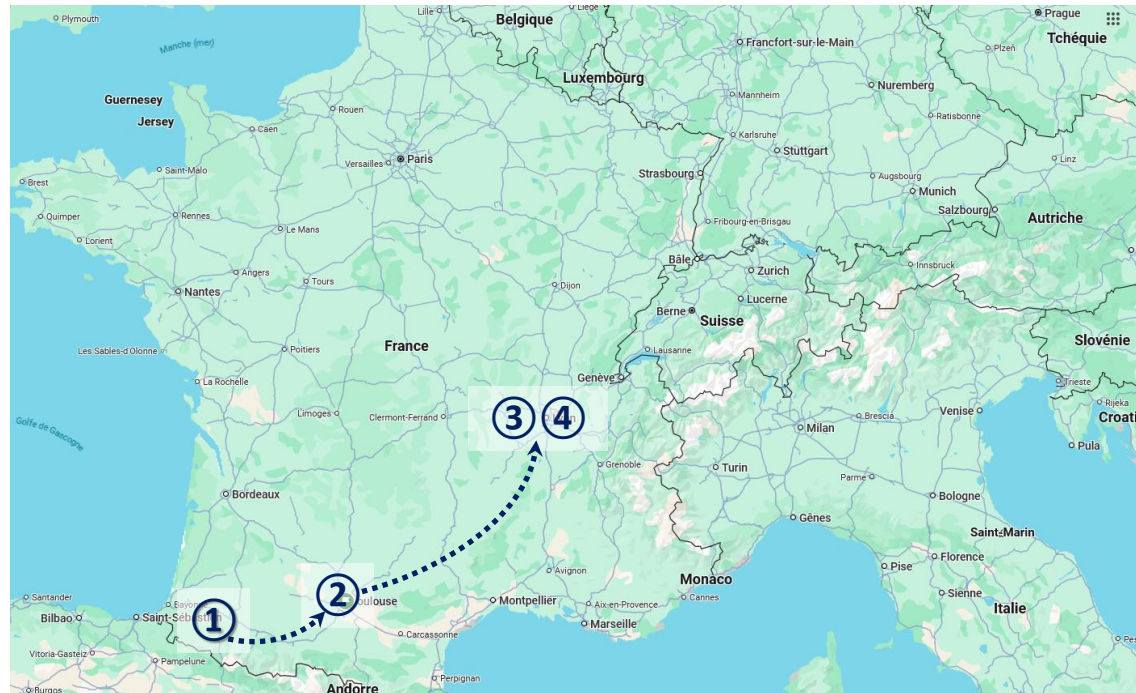


Titre de ma thèse: « *Dynamique électronique femtoseconde et sub-femtoseconde dans des édifices moléculaire complexes* »

« Bac+8 »

2016

Doctorat - Spécialité Physique
ILM - Université de Lyon



Un chemin pour devenir chercheur.se

2006

Lycée Public
Terminal S
Oloron-S^{te}-Marie

« Bac+3 »

Ecole préparatoire PCSI/PC*
Toulouse

« Bac+5 »

Ecole Normale Supérieure de *Lyon*
Science de la Matière

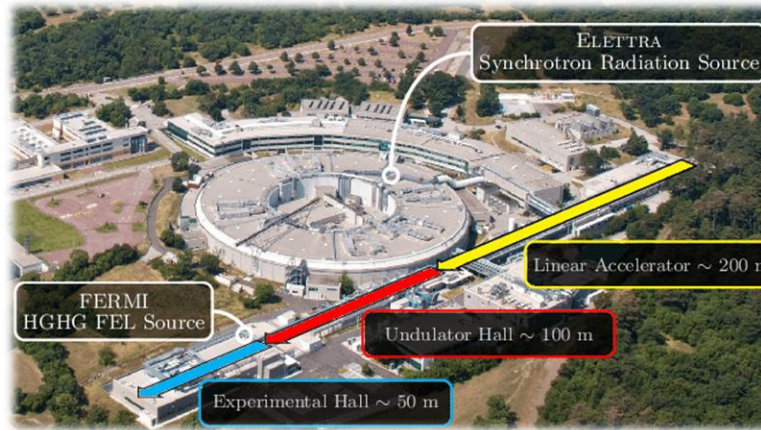
« Bac+8 »

2016

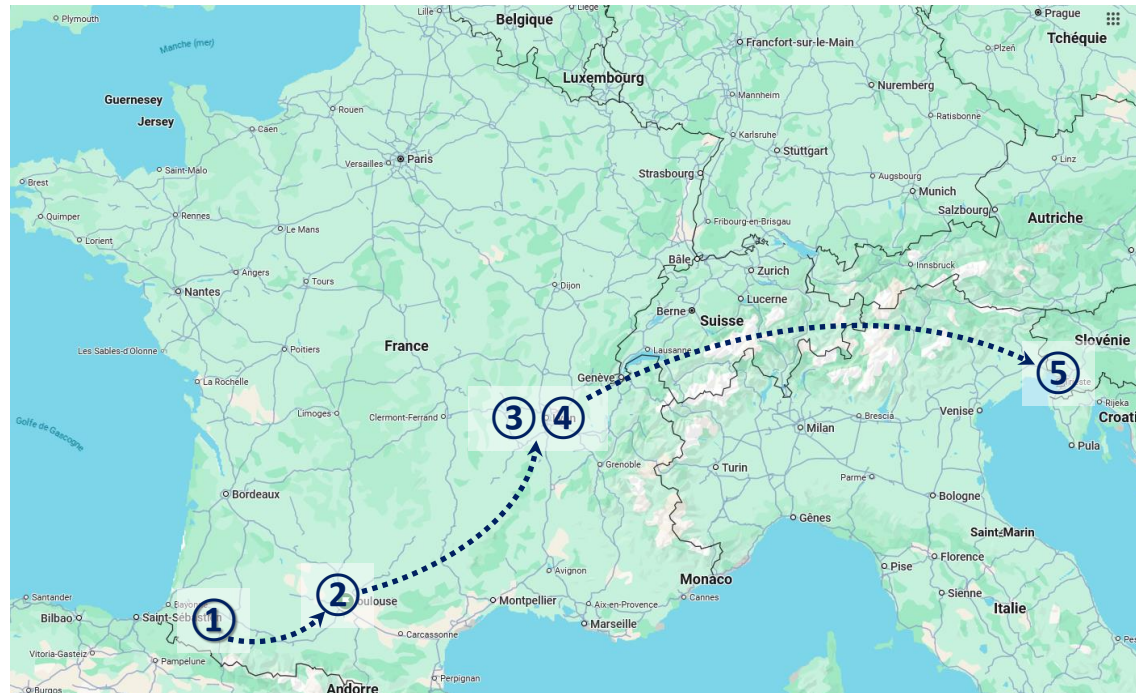
Doctorat - Spécialité Physique
ILM - Université de Lyon

2 ½ ans

1^{er} Post-Doctorat
Elettra/FERMI - Trieste



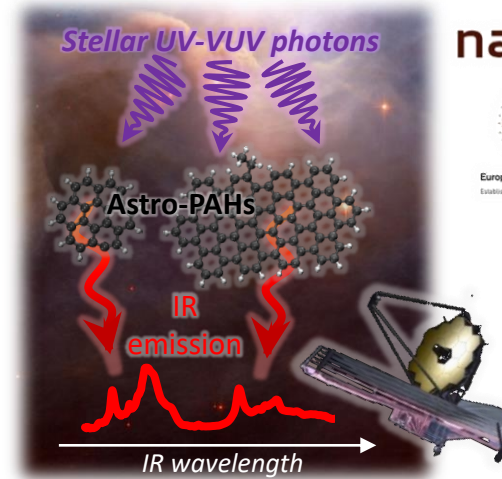
Elettra Sincrotrone Trieste



Un chemin pour devenir chercheur.se

2006

Lycée Public
Terminal S
Oloron-S^{te}-Marie



« Bac+3 »

Ecole préparatoire PCSI/PC*
Toulouse

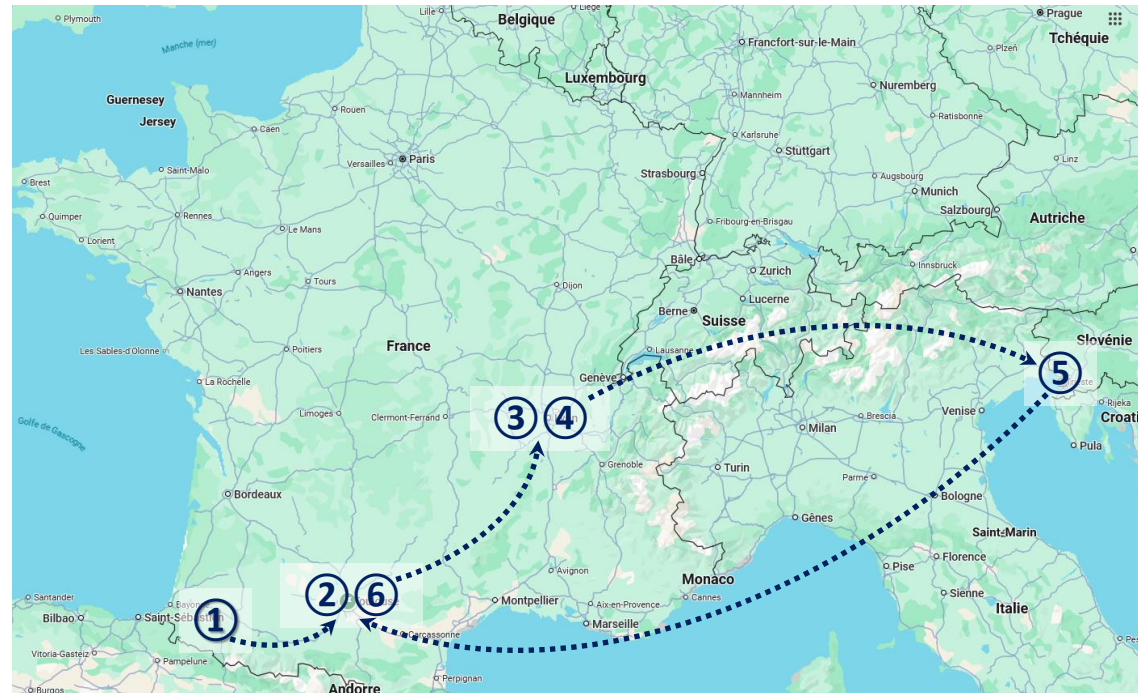
« Bac+5 »

Ecole Normale Supérieure de *Lyon*
Science de la Matière

« Bac+8 »

2016

Doctorat - Spécialité Physique
ILM - Université de Lyon



2 ½ ans

1^{er} Post-Doctorat
Elettra/FERMI - Trieste

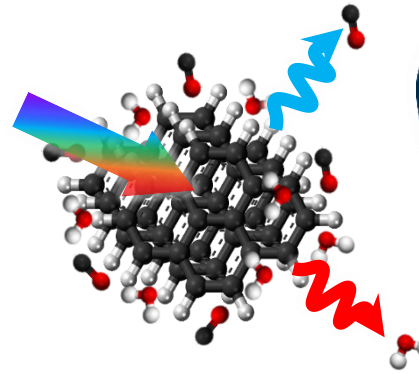
2 ½ ans

2^{ème} Post-Doctorat
IRAP - Toulouse

Un chemin pour devenir chercheur.se

2006

Lycée Public
Terminal S
Oloron-S^{te}-Marie



« Bac+3 »

Ecole préparatoire PCSI/PC*
Toulouse

« Bac+5 »

Ecole Normale Supérieure de *Lyon*
Science de la Matière



Mon projet de recherche: « **Etude des interactions gaz-agrégat-photons dans des conditions extrêmes pour l'astrochimie** »

« Bac+8 »

2016

Doctorat - Spécialité Physique
ILM - Université de Lyon

2 ½ ans

1^{er} Post-Doctorat
Elettra/FERMI - Trieste

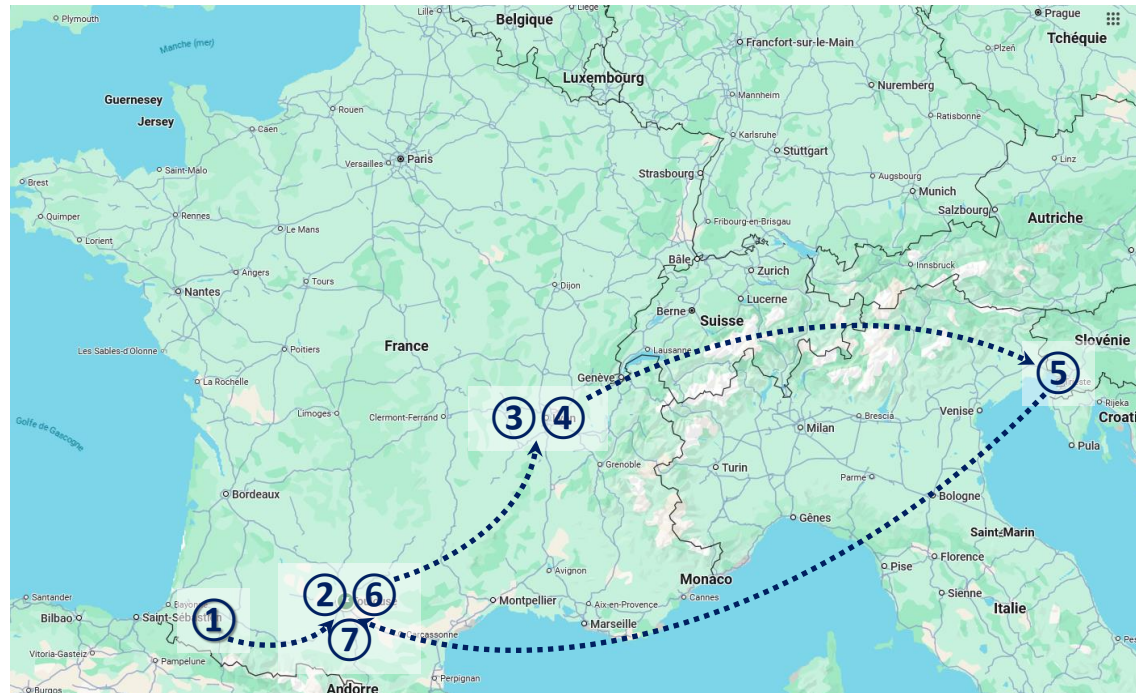
2 ½ ans

2^{ème} Post-Doctorat
IRAP - Toulouse



2021

Chercheur CNRS
LCAR - Toulouse


Concours



Un chemin pour devenir chercheur.se

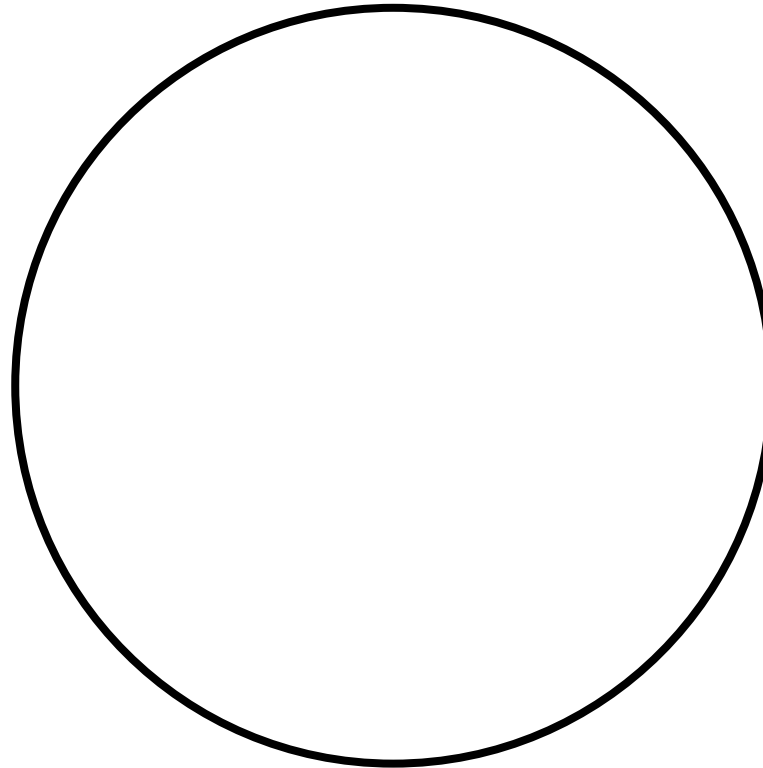
		<i>Frais d'inscription</i>	<i>Rémunération/Salaire</i>
2006	<div style="border: 2px solid blue; padding: 5px; display: inline-block;"> Lycée Public Terminal S <i>Oloron-St^e-Marie</i> </div> 		
« Bac+3 »	Ecole préparatoire PCSI/PC* <i>Toulouse</i>		
« Bac+5 »	Ecole Normale Supérieure de <i>Lyon</i> Science de la Matière		
« Bac+8 »	2016 Doctorat - Spécialité Physique <i>ILM - Université de Lyon</i>		
2 ½ ans	1 ^{er} Post-Doctorat <i>Elettra/FERMI - Trieste</i>		
2 ½ ans	2 ^{ème} Post-Doctorat <i>IRAP - Toulouse</i>		
2021	Chercheur CNRS <i>LCAR - Toulouse</i>		

Un chemin pour devenir chercheur.se

		<i>Frais d'inscription</i>	<i>Rémunération/Salaire</i>
2006	<div style="border: 2px solid blue; padding: 5px; display: inline-block;"> Lycée Public Terminal S <i>Oloron-S^{te}-Marie</i> </div> 	0 €	-
« Bac+3 »	Ecole préparatoire PCSI/PC* <i>Toulouse</i>	0 €	-
« Bac+5 »	Ecole Normale Supérieure de <i>Lyon</i> Science de la Matière	0 €	1 x SMIC
« Bac+8 » 2016	Doctorat - Spécialité Physique <i>ILM - Université de Lyon</i>	~400 € par an (frais université)	1,3 x SMIC
2 ½ ans	1 ^{er} Post-Doctorat <i>Elettra/FERMI - Trieste</i>	-	1,6 à 2,5 x SMIC
2 ½ ans	2 ^{ème} Post-Doctorat <i>IRAP - Toulouse</i>	-	1,6 à 2,5 x SMIC
2021	Chercheur CNRS <i>LCAR - Toulouse</i>	-	1,8 à 2,8 x SMIC

Qu'est-ce que la recherche ?

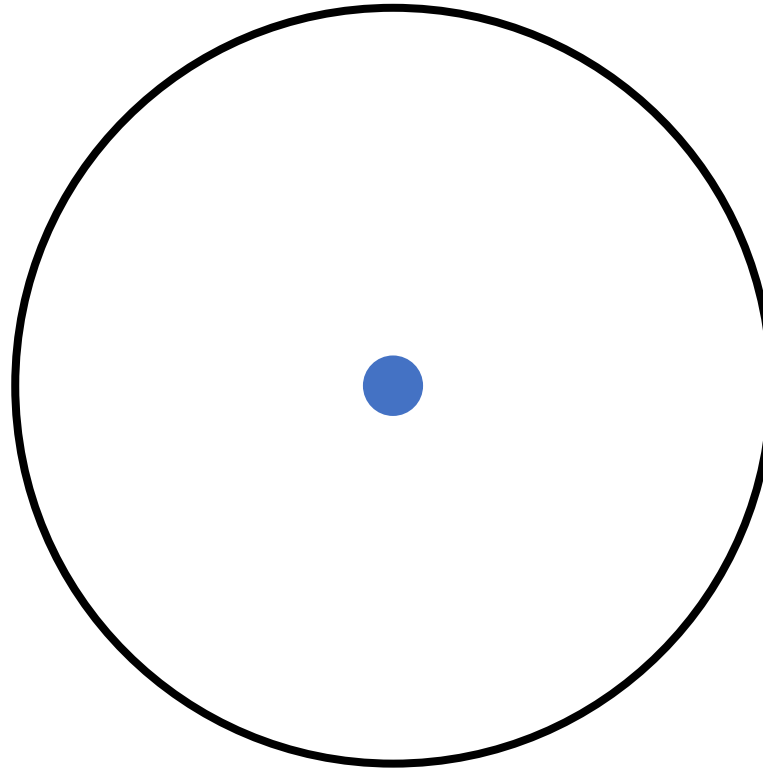
Cercle représentant les connaissances humaines



*Figure adaptée du site de Matt Might
<https://matt.might.net/articles/phd-school-in-pictures/>*

Qu'est-ce que la recherche ?

