

Parcours, recherche, et Jupiter en laboratoire !

Daphné Lemasquier

Interventions Scolaires
Congrès des Deux Infinis
Novembre 2022 – Île de la Réunion



I. Parcours académique

Parcours



Année(s)	Diplôme	Université - lieu
2012	Baccalauréat	Lycée Roland Garros, Le Tampon, île de la Réunion
2012-2014	CPGE (equiv. L1-L2)	CPGE BCPST , Lycée Roland Garros, Le Tampon, île de la Réunion
2014-2015	L3 mention Sciences de la Terre	ENS Lyon et Université Claude Bernard Lyon 1
2015-2016	M1 mention Sciences de la Terre (parcours Physique-Chimie de la Terre et des planètes)	ENS Lyon et Université Claude Bernard Lyon 1
2016-2017	Préparation à l' agrégation en science de la vie, science de la Terre et de l'univers (SV-STU)	ENS Lyon
2017-2018	M2 mention Mécanique, Physique et Ingénierie. Spécialité Mécanique des Fluides et Physique Non-Linéaire .	Aix-Marseille Université
2018-2021	Doctorat : « Étude expérimentale et numérique de la dynamique de Jupiter : jets, tourbillons et turbulence zonostrophique »	Aix-Marseille Université, IRPHE (Institut de Recherche sur les Phénomènes Hors-Equilibre)
Jan-Aout 2022	Post-doctorat sur la dynamique des lunes glacées de Jupiter et Saturne (Europe, Encelade...)	Institut de Géophysique, Université du Texas à Austin
Depuis Sept 2022	« <i>Lecturer</i> » en dynamique des fluides (enseignante-chercheuse)	Université de St-Andrews en Ecosse

Parcours

2005

2009

2012

2014

2016

2017

2018

2021

2022

Sept.



Parcours

2005

2009

2012

2014

2016

2017

2018

2021

2022

Sept.



Collège Terrain
Fleury
(Le Tampon)



Collège

Terrain Fleury



Parcours



Sept.
Collège
Terrain Fleury
(Le Tampon)

Bac S spé Physique-Chimie
Lycée Roland Garros
(Le Tampon)

Prépa BCPST
Lycée Roland Garros
(Le Tampon)



Parcours



Collège Terrain Fleury
(Le Tampon)

Lycée Roland Garros
+ **prépa** BCPST
(Le Tampon)

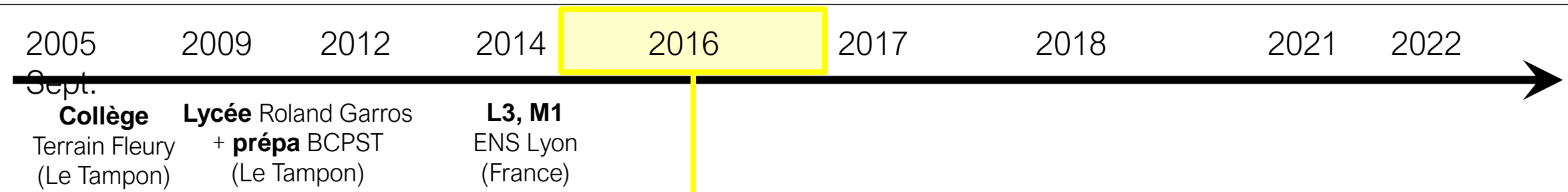


Licence 3 et Master 1
spé Physique-Chimie de la
Terre et des planètes

ENS Lyon
(France)