Après l'école élémentaire et le collège...



*Figure adaptée du site de Matt Might
<https://matt.might.net/articles/phd-school-in-pictures/>*

Qu'est-ce que la recherche ?

Après le lycée...

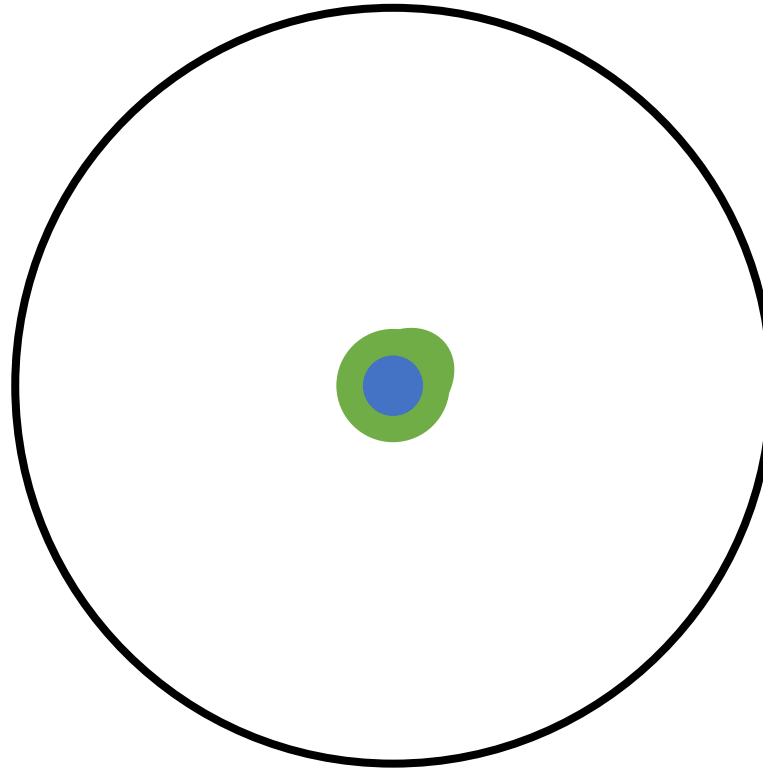


Figure adaptée du site de Matt Might
<https://matt.might.net/articles/phd-school-in-pictures/>

Qu'est-ce que la recherche ?

Après une prépa/licence à l'université...

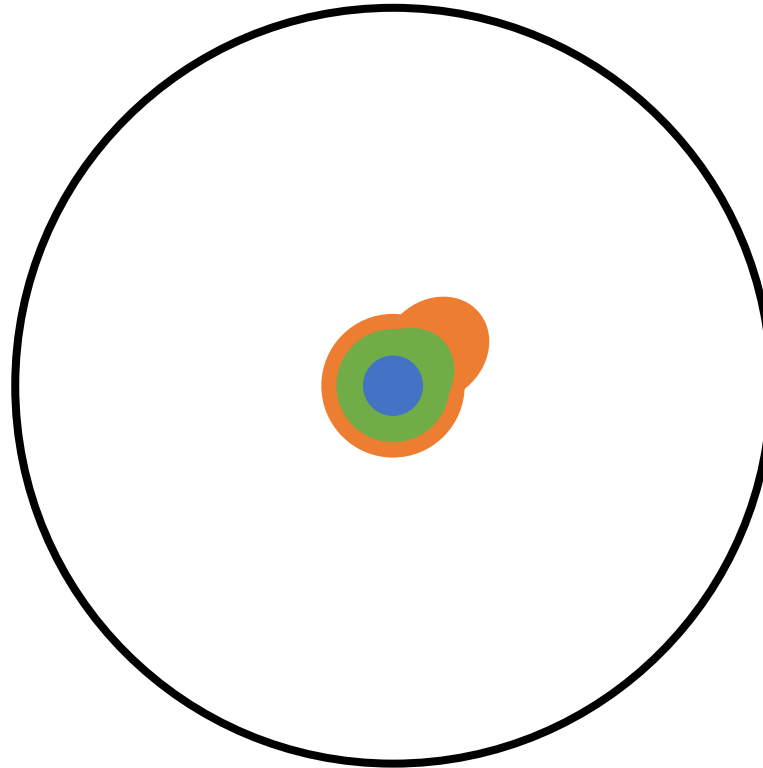


Figure adaptée du site de Matt Might
<https://matt.might.net/articles/phd-school-in-pictures/>

Qu'est-ce que la recherche ?

Après un master à l'université...

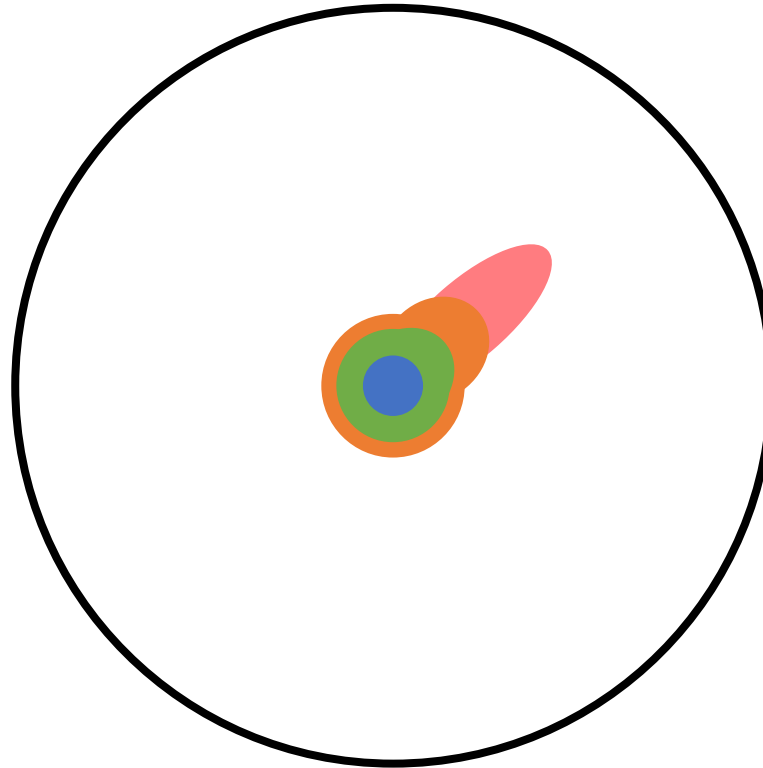


Figure adaptée du site de Matt Might
<https://matt.might.net/articles/phd-school-in-pictures/>

Qu'est-ce que la recherche ?

Un domaine de recherche spécifique

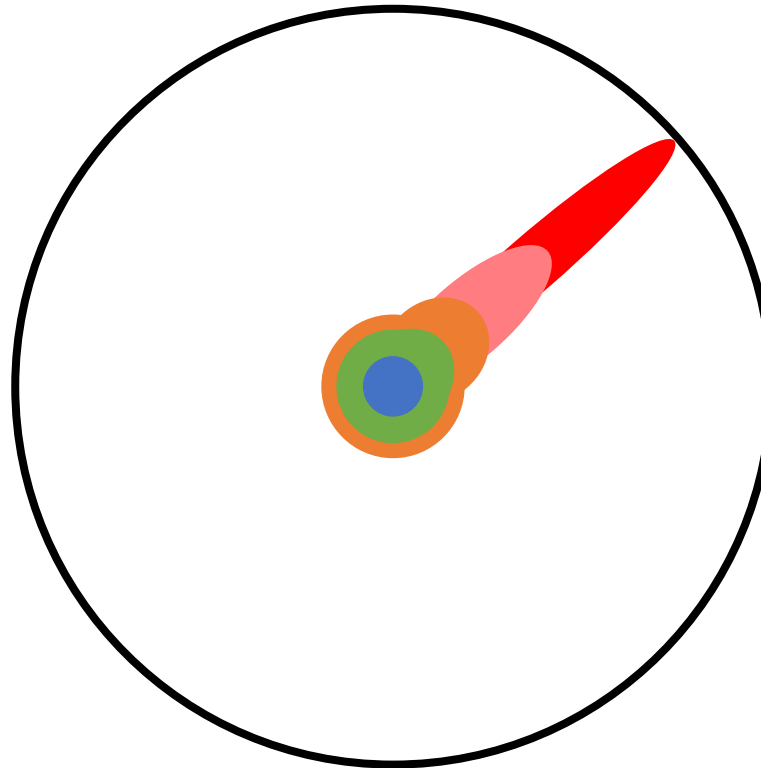
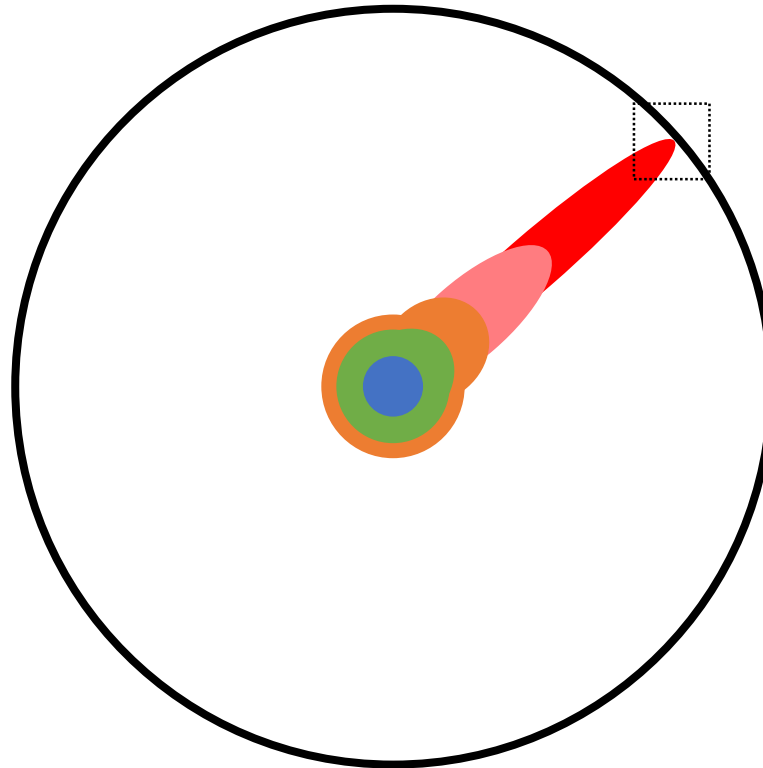


Figure adaptée du site de Matt Might
<https://matt.might.net/articles/phd-school-in-pictures/>

Qu'est-ce que la recherche ?

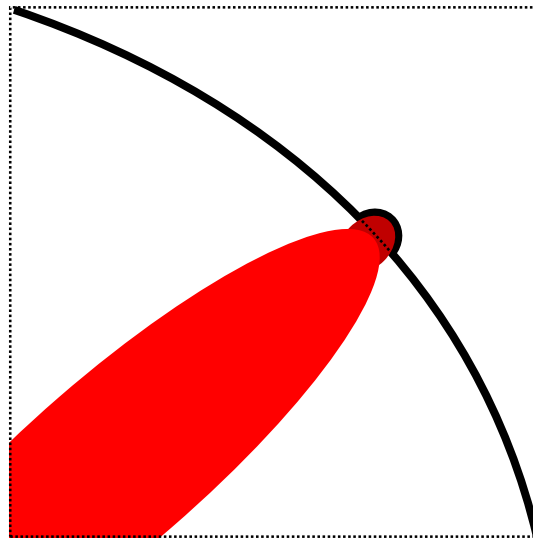
Une étude en recherche / un doctorat



*Figure adaptée du site de Matt Might
<https://matt.might.net/articles/phd-school-in-pictures/>*

Qu'est-ce que la recherche ?

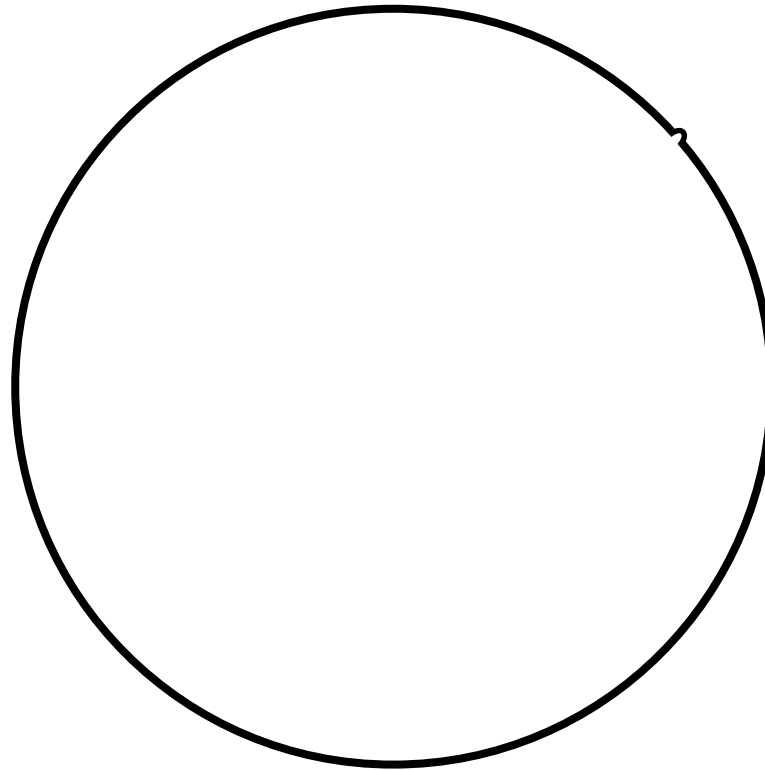
*Après une étude en recherche / un doctorat ...
(plusieurs années de recherche)*



*Figure adaptée du site de Matt Might
<https://matt.might.net/articles/phd-school-in-pictures/>*

Qu'est-ce que la recherche ?

La connaissance humaine a progressé ... un petit peu.



*Figure adaptée du site de Matt Might
<https://matt.might.net/articles/phd-school-in-pictures/>*

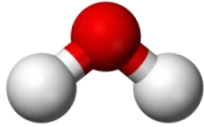
La Physique Moléculaire Expérimentale pour l'Astrochimie

Mon domaine de recherche

La **Physique** Moléculaire Expérimentale pour l'Astrochimie

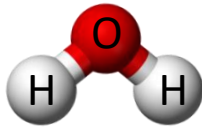
- *Science qui permet de modéliser et formaliser des phénomènes observés dans la nature*

La **Physique Moléculaire** Expérimentale pour l'Astrochimie



1 molécule d'eau

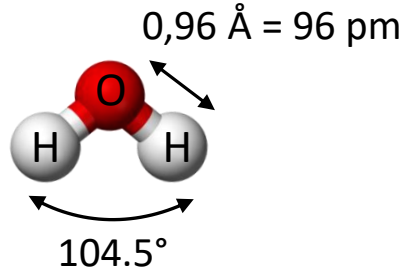
La **Physique Moléculaire** Expérimentale pour l'Astrochimie



1 molécule d'eau

- ***Comment s'agencent les 2 atomes d'hydrogène et l'atome d'oxygène dans la molécule d'eau ?***

La **Physique Moléculaire** Expérimentale pour l'Astrochimie

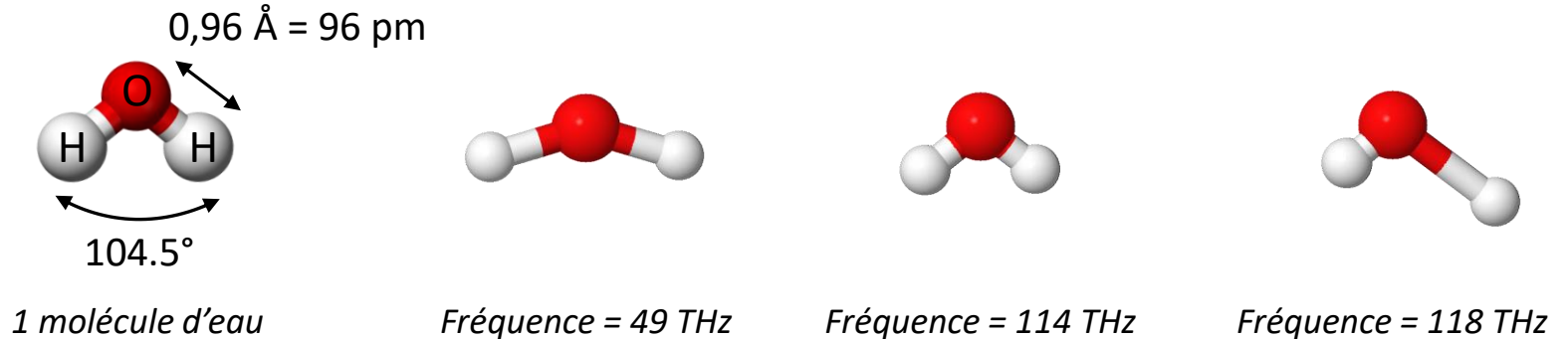


1 molécule d'eau

- ***Comment s'agencent les 2 atomes d'hydrogène et l'atome d'oxygène dans la molécule d'eau ?***
- ***Quelle sont les propriétés microscopiques la molécule d'eau ?***

Mon domaine de recherche

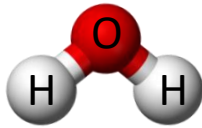
La **Physique Moléculaire** Expérimentale pour l'Astrochimie



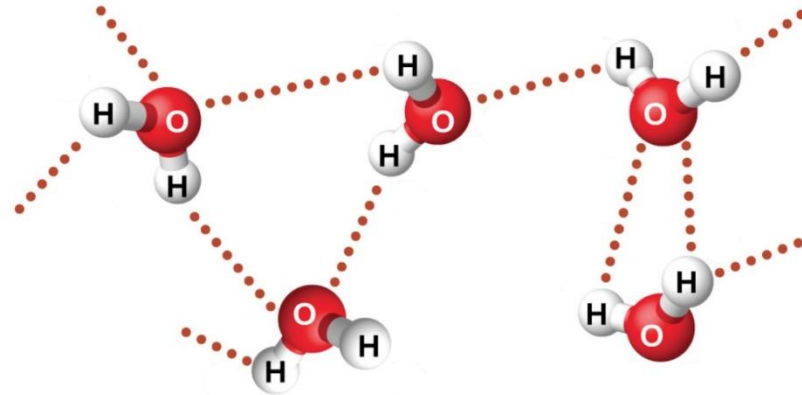
- **Comment s'agencent les 2 atomes d'hydrogène et l'atome d'oxygène dans la molécule d'eau ?**
- **Quelle sont les propriétés microscopiques la molécule d'eau ?**

Mon domaine de recherche

La **Physique Moléculaire** Expérimentale pour l'Astrochimie



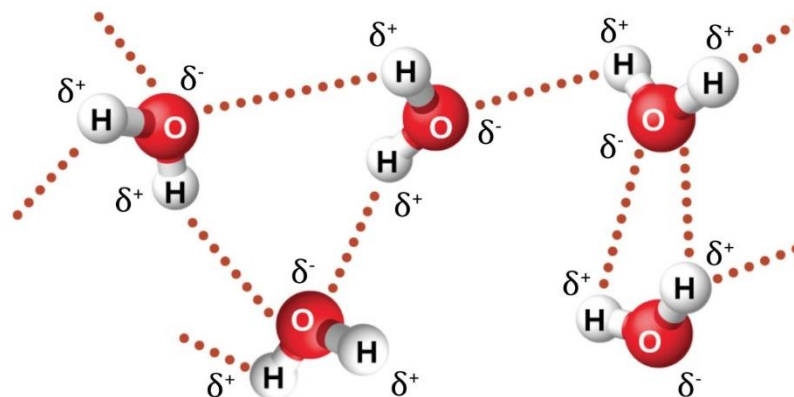
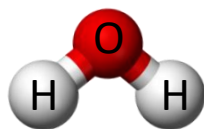
1 molécule d'eau



5 molécules d'eau en interaction

➤ ***Comment se structurent plusieurs molécules d'eau ?***

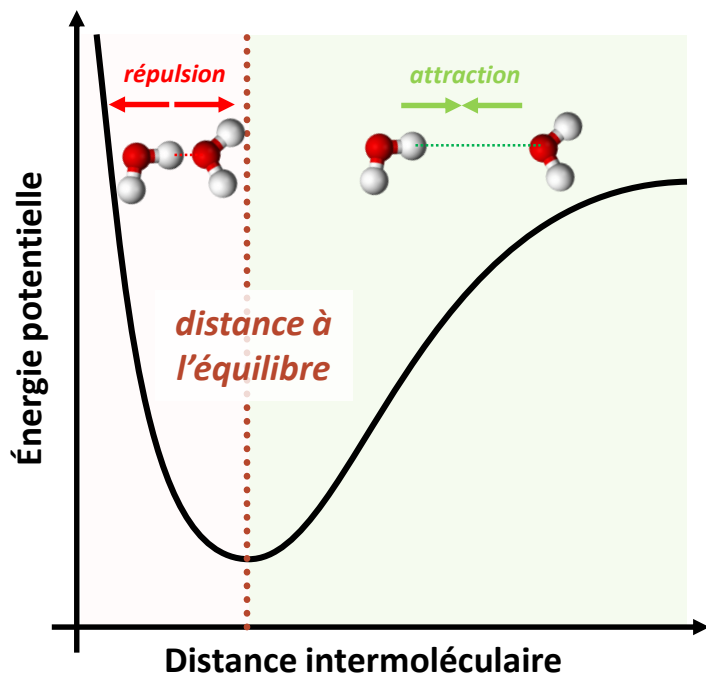
La Physique Moléculaire Expérimentale pour l'Astrochimie



Modèle physique pour ces interactions faibles:

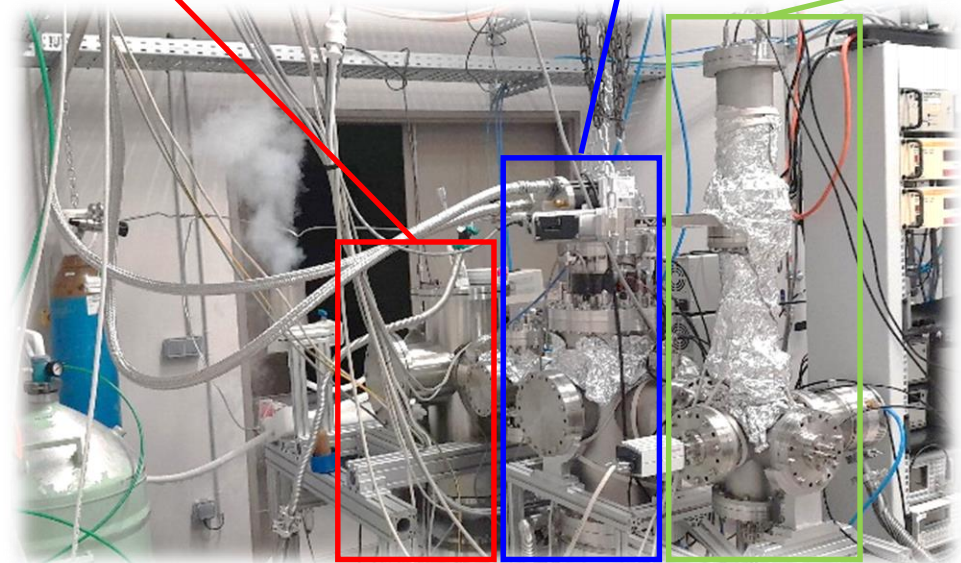
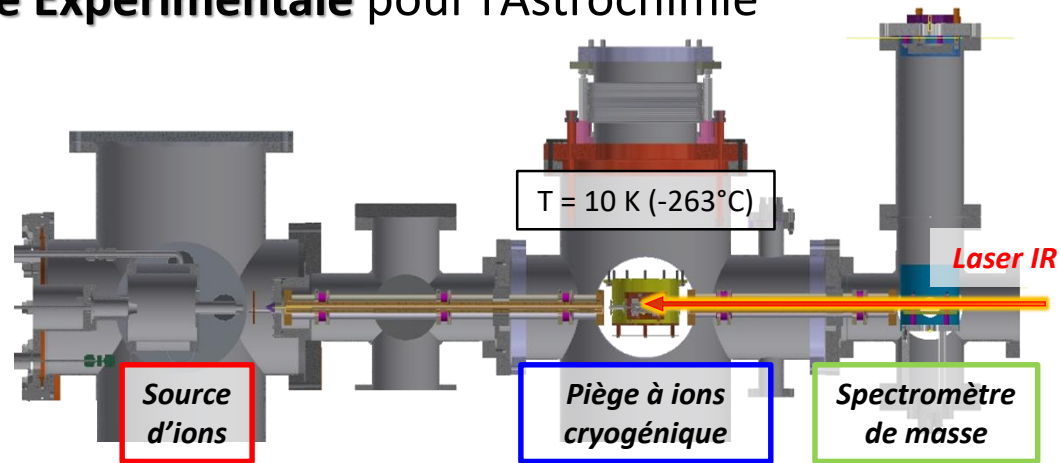
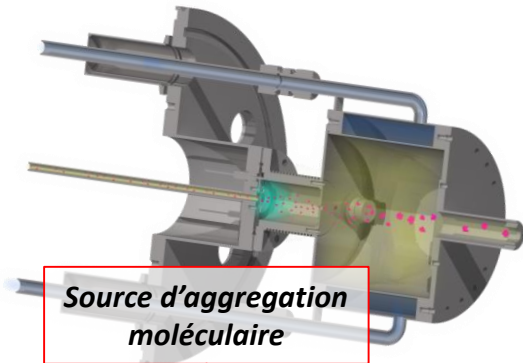
$$U_{VdW} = 4\epsilon \left[\left(\frac{\sigma}{r} \right)^{12} - \left(\frac{\sigma}{r} \right)^6 \right]$$

$$F_{VdW} = 4\epsilon \left(\frac{12\sigma^{12}}{r^{13}} - \frac{6\sigma^6}{r^7} \right) \hat{r}$$



Mon domaine de recherche

La **Physique Moléculaire Expérimentale** pour l'Astrochimie



➤ **Dispositif sous ultra-vide pour étudier les molécules « isolées »**

Mon domaine de recherche

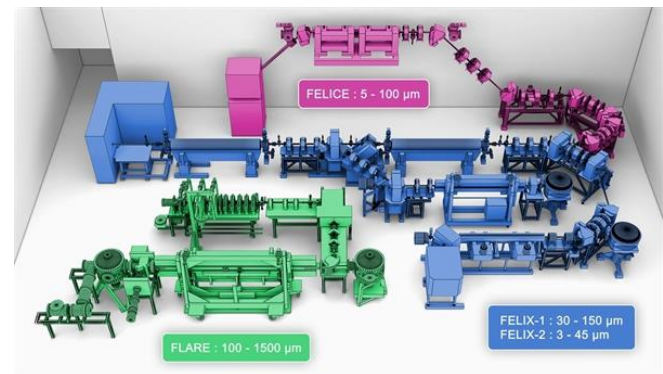
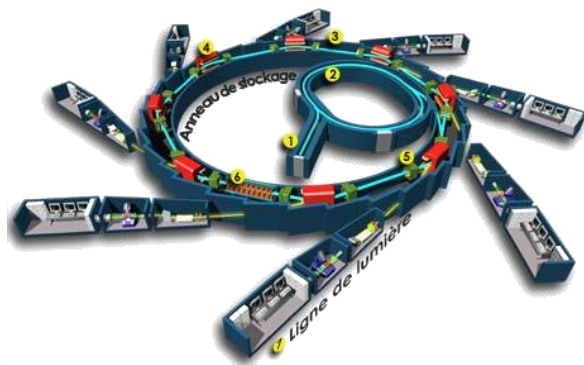
La **Physique Moléculaire Expérimentale** pour l'Astrochimie



Synchrotron SOLEIL (Orsay)



Laser à électron libre FELIX (Nijmegen, Pays-Bas)

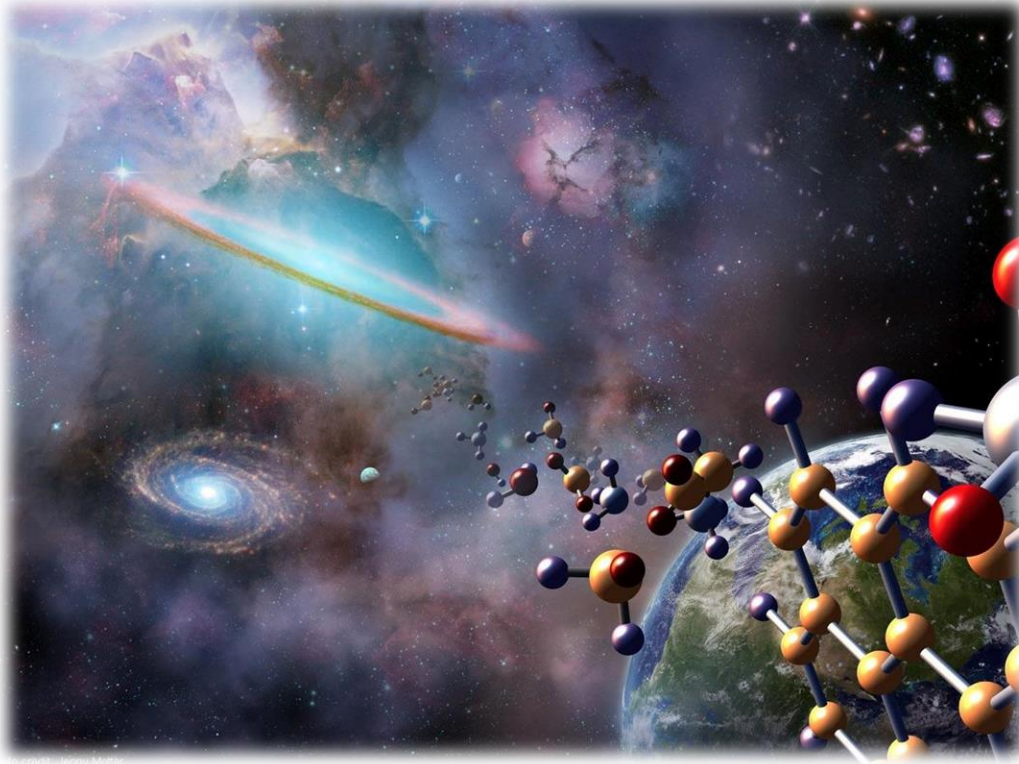


➤ ***Grands instruments pour des mesures spécifiques***

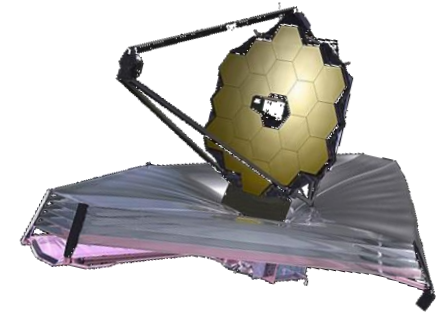
Mon domaine de recherche

La Physique Moléculaire Expérimentale pour l'**Astrochimie**

- *Étude de la formation et de l'évolution des molécules dans le milieu interstellaire*



Observatoire NOEMA (Alpes française)



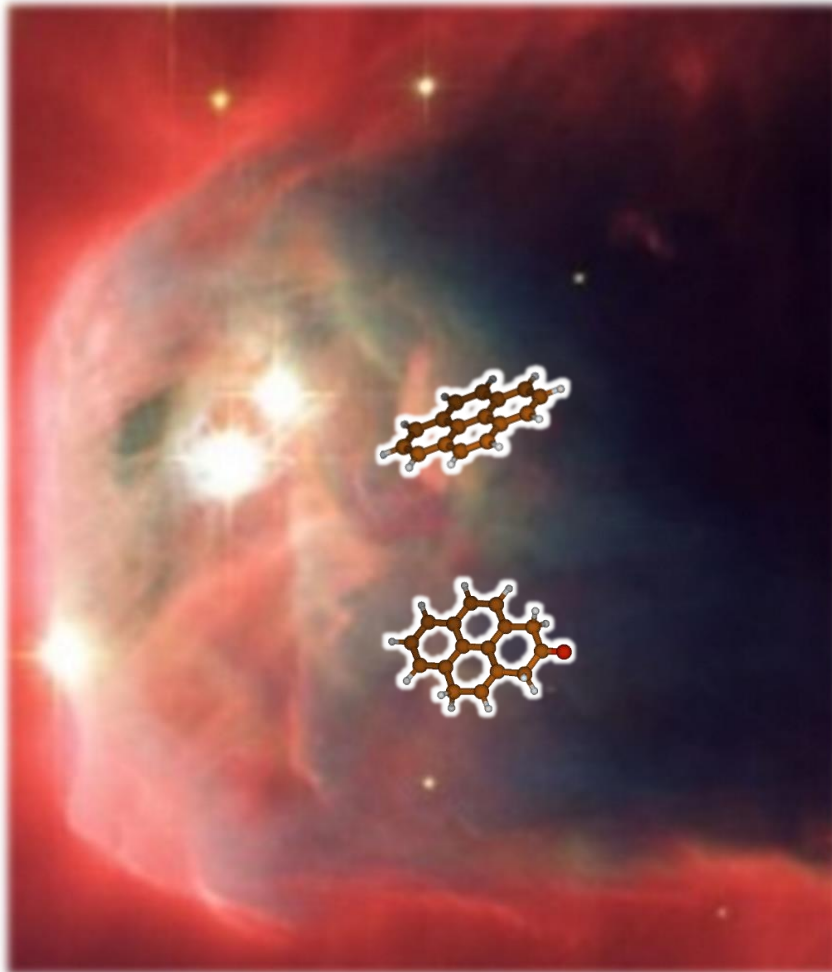
*Télescope spatiale James Webb
(NASA, ESA, ASC)*

La Physique Moléculaire Expérimentale pour l'Astrochimie

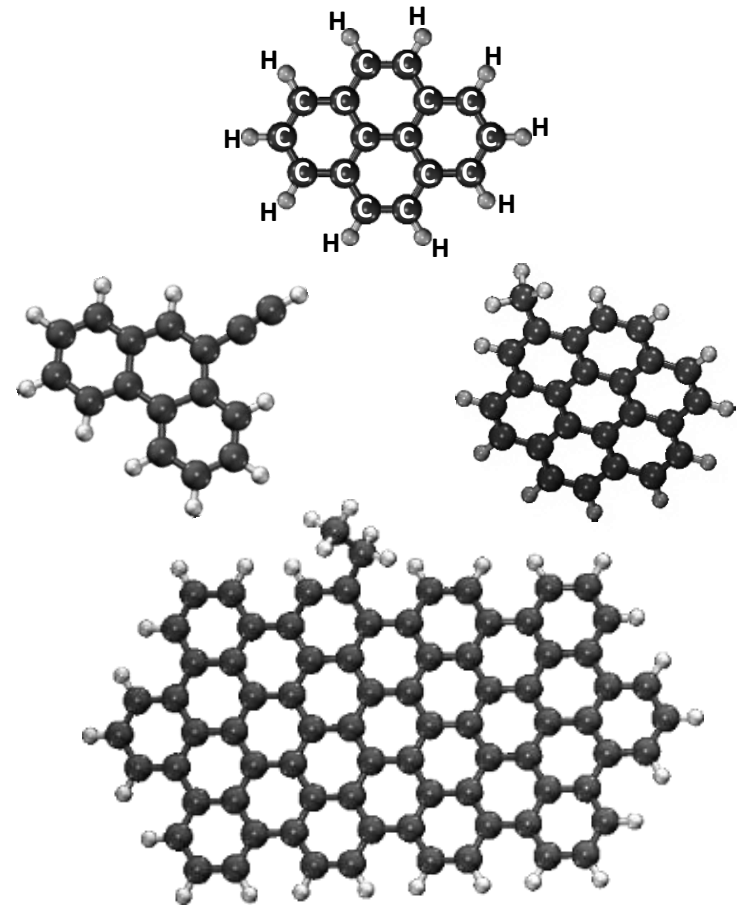
- Étudier **fondamentalement des systèmes moléculaires** ayant un **intérêt dans le milieu interstellaire** grâce à des **expériences en laboratoire** qui permettent de **reproduire les conditions astrophysiques**: *isolation, température, irradiation...*

Contexte scientifique des mes recherches

**Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) sont des molécules carbonées abondantes
Elles verrouillent 15% du carbone présent dans l'espace**



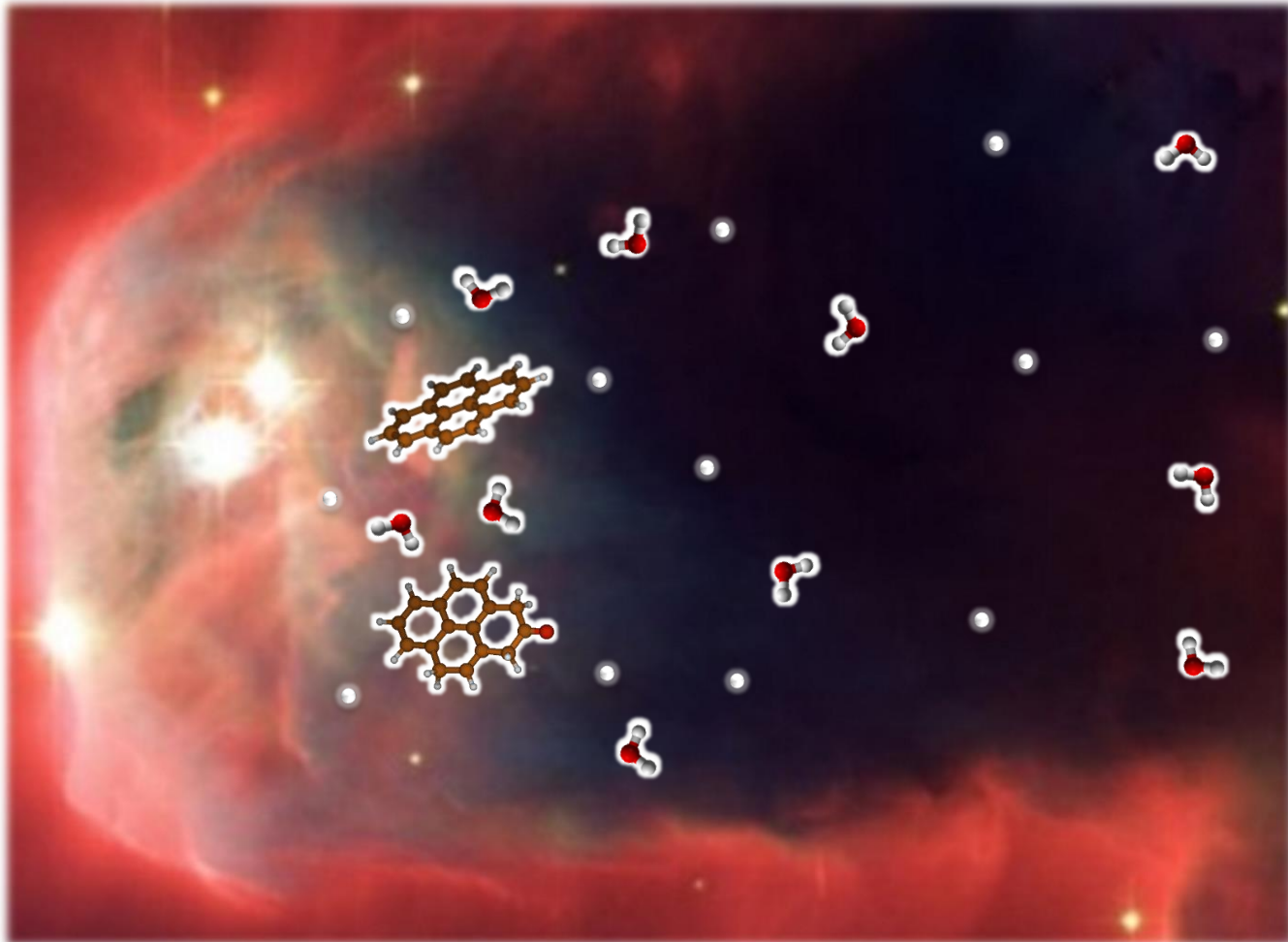
Pilier gazeux de la Voie Lactée (Télescope Hubble, NASA)