Parcours

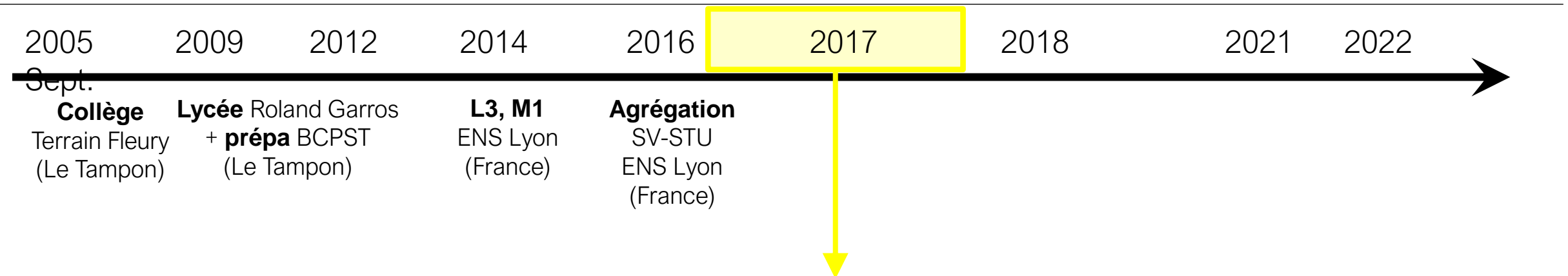


Agrégation
en Sciences de la Vie,
Sciences de la Terre et de
l'Univers

ENS Lyon
(France)



Parcours

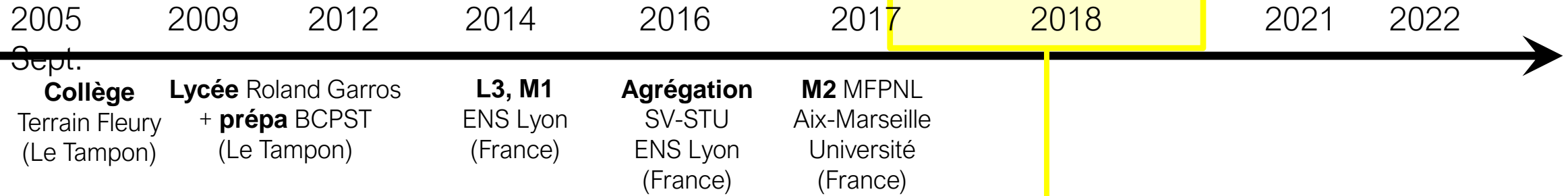


Master 2
en Mécanique des Fluides
et Physique Non-Linéaire

Aix-Marseille Université
(France)



Parcours

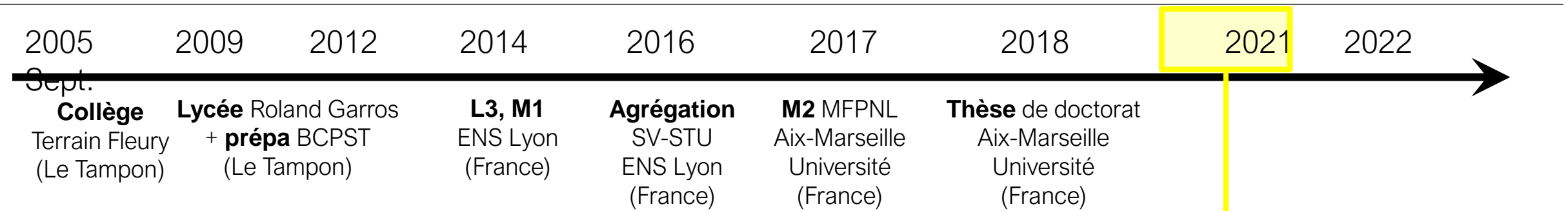


Thèse
sur la dynamique des fluides
de Jupiter

Aix-Marseille Université,
laboratoire IRPHE
(France)



Parcours



Post-doctorat

Sur la dynamique des océans enfouis des lunes de Jupiter et Saturne

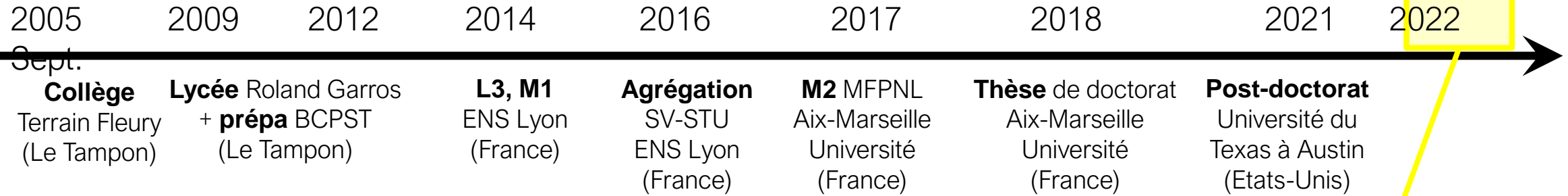
Université du Texas à Austin
(États-Unis)