Exemples de HAP

Contexte scientifique des mes recherches

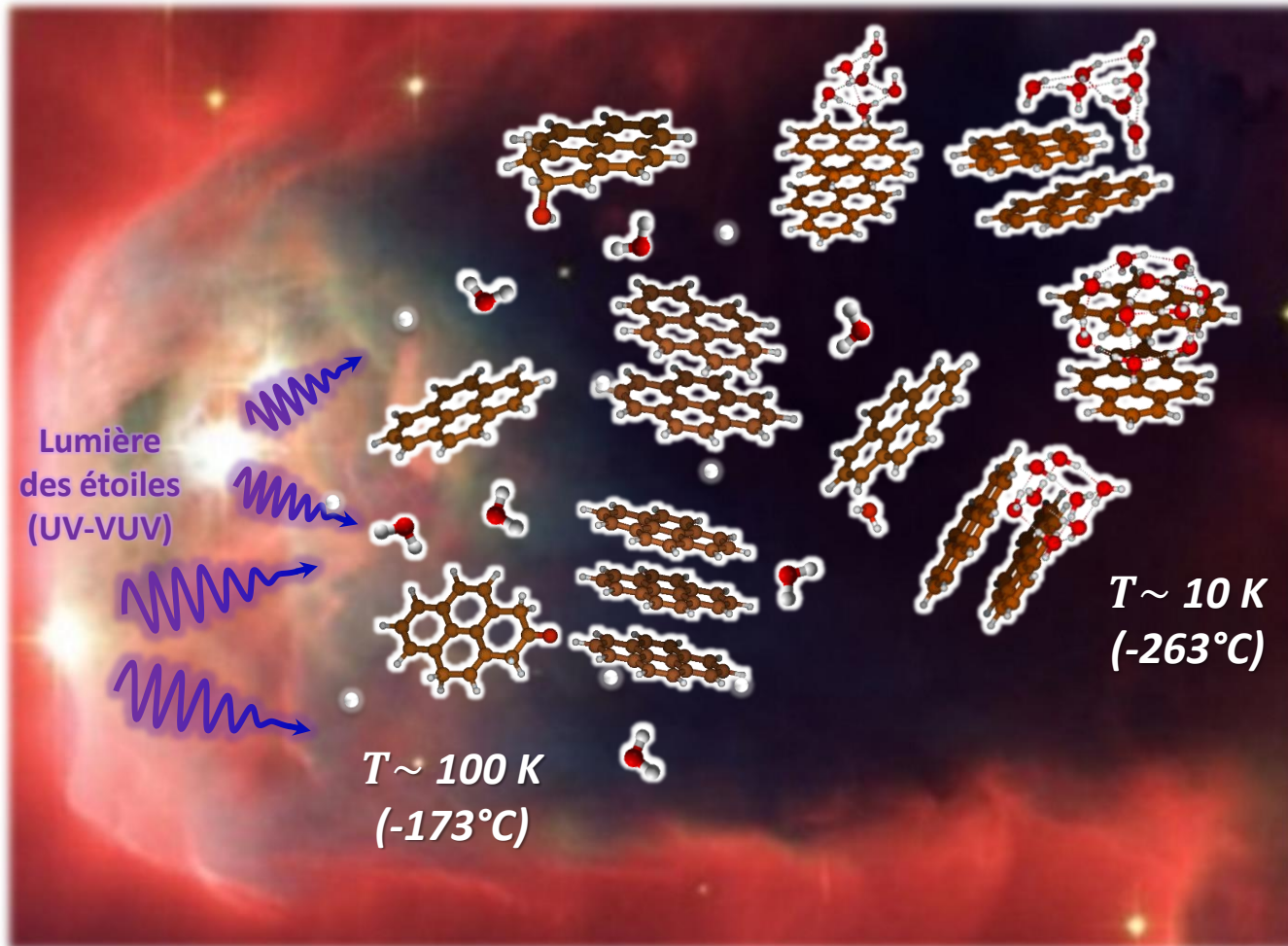
L'hydrogène (H) et l'eau (H₂O) sont aussi très abondants dans l'espace



Pilier gazeux de la Voie Lactée (Télescope Hubble, NASA)

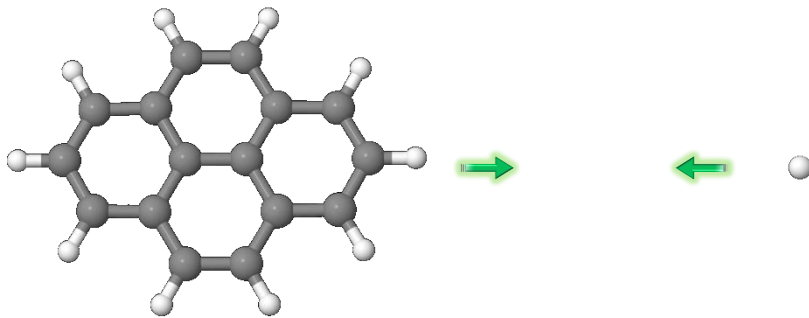
Contexte scientifique des mes recherches

En fonction de leur proximité avec les étoiles environnantes, H et H₂O peuvent se « coller » sur les HAPs et participer à la complexification moléculaire



Pilier gazeux de la Voie Lactée (Télescope Hubble, NASA)

➤ ***A quel endroit du HAP viennent se coller H et/ou H₂O ?***



pyrène, C₁₆H₁₀

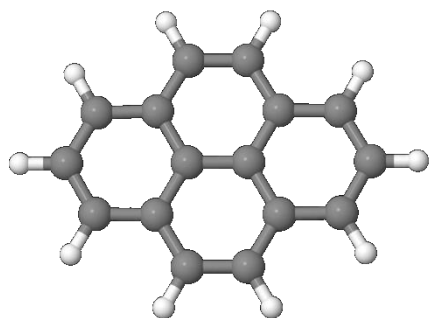
+

hydrogène, H

=

???

➤ ***A quel endroit du HAP viennent se coller H et/ou H₂O ?***

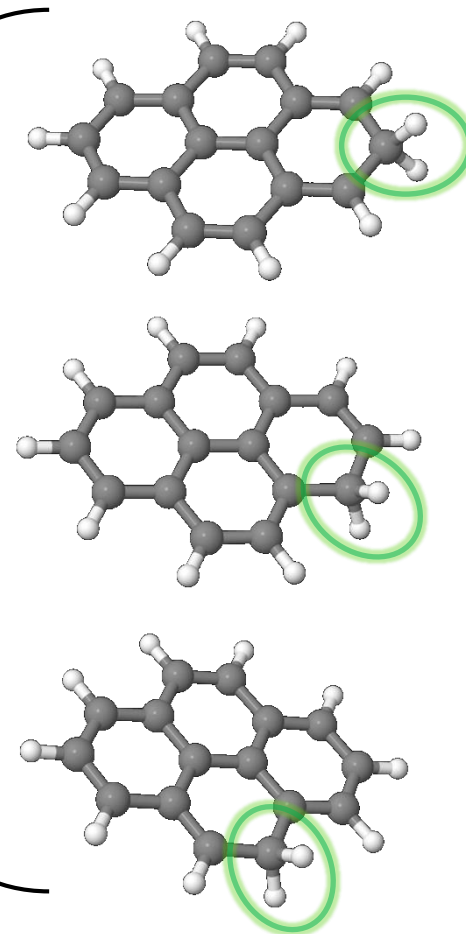


pyrène, C₁₆H₁₀



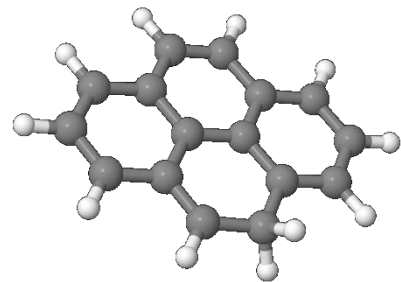
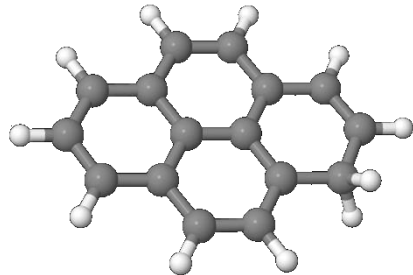
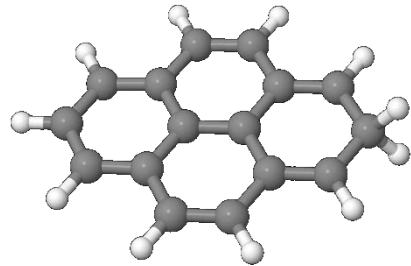
+

hydrogène, H

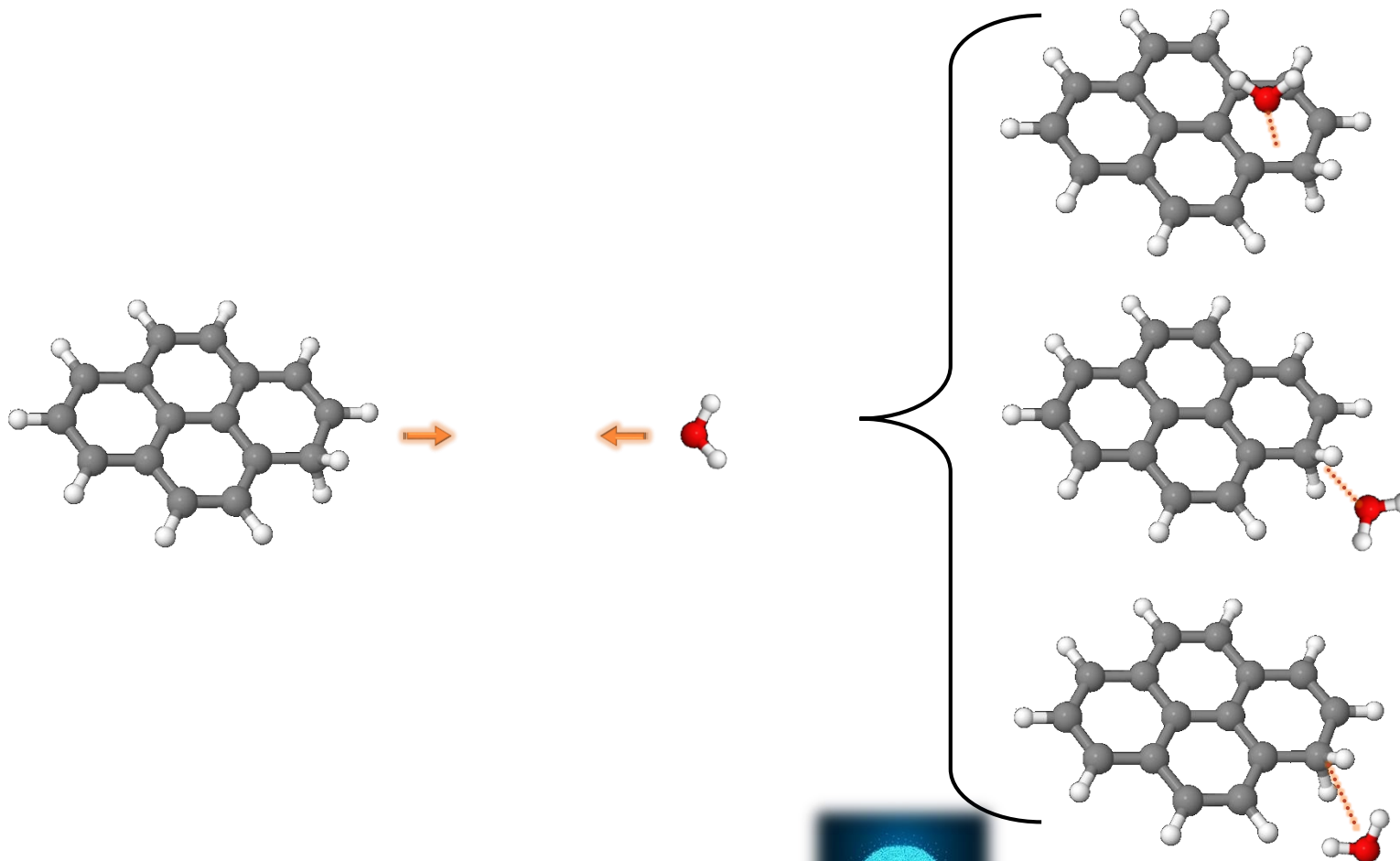


et d'autres possibilités ...

➤ ***A quel endroit du HAP viennent se coller H et/ou H₂O ?***



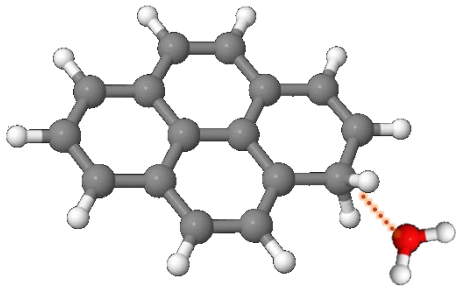
➤ ***A quel endroit du HAP viennent se coller H et/ou H₂O ?***



pyrène hydrogéné, $C_{16}H_{11}$ + H_2O



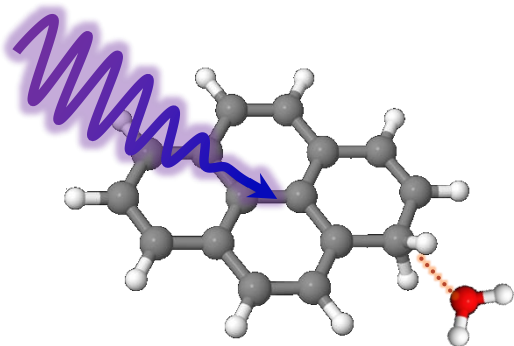
➤ ***A quel endroit du HAP viennent se coller H et/ou H₂O ?***



pyrène hydrogéné et micro-hydraté, C₁₆H₁₁-H₂O

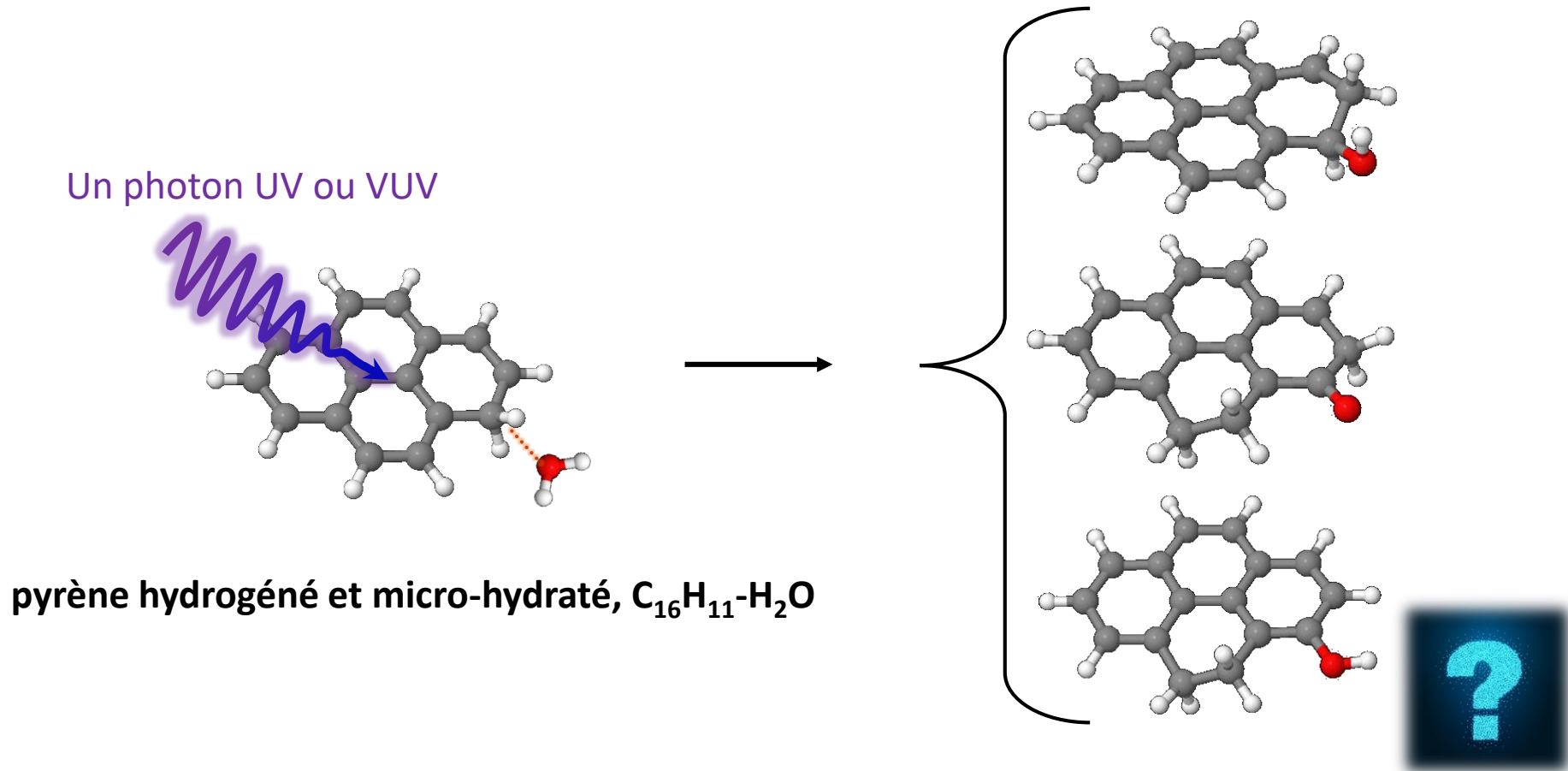
➤ ***A quel endroit du HAP viennent se coller H et/ou H₂O ?***

Un photon UV ou VUV



pyrène hydrogéné et micro-hydraté, C₁₆H₁₁-H₂O

➤ ***A quel endroit du HAP viennent se coller H et/ou H₂O ?***



➤ ***Comprendre la formation de systèmes moléculaires de plus en plus complexes...***

Le processus de recherche

Proposer un projet de
recherche pour obtenir
des financements

- *Gestionnaire de laboratoire*
- *Directeur.trice de recherche*

Les institutions qui financent la recherche ?



Le processus de recherche

Proposer un projet de
recherche pour obtenir
des financements

- *Gestionnaire de laboratoire*
- *Directeur.trice de recherche*



European Research Council
Established by the European Commission



Le processus de recherche

Proposer un projet de recherche pour obtenir des financements

- *Gestionnaire de laboratoire*
- *Directeur.trice de recherche*

Le coût des projets de recherche ?



European Research Council
Established by the European Commission



Le processus de recherche

Proposer un projet de recherche pour obtenir des financements

- *Gestionnaire de laboratoire*
- *Directeur.trice de recherche*

Le coût des projets de recherche ?



10 000 € à 100 000 €



1 000 000 € à 10 000 000 €



European Research Council
Established by the European Commission



100 000 € à 1 000 000 €



European Space Agency

>10 000 000 € (jusqu'au Md €)

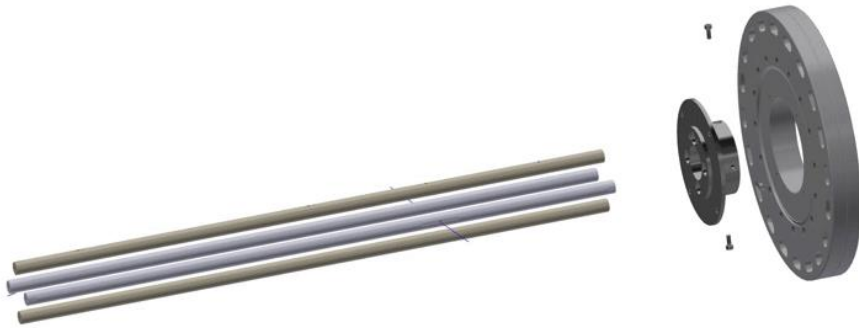
Le processus de recherche

Proposer un projet de recherche pour obtenir des financements

Développer un dispositif/protocole expérimental pour l'étude

- *Gestionnaires*
- *DR*

- *Technicien.ne de laboratoire (mécanique de précision, circuit électrique spécifique)*
- *Ingénieur.e d'étude (design de pièces, conception)*
- *Ingénieur.e de recherche (compétence pointue par exemple en ultravide, cryogénie)*



Guide d'ions Radiofréquence



Spectromètre de masse par temps de vol

Le processus de recherche

Proposer un projet de recherche pour obtenir des financements

Développer un dispositif/protocole expérimental pour l'étude

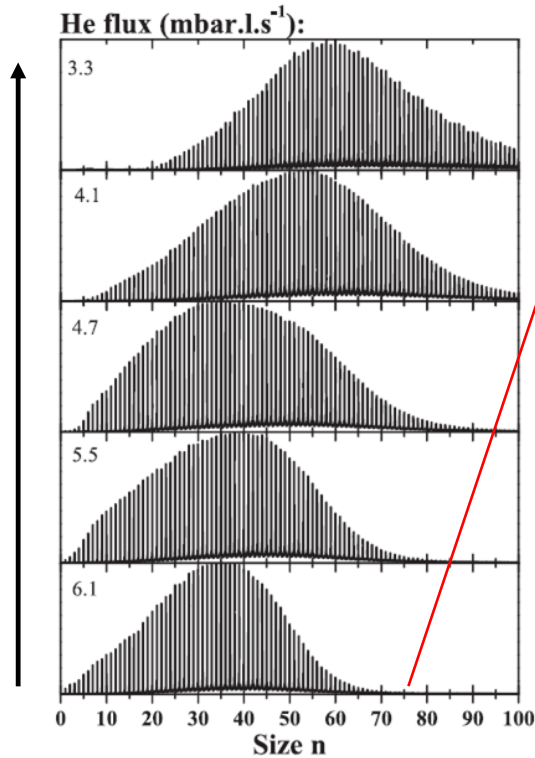
Tester/valider le dispositif expérimental

- *Gestionnaires*
- *DR*

- *Technicien.nes*
- *Ingénieur.es*

- *(Post)-Doctorant.e*
- *Ingénieur.e de recherche*

Variation d'un paramètre expérimental



Modification de la réponse du dispositif expérimental correcte

FIG. 4. Evolution with the helium flow of the TOF-MS for protonated water clusters. As the helium flow is increased, from top to bottom, the size distribution shifts towards small sizes.

Le processus de recherche

Proposer un projet de recherche pour obtenir des financements

Développer un dispositif/protocole expérimental pour l'étude

Tester/valider le dispositif expérimental

Réaliser suffisamment de mesures en lien avec les questions posées

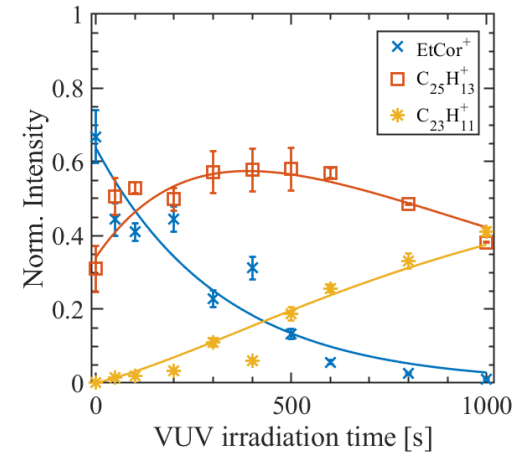
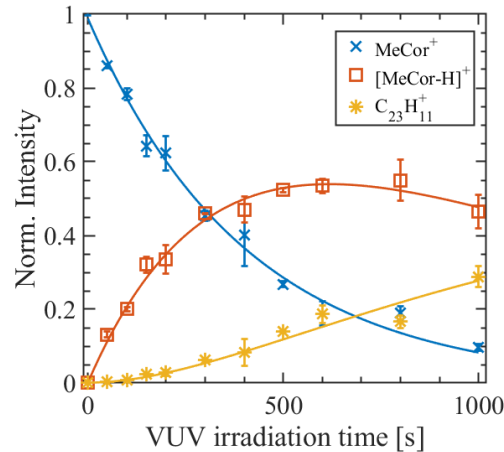
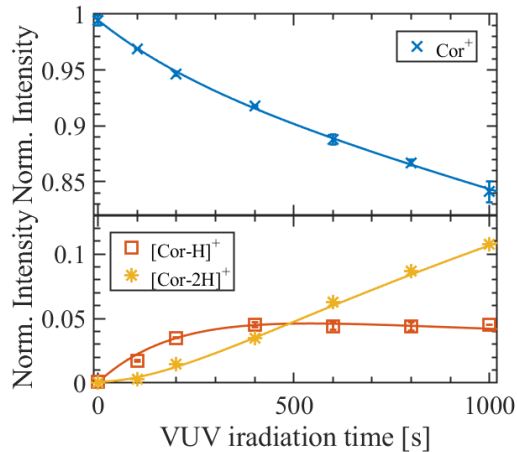
Analyser les résultats (Python, C++)

- Gestionnaires
- DR

- Technicien.nes
- Ingénieur.es

- (Post)-Doctorant.e
- Ingénieur.e de recherche

- Doctorant.e
- Post-Doctorant.e



Une mesure doit être statistiquement fiable ➔ notion de barre d'erreur

Le processus de recherche

Proposer un projet de recherche pour obtenir des financements

Développer un dispositif/protocole expérimental pour l'étude

Tester/valider le dispositif expérimental

Réaliser suffisamment de mesures en lien avec les questions posées

Analyser les résultats (Python, C++)

- Gestionnaires
- DR

- Technicien.nes
- Ingénieur.es

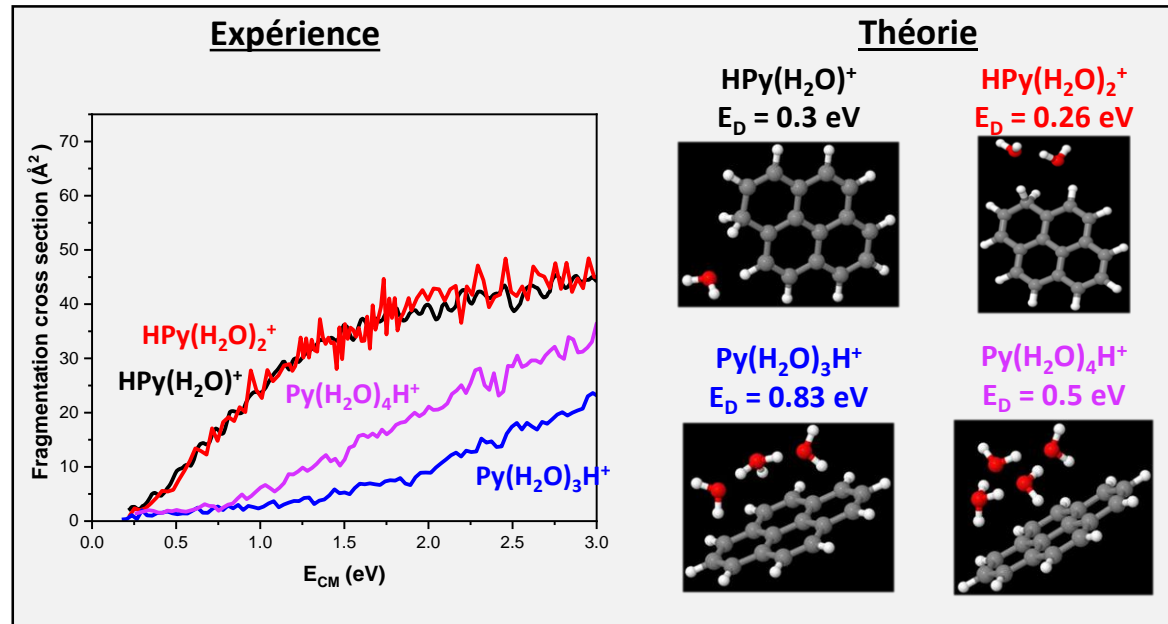
- (Post)-Doctorant.e
- Ingénieur.e de recherche

- Doctorant.e
- Post-Doctorant.e

« Challenger » les résultats travers des réunions internes

Interpréter les résultats grâce aux études précédentes

- Toute l'équipe de recherche
- Collaborateur.rice.s proches (théoricien.nes, astrophysicien.nes)



Le processus de recherche

Proposer un projet de recherche pour obtenir des financements

- Gestionnaires
- DR

Développer un dispositif/protocole expérimental pour l'étude

- Technicien.nes
- Ingénieur.es

Tester/valider le dispositif expérimental

- (Post)-Doctorant.e
- Ingénieur.e de recherche

Réaliser suffisamment de mesures en lien avec les questions posées

- Doctorant.e
- Post-Doctorant.e

Analyser les résultats (Python, C++)

« Challenger » les résultats travers des réunions internes

- L'équipe et collaborateur.rice.s

Interpréter les résultats grâce aux études précédentes

Rédiger un article scientifique relu par des « pairs »

- Pairs = Chercheur.se.s (anonymes) et reconnu.e.s dans le domaine

PCCP



PAPER

[View Article Online](#)
[View Journal](#) | [View Issue](#)



Cite this: *Phys. Chem. Chem. Phys.*,
2024, 26, 5947

Diversity of protonated mixed pyrene–water clusters investigated by collision induced dissociation†

Arya M. Nair,^{ac} Héloïse Leboucher,^{ib} Loris Toucouere,^b Sébastien Zamith,^{id}★^a
Christine Joblin,^{id}★^c Jean-Marc L'Hermite,^a Alexandre Marciniak^{id}★^a and
Aude Simon^{id}★^b

Le processus de recherche

Proposer un projet de recherche pour obtenir des financements

Développer un dispositif/protocole expérimental pour l'étude

Tester/valider le dispositif expérimental

Réaliser suffisamment de mesures en lien avec les questions posées

Analyser les résultats (Python, C++)

- Gestionnaires
- DR

- Technicien.nes
- Ingénieur.es

- (Post)-Doctorant.e
- Ingénieur.e de recherche

- Doctorant.e
- Post-Doctorant.e

« Challenger » les résultats travers des réunions internes

Interpréter les résultats grâce aux études précédentes

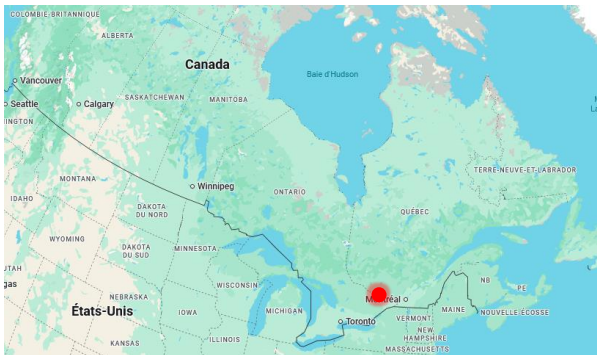
Rédiger un article scientifique relu par des « pairs »

Communiquer et discuter les résultats avec la communauté (congrès, séminaires)

- L'équipe et collaborateur.rice.s

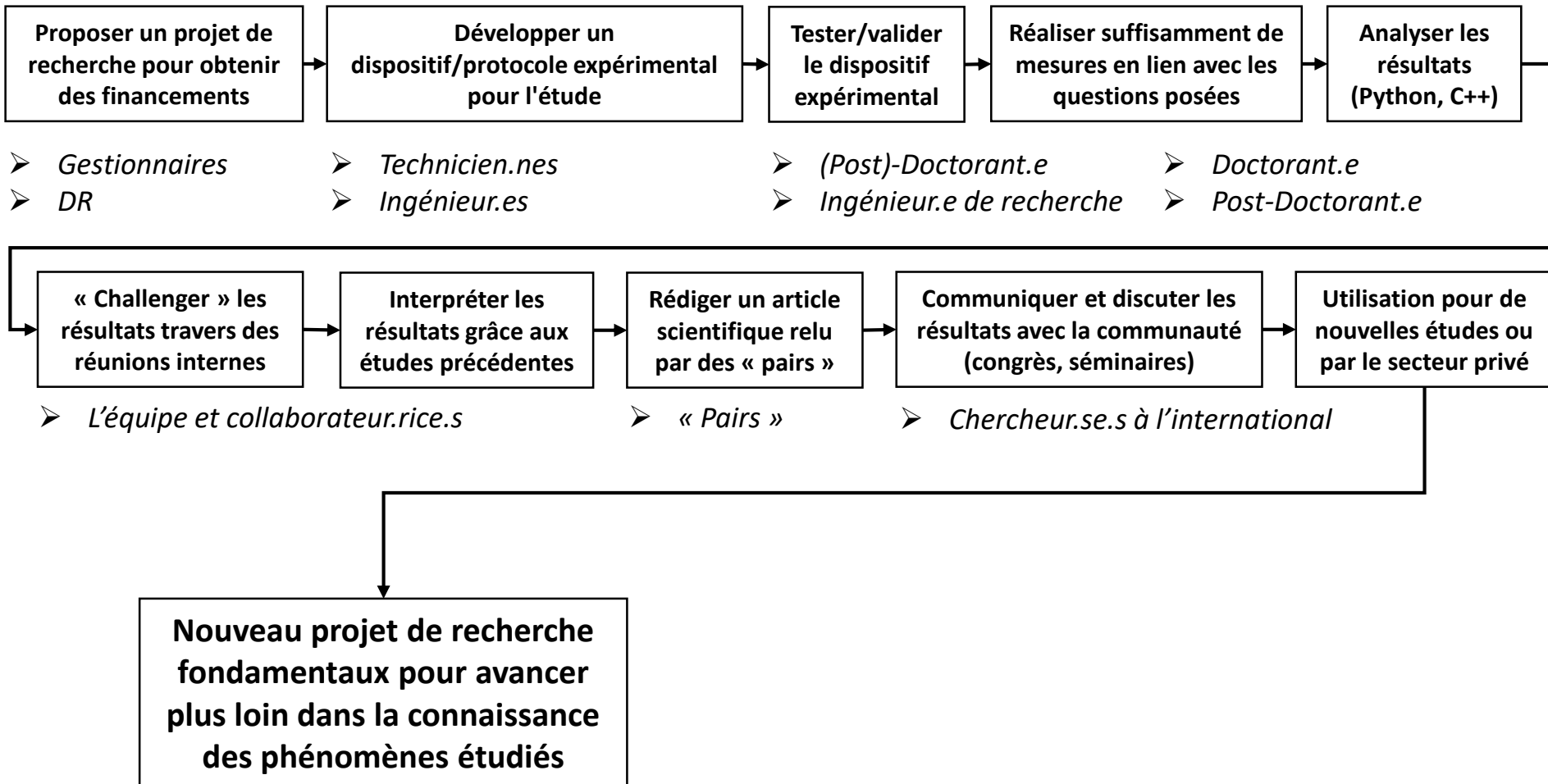
- « Pairs »

- Chercheur.se.s/(post)-doctorant.e.s du monde

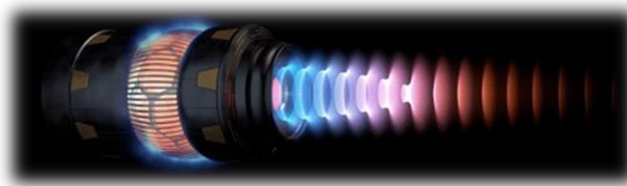
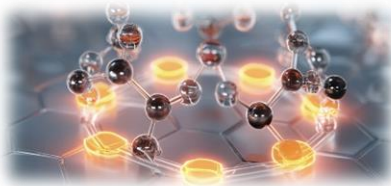
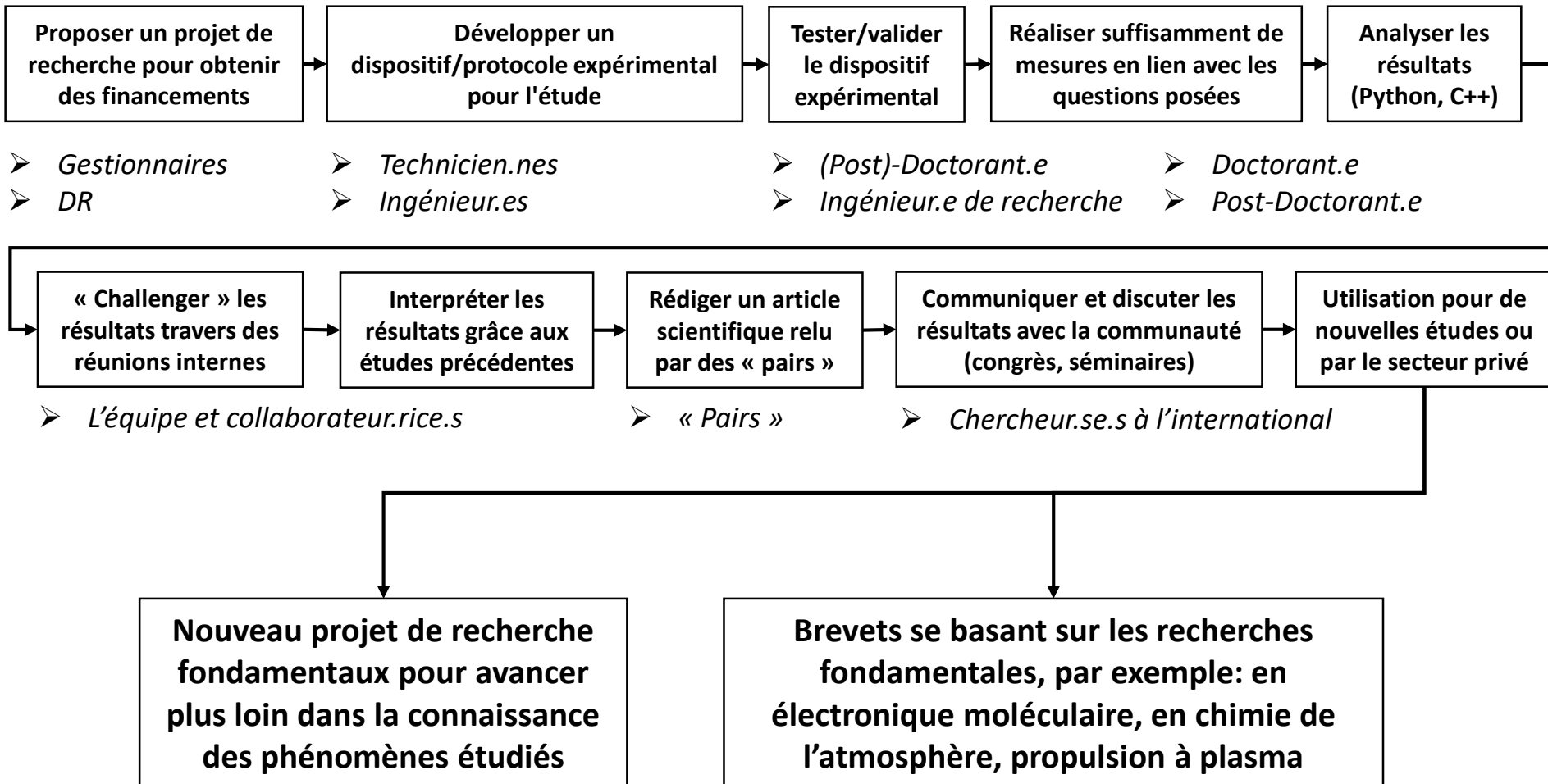