 **TEXAS Geosciences**
The University of Texas at Austin
Jackson School of Geosciences

 **INSTITUTE FOR GEOPHYSICS**
JACKSON SCHOOL OF GEOSCIENCES

Parcours



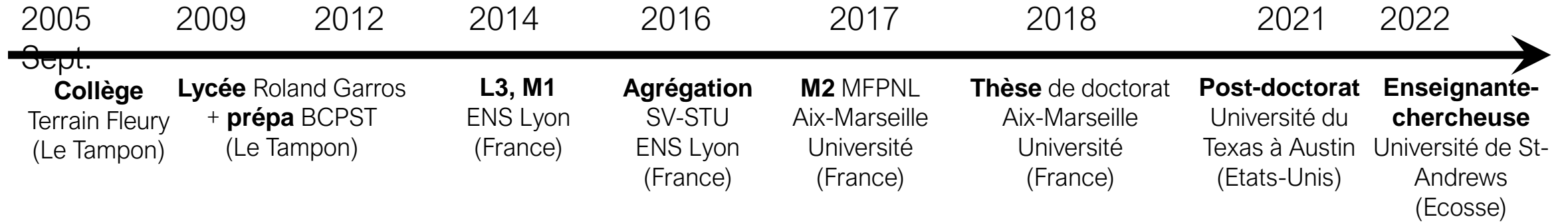
Enseignante-chercheuse
en dynamique des fluides

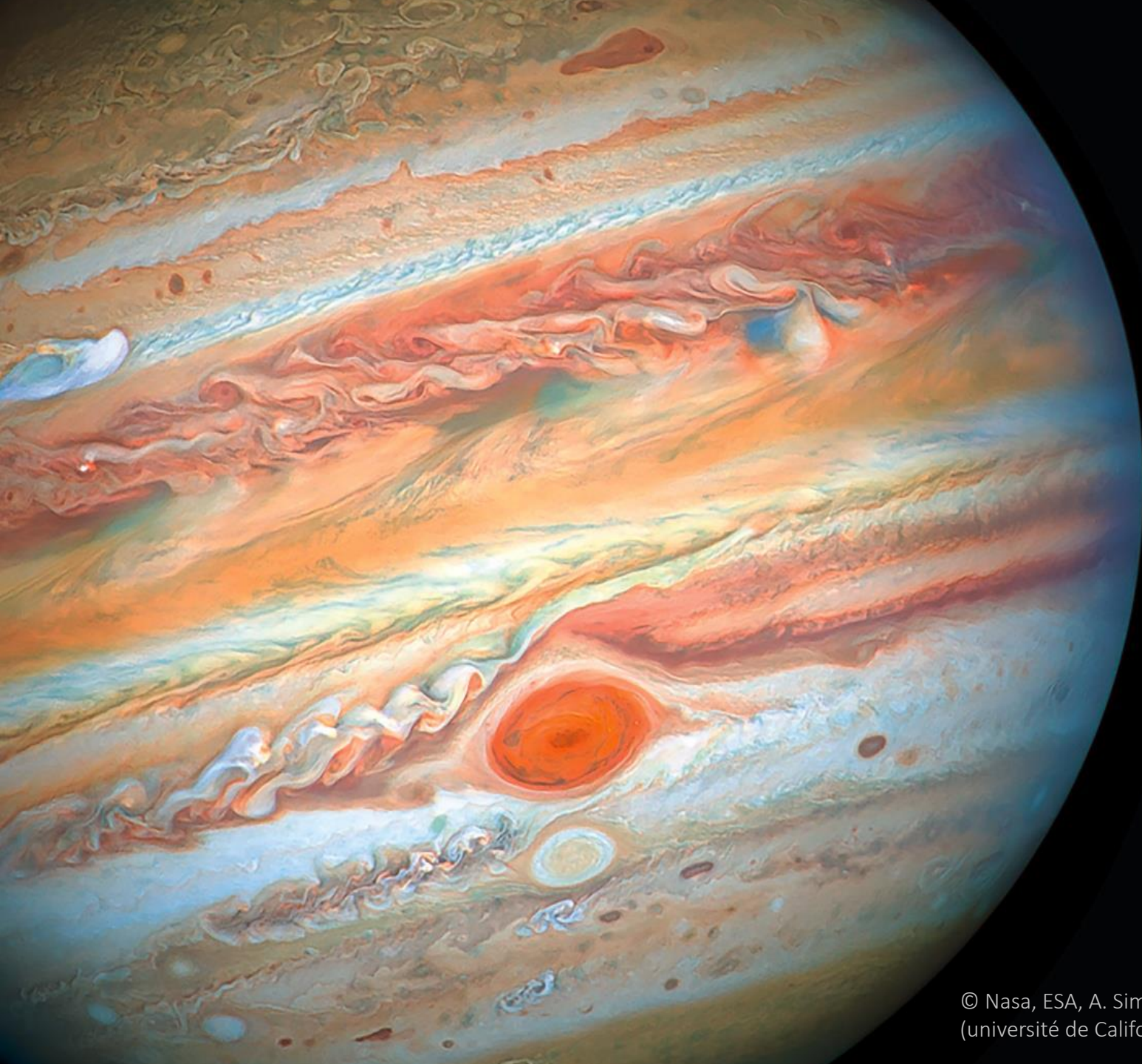
Université de St-Andrews
(Ecosse)