● Lieux de congrès internationaux

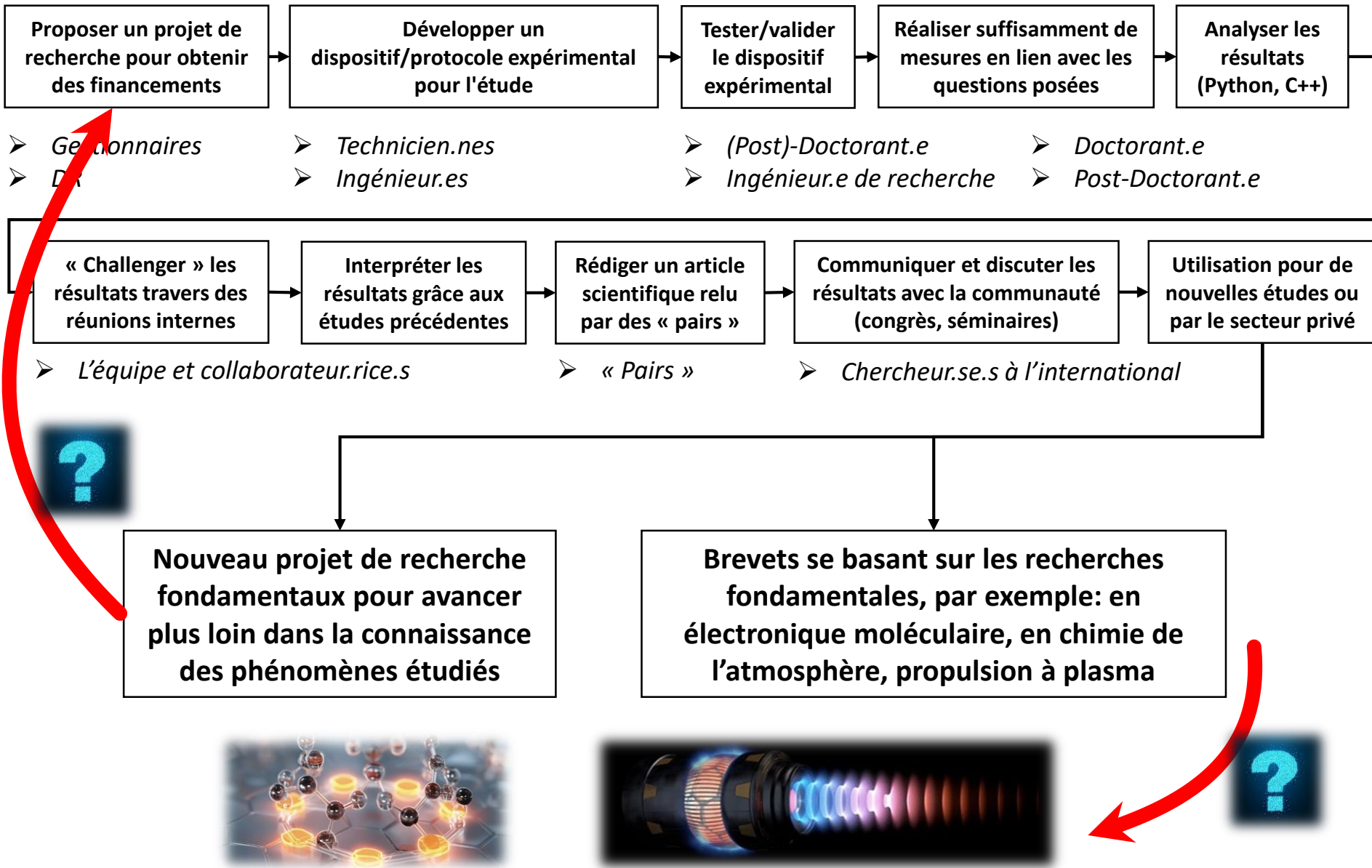
Le processus de recherche



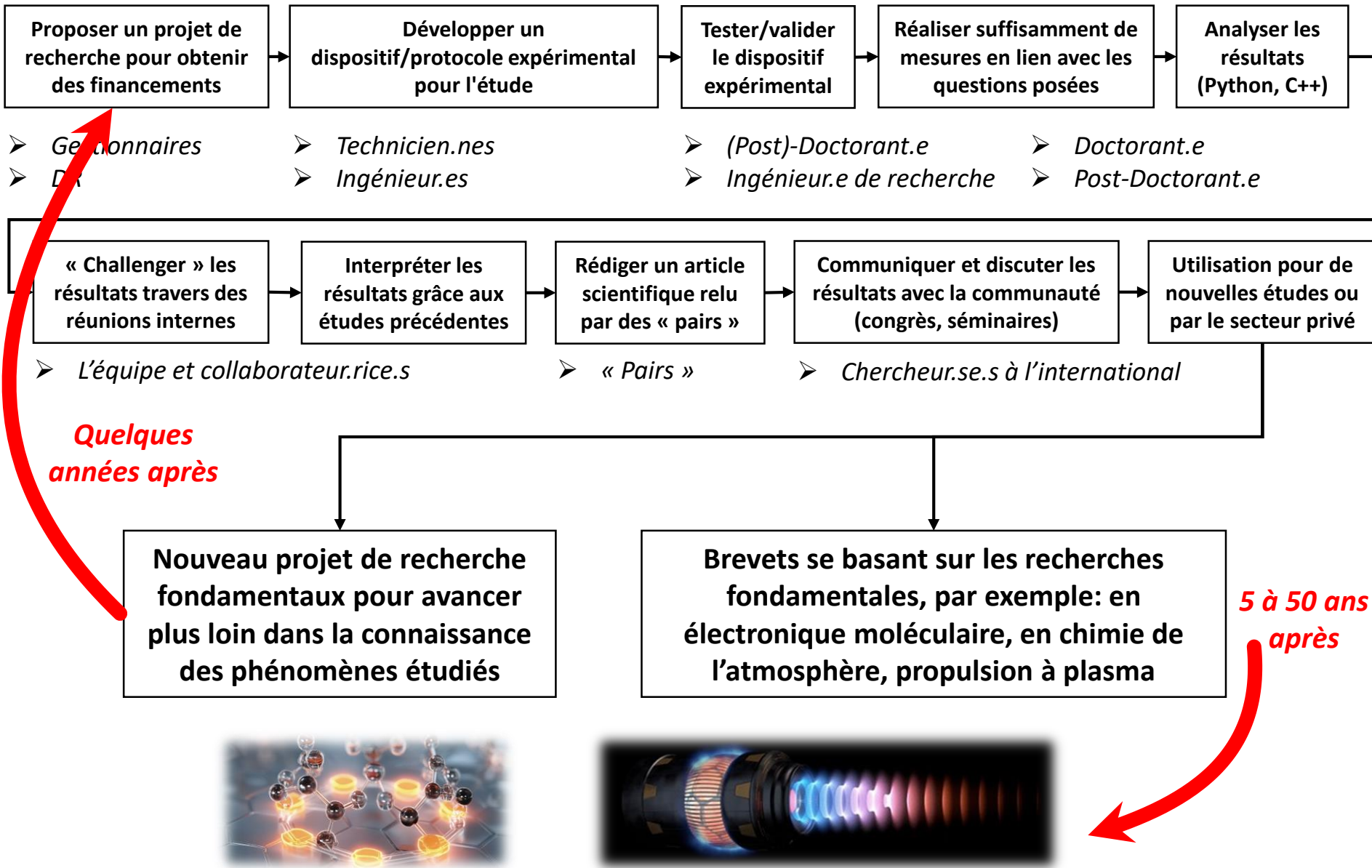
Le processus de recherche



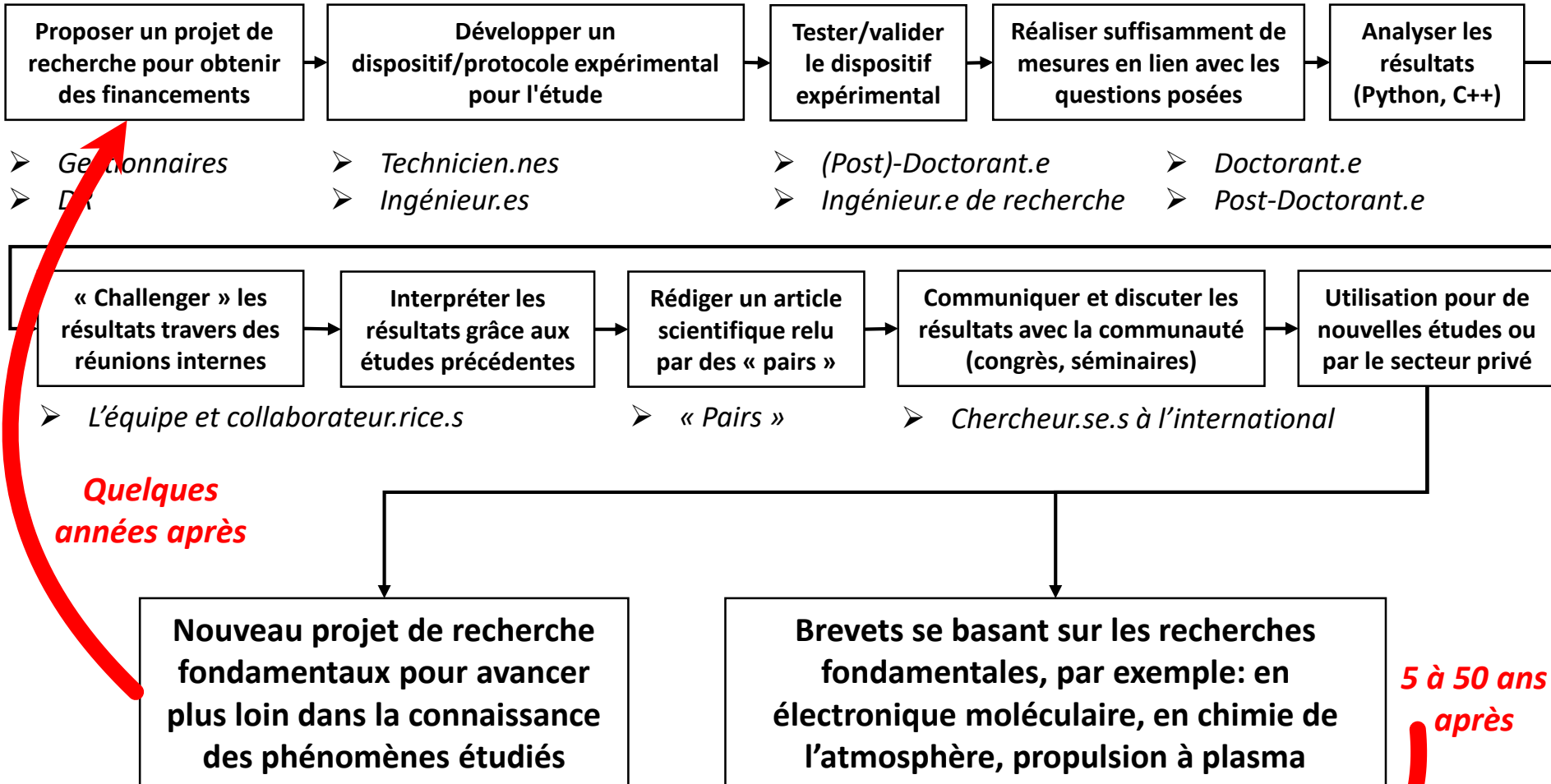
Le processus de recherche



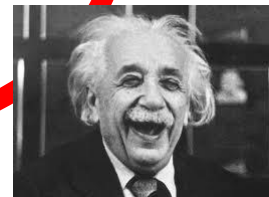
Le processus de recherche



Le processus de recherche



Par exemple, le **GPS (1973)** est l'application concrète la plus courante dont le fonctionnement met en jeu la théorie de la relativité. Si ses effets n'étaient pas pris en compte, la navigation par GPS serait entachée d'erreurs importantes



Mon équipe de recherche et mes collaborateurs



S. Zamith



F. Baterdouk



A. Nair

P. Moretto-Capelle, J.-M. L'Hermite



V. Rao Mundlapati, V. Meloottayil, H. Sabbah, S. Wiersma & C. Joblin
Support : A. Bonnamy, L. Nogues, O. Coeur-Joly, D. Murat



Laboratoire de Chimie et Physique Quantiques



A. Simon,
M. Rapacioli,
H. Leboucher,
F. Spiegelman



G. Mulas



L. Nahon,
A. Giuliani



M. Vilas-Varela,
D. Peña



S. Brünken,
P. Arvindpaunikar





Comptoir
des Sciences

Et si on parlait de science...

Merci de votre attention,

**Maintenant c'est à vous de me
poser des questions !!!!**





Annexes

Les métiers de la recherche

Les postes PERMANENTS

Directeur ou directrice de laboratoire : gère l'ensemble des projets, cherche des financements, manage l'équipe

Chargé et Directrice ou directeur de recherche (C) de l'équipe dirigent des projets de recherche et encadrent les doctorants

Maître et maîtresse de conférences et Professeur(e) des Universités (EC) : Leur temps est divisé entre diriger des projets de recherche et encadrer les doctorants, et enseigner à l'Université

Les postes NON-PERMANENTS

Les personnes en post-doctorat (C) et ATER (EC) sont titulaires d'un doctorat, mais n'ont pas encore de poste fixe

Les doctorantes et doctorants ont un master et passent 3/4 ans à travailler sur un projet de recherche sous la supervision d'un-e encadrant-e (C ou EC)

Les ingénieures et ingénieurs sont en charge de domaines technique spécialisés ou complexes (microscopie, bio-informatiques, mise au point technique)

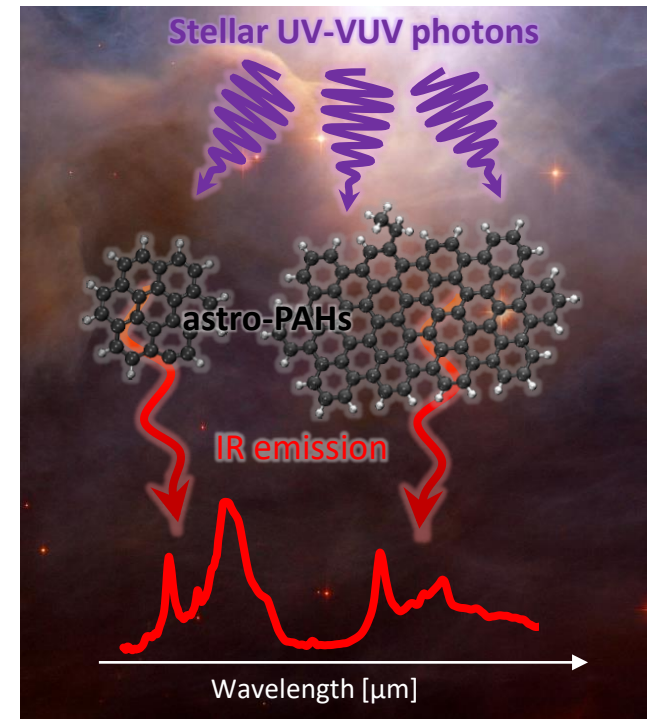
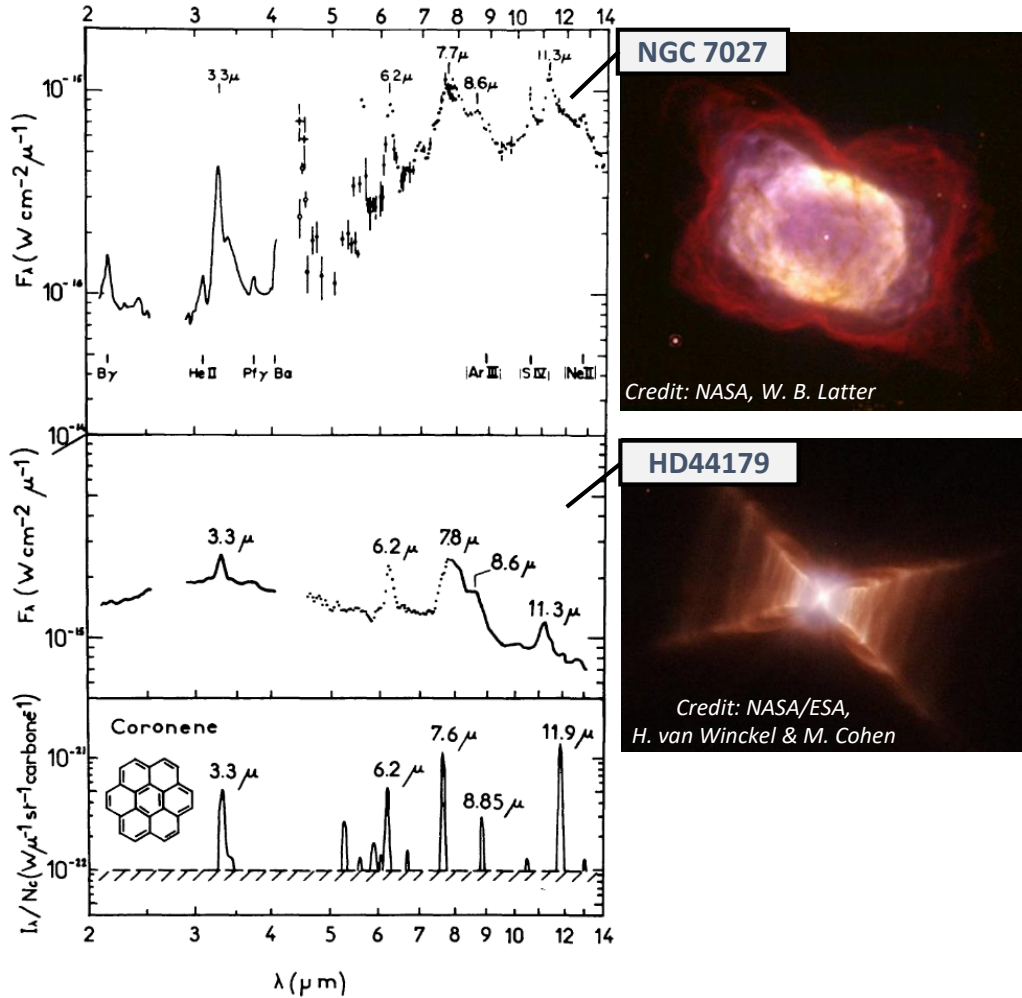
Les techniciennes et techniciens font des expériences à la paillasse pour faire avancer les projets

Métiers support de la recherche (extérieurs), médiation, financement...