University of
St Andrews | FOUNDED
1413 |

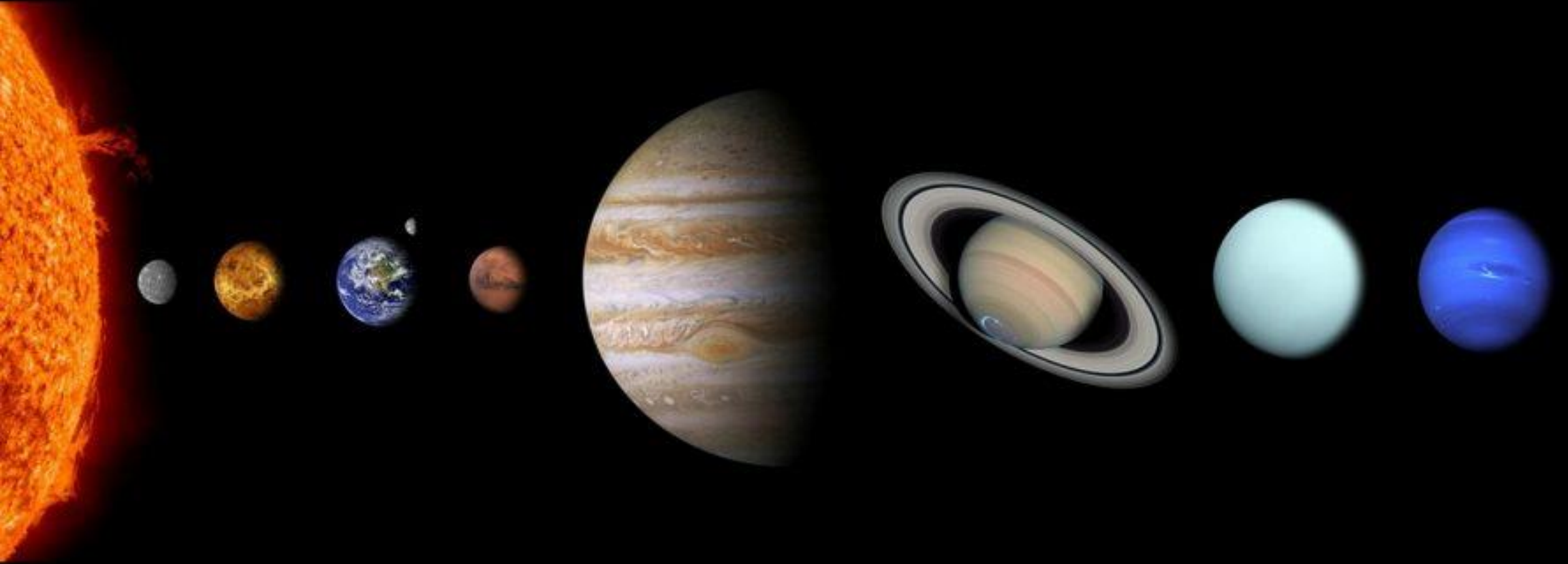
Parcours





II. Quelques mots sur Jupiter, ma recherche et la notion d'expérience analogue

Jupiter dans le système solaire



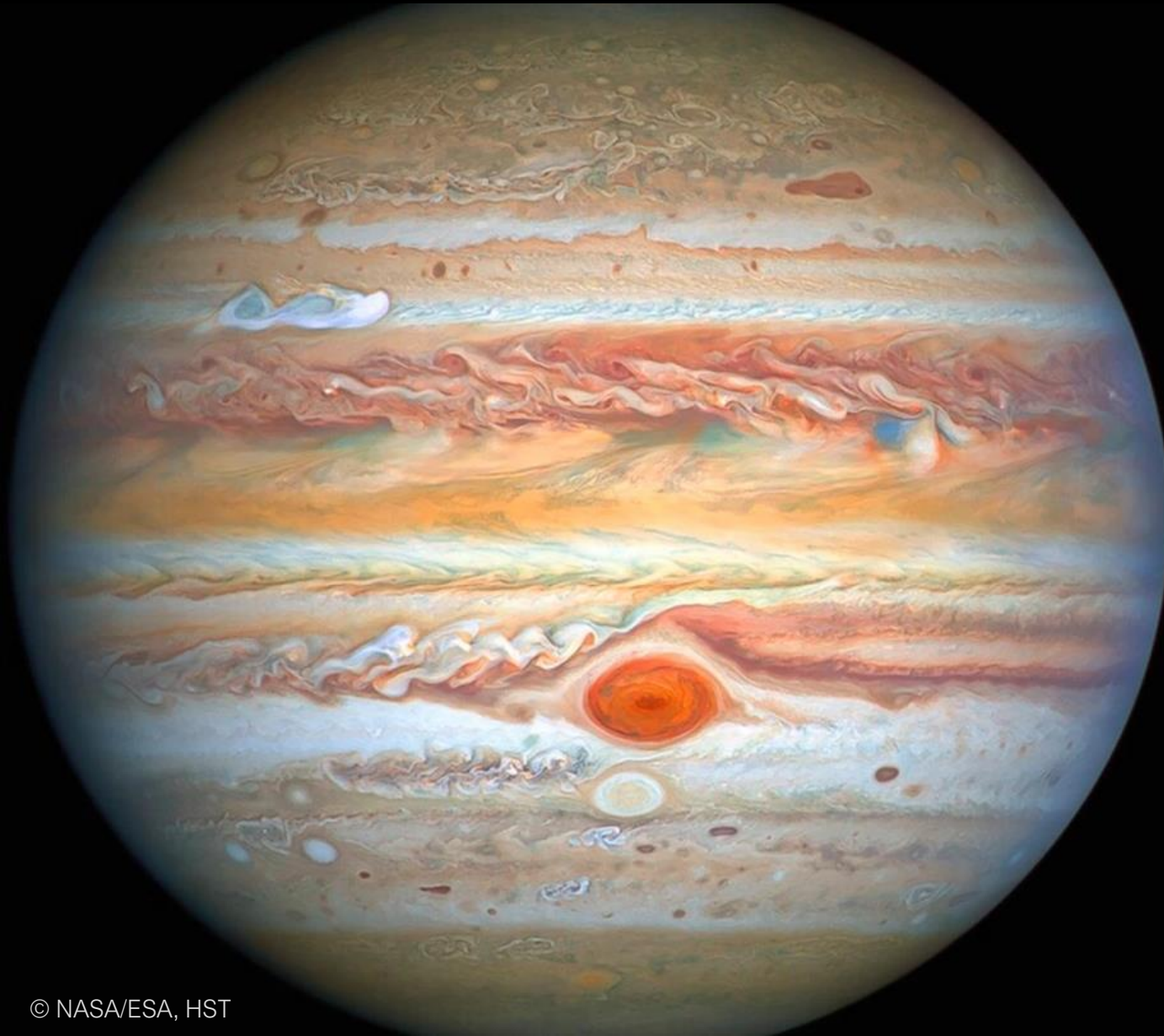
Jupiter dans le système solaire

[Vidéo tailles et distances dans la Système Solaire :](https://youtu.be/DMZ5WFRbSTc)
<https://youtu.be/DMZ5WFRbSTc>