Administration / gestion du laboratoire et plateformes techniques

The PAH hypothesis

PAH = Polycyclic Aromatic Hydrocarbons



NGC 7023 ESA/Hubble – IR spectrum from Spitzer

A. Léger & J. L. Puget, *A&A* **137**:L5-L7 (1984)

Recent identification of PAH derivatives in cold space

nature astronomy



Article

<https://doi.org/10.1038/s41550-024-02410-9>

Detections of interstellar aromatic nitriles 2-cyanopyrene and 4-cyanopyrene in TMC-1

Received: 30 June 2024

Accepted: 9 October 2024

Published online: 5 November 2024

Check for updates

Gabi Wenzel¹, Thomas H. Speak², P. Bryan Changala³,
Reace H. J. Willis², Andrew M. Burkhardt⁴, Shuo Zhang¹, Edwin A. Bergin⁵,
Alex N. Byrne¹, Steven B. Charnley⁶, Zachary T. P. Fried¹, Harshal Gupta^{3,7},
Eric Herbst⁸, Martin S. Holdren¹, Andrew Lipnicky⁹, Ryan A. Loomis⁹,
Christopher N. Shingledecker¹⁰, Ci Xue¹, Anthony J. Remijan⁹,
Alison E. Wendlandt¹, Michael C. McCarthy², Ilsa R. Cooke² &
Brett A. McGuire^{1,9}

THE ASTROPHYSICAL JOURNAL LETTERS, 984:L36 (19pp), 2025 May 1

<https://doi.org/10.3847/2041-8213/ad911>

© 2025. The Author(s). Published by the American Astronomical Society.

OPEN ACCESS



Discovery of the Seven-ring Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Cyanocoronene (C₂₄H₁₁CN) in GOTHAM Observations of TMC-1

Gabi Wenzel^{1,2}, Siyuan Gong¹, Ci Xue¹, P. Bryan Changala^{3,4}, Martin S. Holdren¹, Thomas H. Speak⁵,
D. Archie Stewart¹, Zachary T. P. Fried¹, Reace H. J. Willis⁵, Edwin A. Bergin⁶, Andrew M. Burkhardt⁷,
Alex N. Byrne¹, Steven B. Charnley⁸, Andrew Lipnicky⁹, Ryan A. Loomis⁹, Christopher N. Shingledecker¹⁰,
Ilsa R. Cooke⁵, Michael C. McCarthy², Anthony J. Remijan⁹, Alison E. Wendlandt¹, and Brett A. McGuire^{1,9}

A&A, 701, L8 (2025)

<https://doi.org/10.1051/0004-6361/202556687>

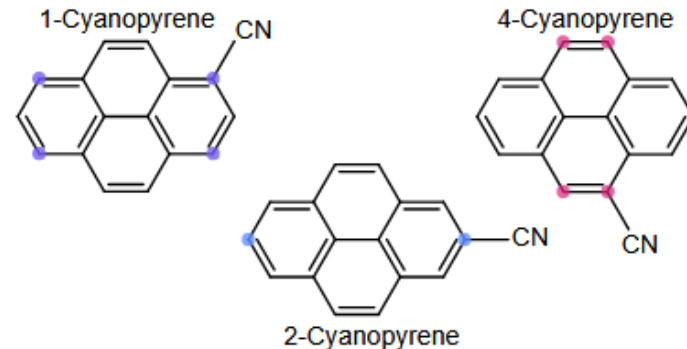
© The Authors 2025

**Astronomy
&
Astrophysics**

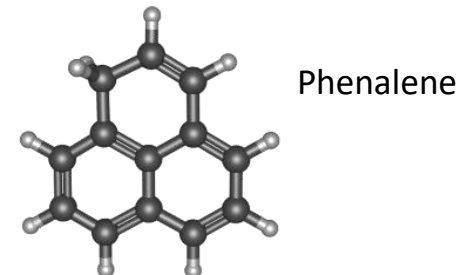
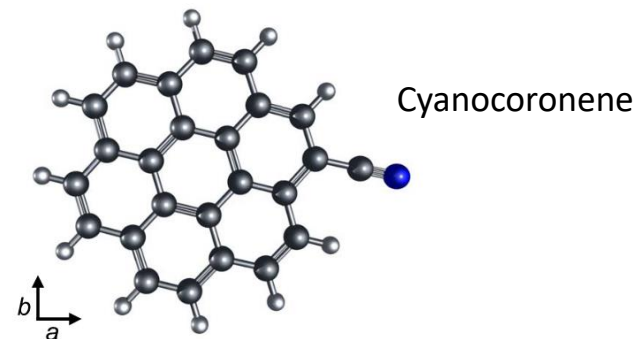
LETTER TO THE EDITOR

Discovery of interstellar phenalene (c-C₁₃H₁₀): A new piece in the chemical puzzle of PAHs in space

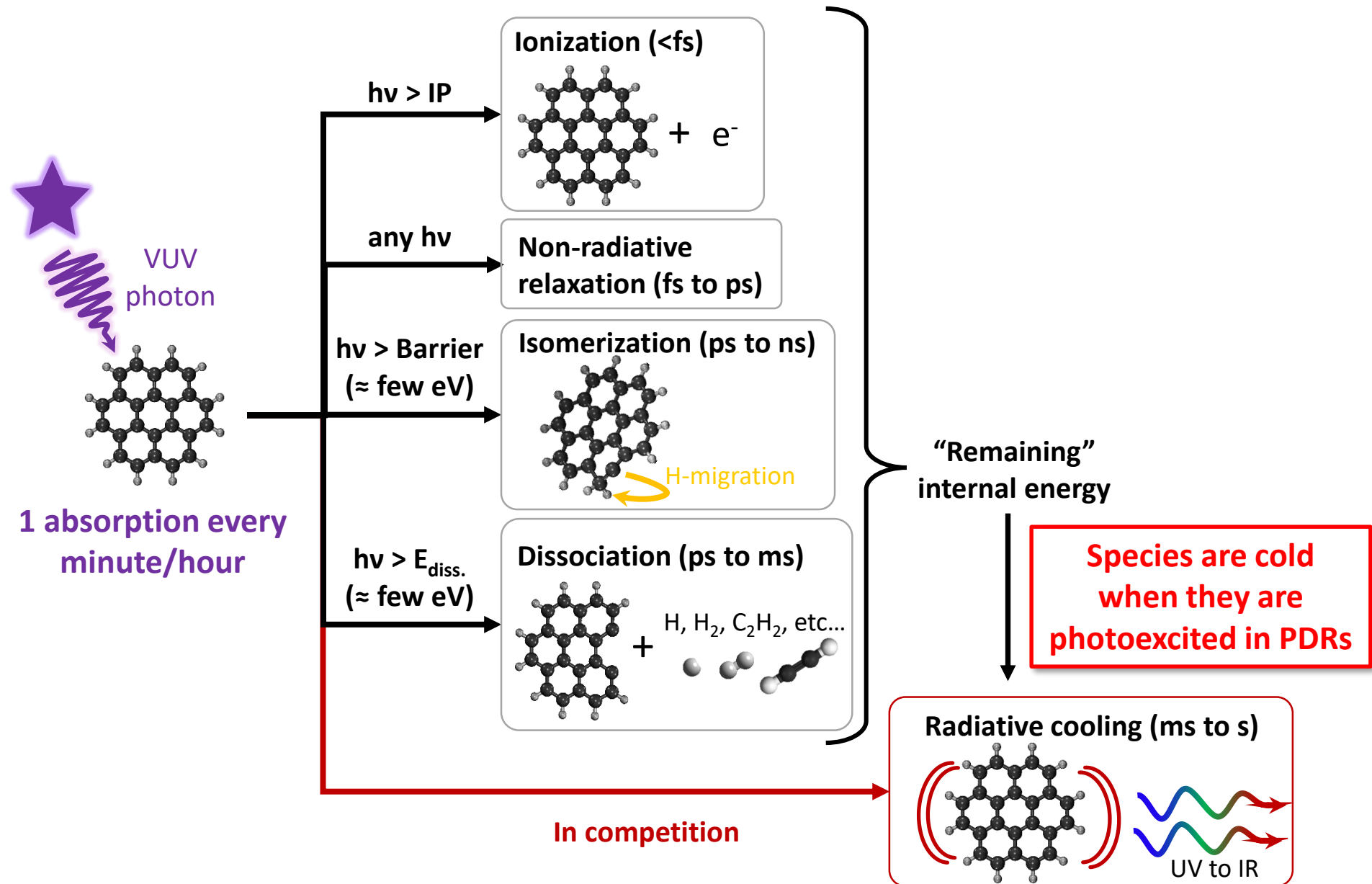
C. Cabezas^{1,*}, M. Agúndez¹, C. Pérez², D. Villar-Castro³, G. Molpeceres¹, D. Pérez³, A. L. Steber²,
R. Fuentetaja¹, B. Tercero^{4,5}, N. Marcelino^{4,5}, A. Lesarri², P. de Vicente⁵, and J. Cernicharo^{1,*}



See also: G. Wenzel et al., *Science* **386**:6723 (2024)

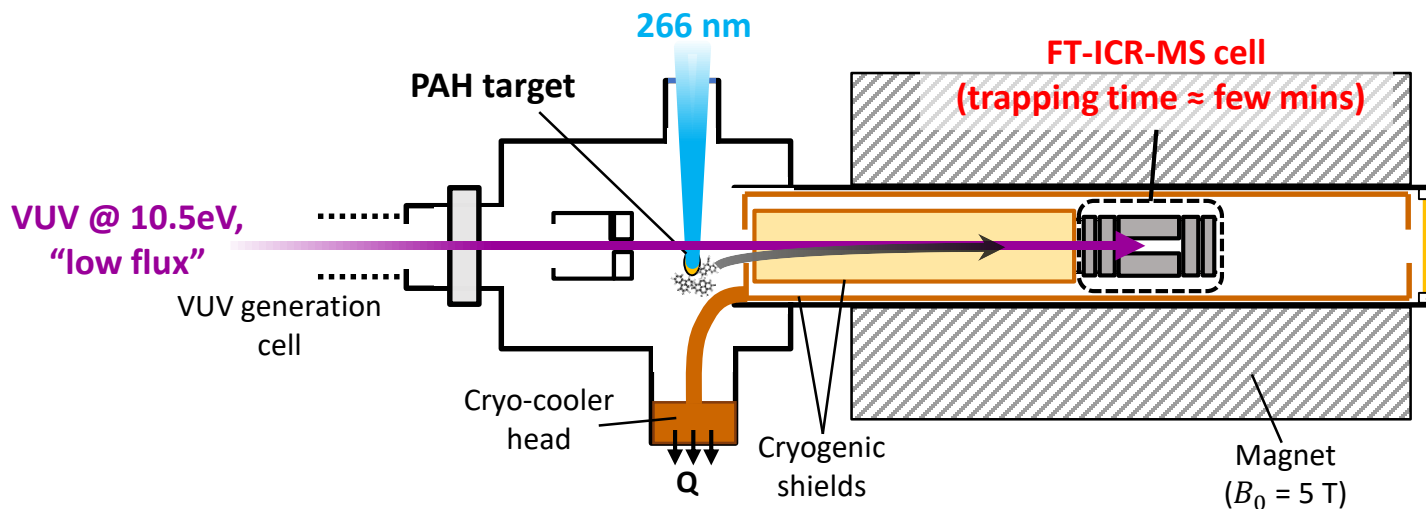
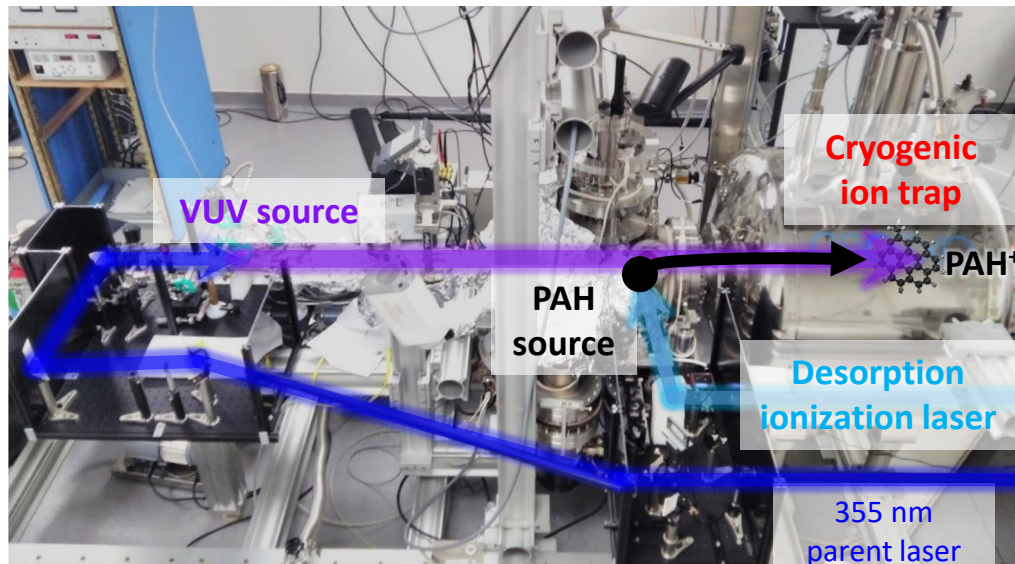
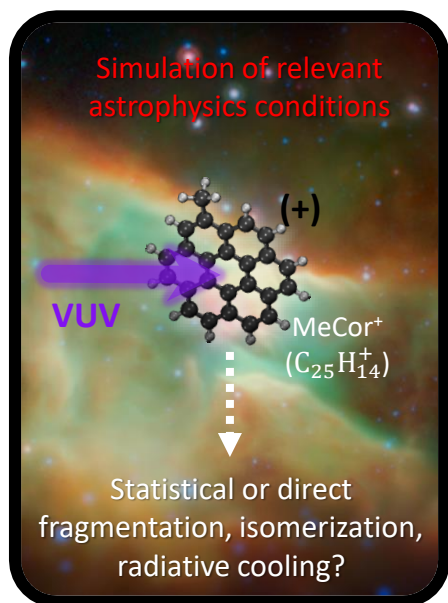


Relaxation of a photoexcited PAH in photodissociation regions

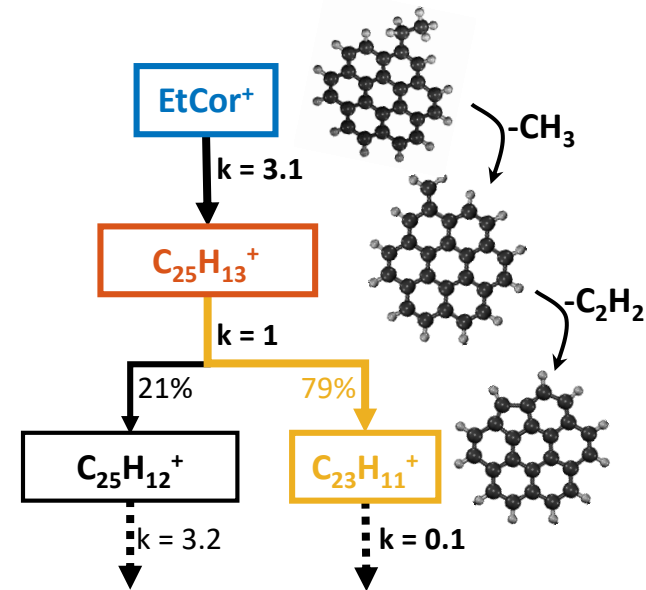
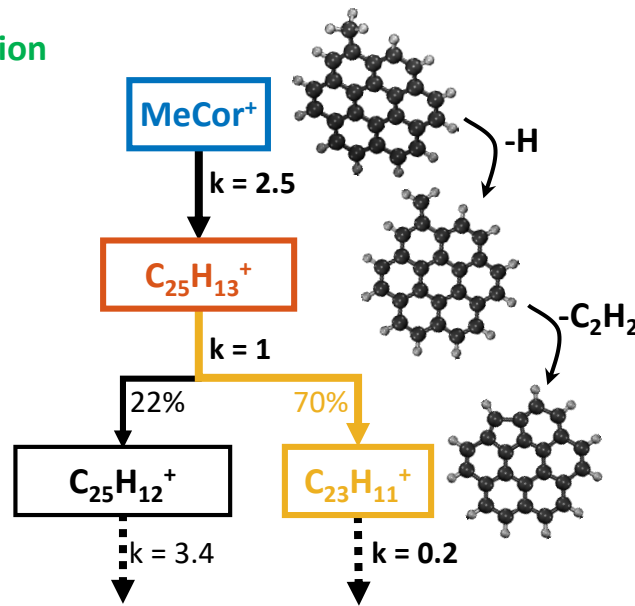
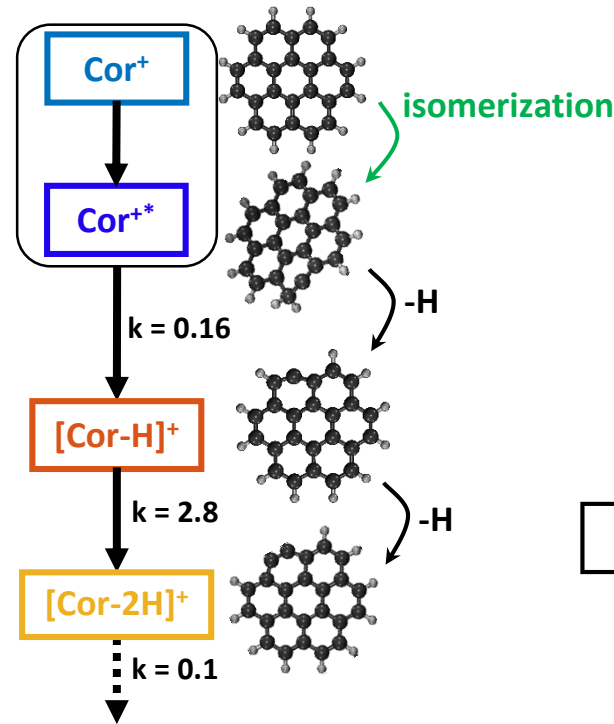
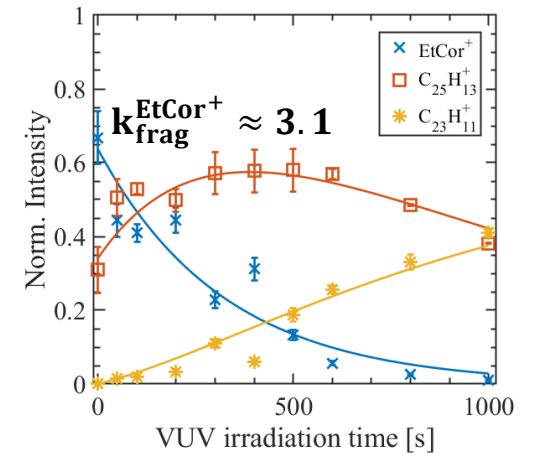
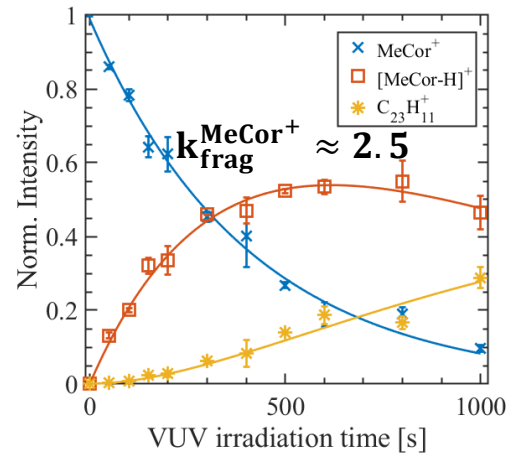
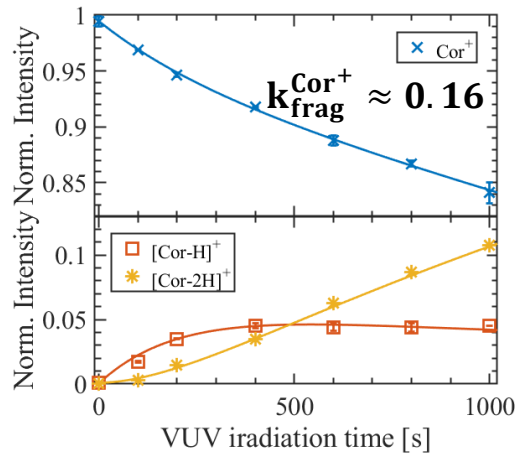


Coll. with IRAP (PIRENEA v.1.0) to study VUV photo-processed PAH⁺

Collisionless and cold environment: 10^{-11} mbar, 30 K



Fragmentation maps of VUV photo-processed PAH⁺

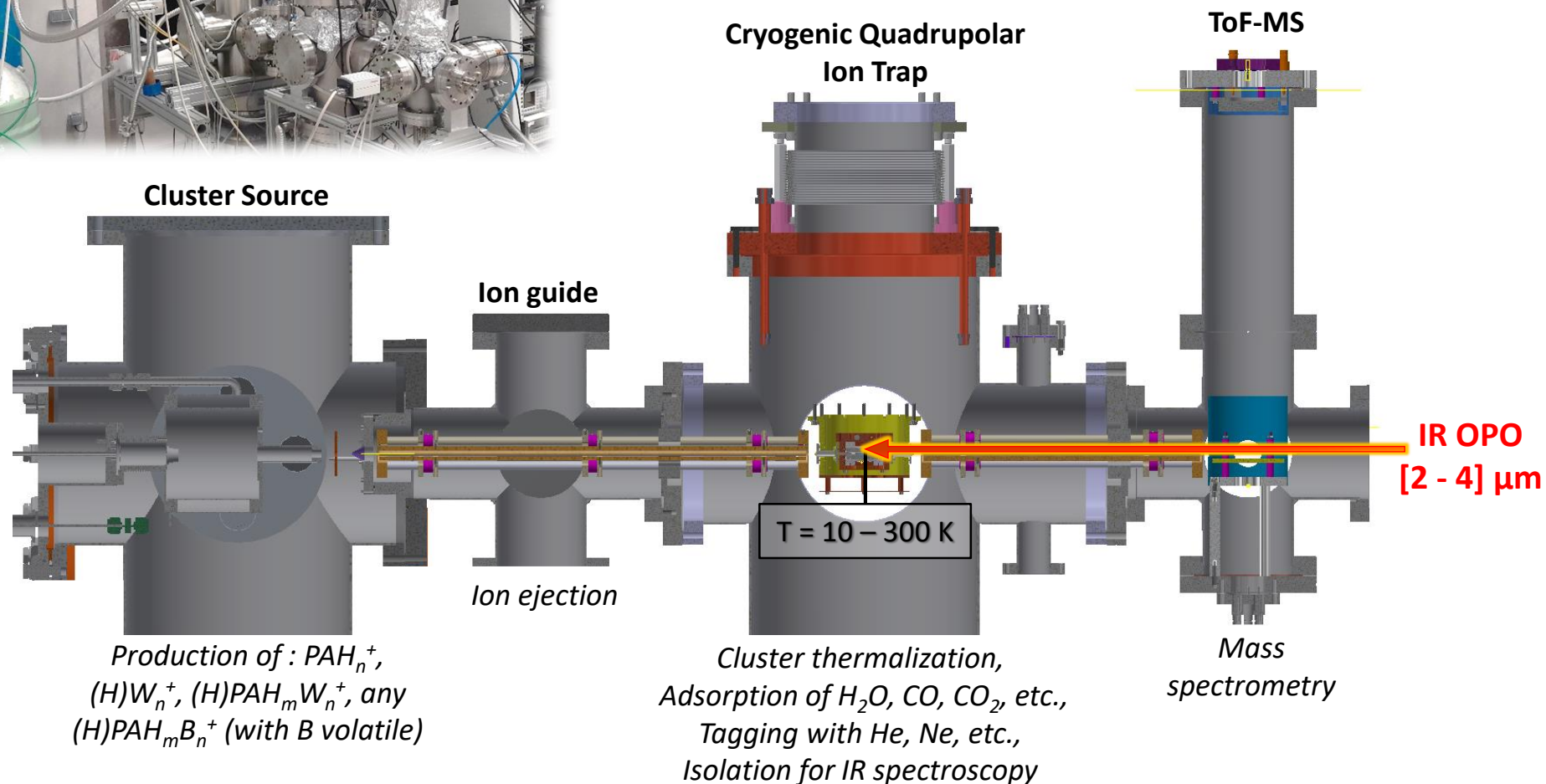
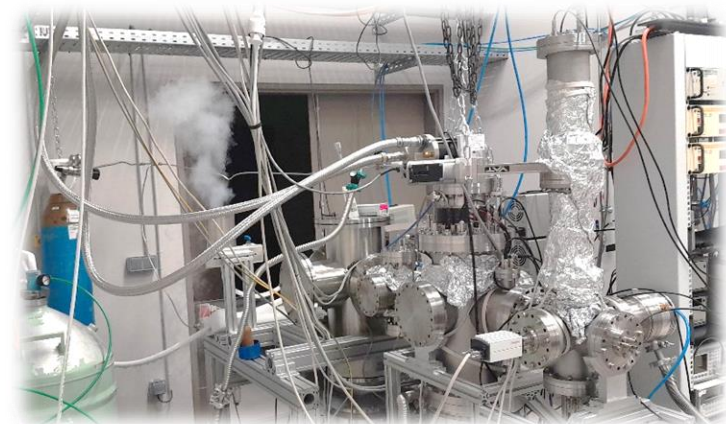


k are in $\times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ (scalable with the VUV flux)

Marciniak, A. et al. *A&A* **642**, A42 (2021)

Development of IR spectroscopy for tagged $\text{PAH}_m(\text{H}_2\text{O})_n^+$ clusters

anr[®] JCJC (2025-2028)



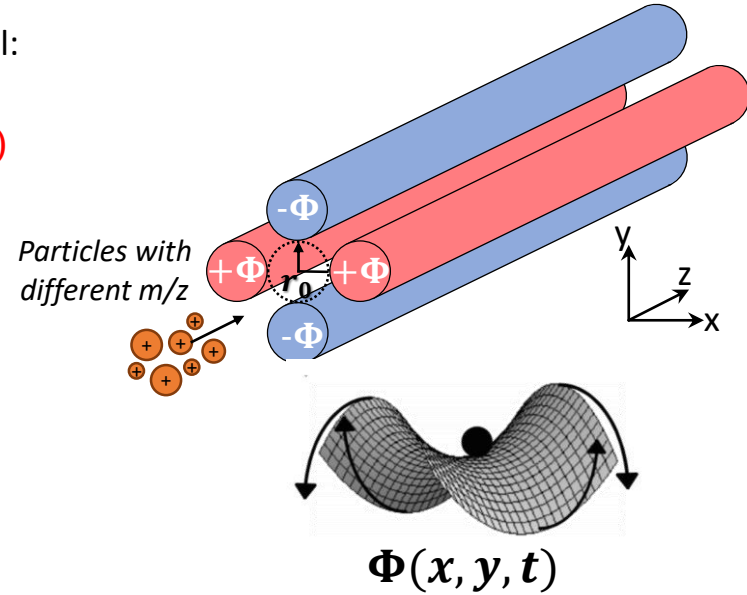
RF Quadrupole: a versatile tool

- Equation of motion of a charged particle in a RF quadrupolar potential:

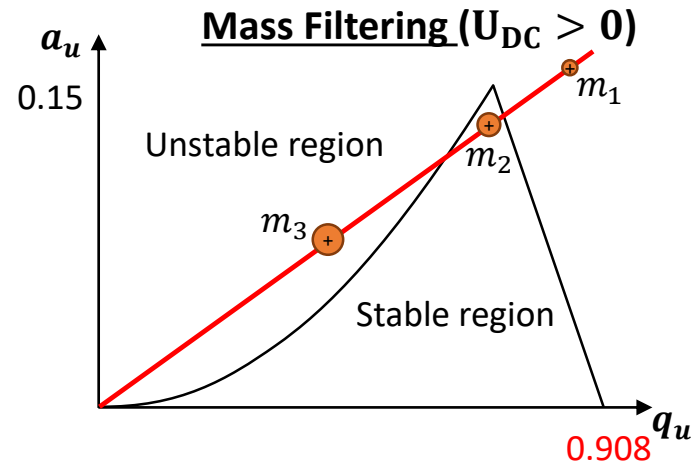
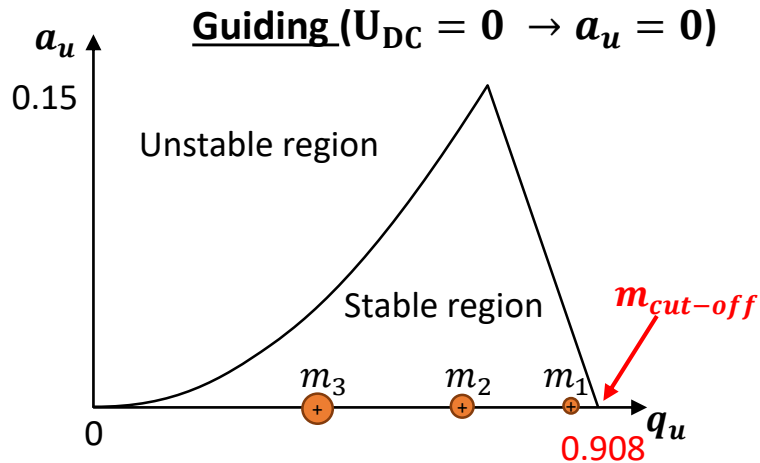
$$m\ddot{\mathbf{a}} = -\frac{e\Phi}{2r_0^2}(\mathbf{x} - \mathbf{y}) \quad \text{with} \quad \Phi = U_{DC} + V_{RF}\cos(\Omega t)$$

- Can be transformed into the Mathieu equation:

$$\frac{d^2u}{dt^2} = -\left(\frac{\Omega}{4}a_u - \frac{2\Omega^2}{4}q_u \cos \Omega t\right)u \quad \text{with} \quad \begin{cases} a_u = \frac{8eU_{DC}}{mr_0^2\Omega^2} \\ q_u = \frac{-4eV_{RF}}{mr_0^2\Omega^2} \end{cases}$$



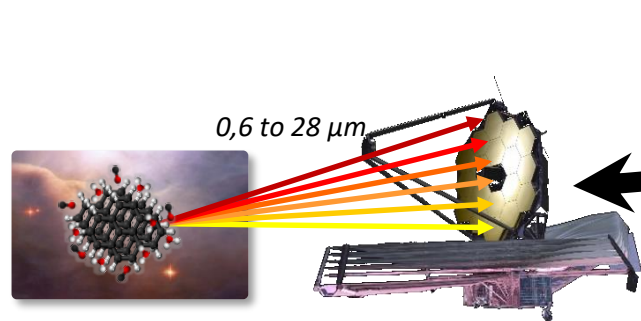
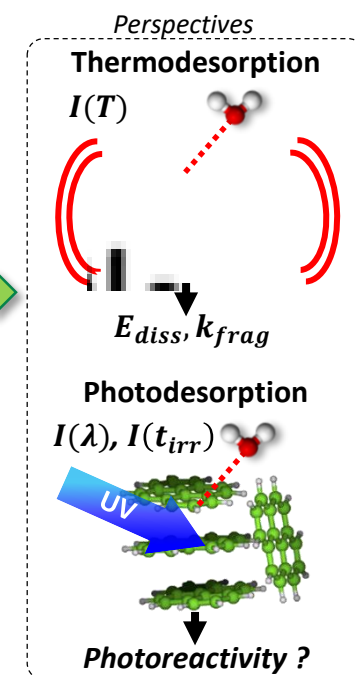
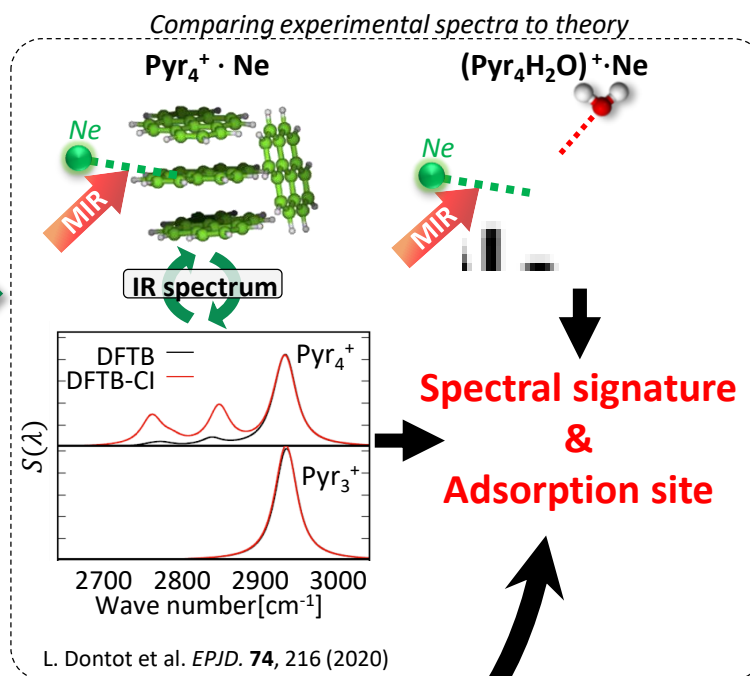
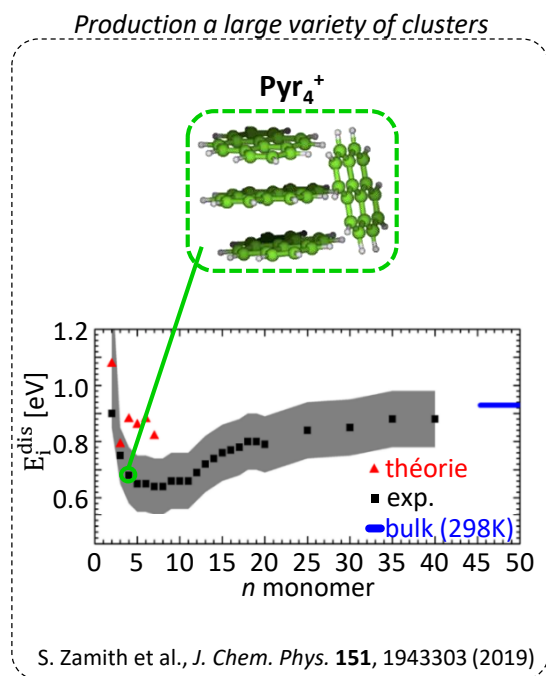
Stability diagrams



→ High transmission for a broad range of m/z

→ Can be scanned using (U_{DC}, V_{RF}) or Ω_{RF}

Characterizing the Spectral Signatures of astro-relevant carbonaceous Clusters Experimentally



PDRs4all JWST Program
Berné, O. et al., *PASP* **134**, 054301 (2022)

Complementarity with JWST spectra

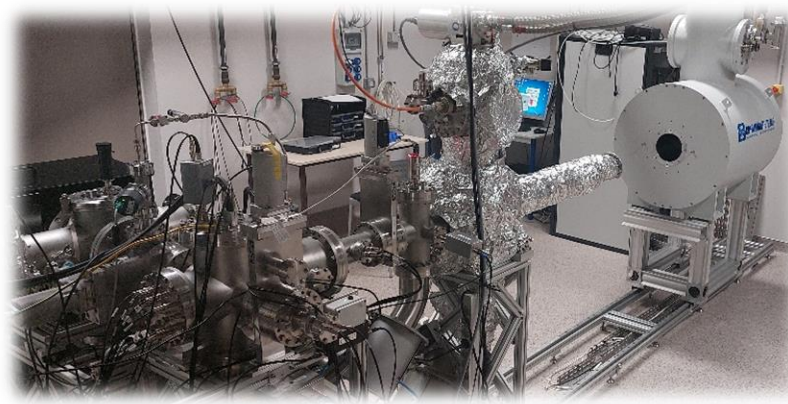
Open questions
Size and composition effects ?
Inter-/intra- molecular interactions ?

Interdisciplinary collaboration between three laboratories:
LCAR (exp), IRAP (astrophys), LCPQ (theory)

Marciniak, A. et al. *Eur. Conf. on Lab. Astrophys.* **59** (2023)

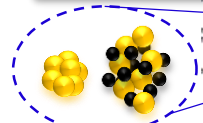
Simulating photon-gas-nanograin interactions with PIRENEA v. 2.0

Diversity of the studied nanograins: atomic clusters, molecular clusters and mixture

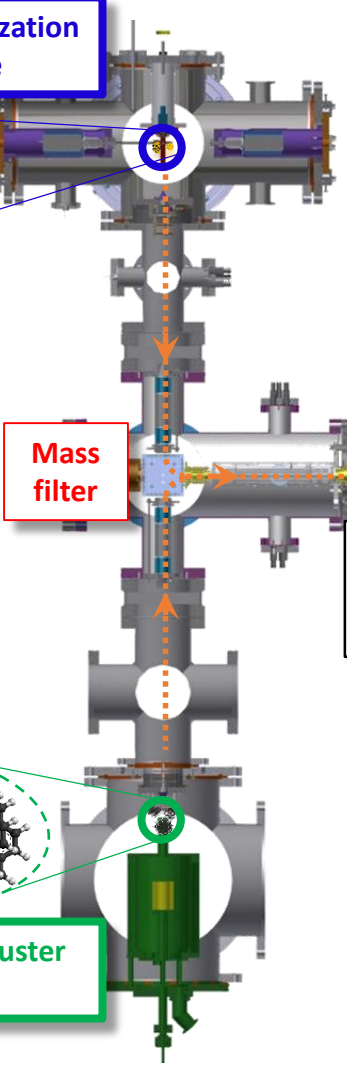


Strong collaboration with IRAP

Laser vaporization source

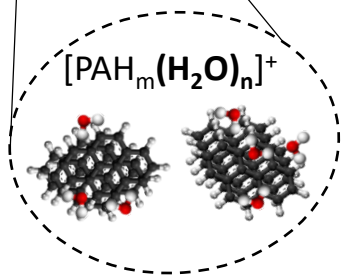


$Si_m, Si_n C_m$



Cryogenic ion trap

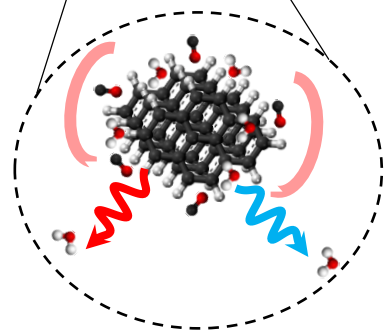
$T \approx 4 - 300 K$
→ Thermalization, Adsorption, Tagging



$[PAH_m(H_2O)_n]^+$

ICR cell: long isolation time ~ 10 min
→ Reactivity at low $T(K)$, photoprocessing

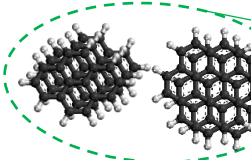
$T \sim 10 K, P \sim 10^{-11} mbar$
→ Non-destructive and very high resolution mass spectrometry



LASER (IR to VUV)

PAH_n

Molecular cluster source



Marciniak, A. et al. *Eur. Conf. on Lab. Astrophys.* 59 (2023)