Solar System Size & Distance



Vision « statique » de Jupiter: une planète fluide



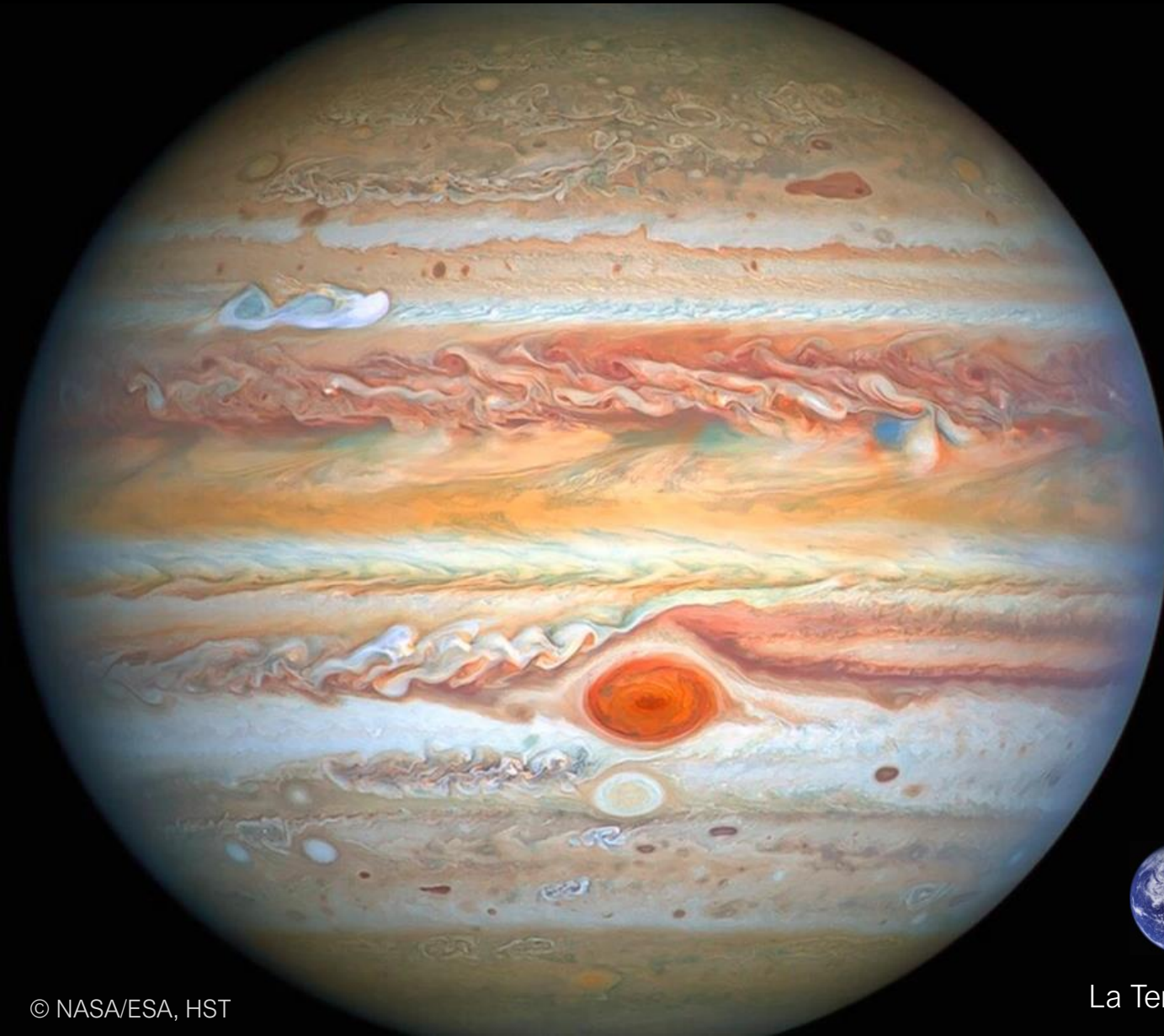
Plus grande planète du système solaire – masse supérieure à **deux fois la masse de toutes les autres planètes réunies!**

Quelques chiffres:

- ✓ Masse
- ✓ Rayon
- ✓ Jour
- ✓ Année

Comparé à la Terre:

Vision « statique » de Jupiter: une planète fluide



Plus grande planète du système solaire – masse supérieure à **deux fois la masse de toutes les autres planètes réunies!**

Quelques chiffres:

- ✓ Masse $\sim 1.9 \times 10^{27}$ kg
- ✓ Rayon $\sim 70,000$ km
- ✓ Jour ~ 9.93 hours
- ✓ Année ~ 4333 days

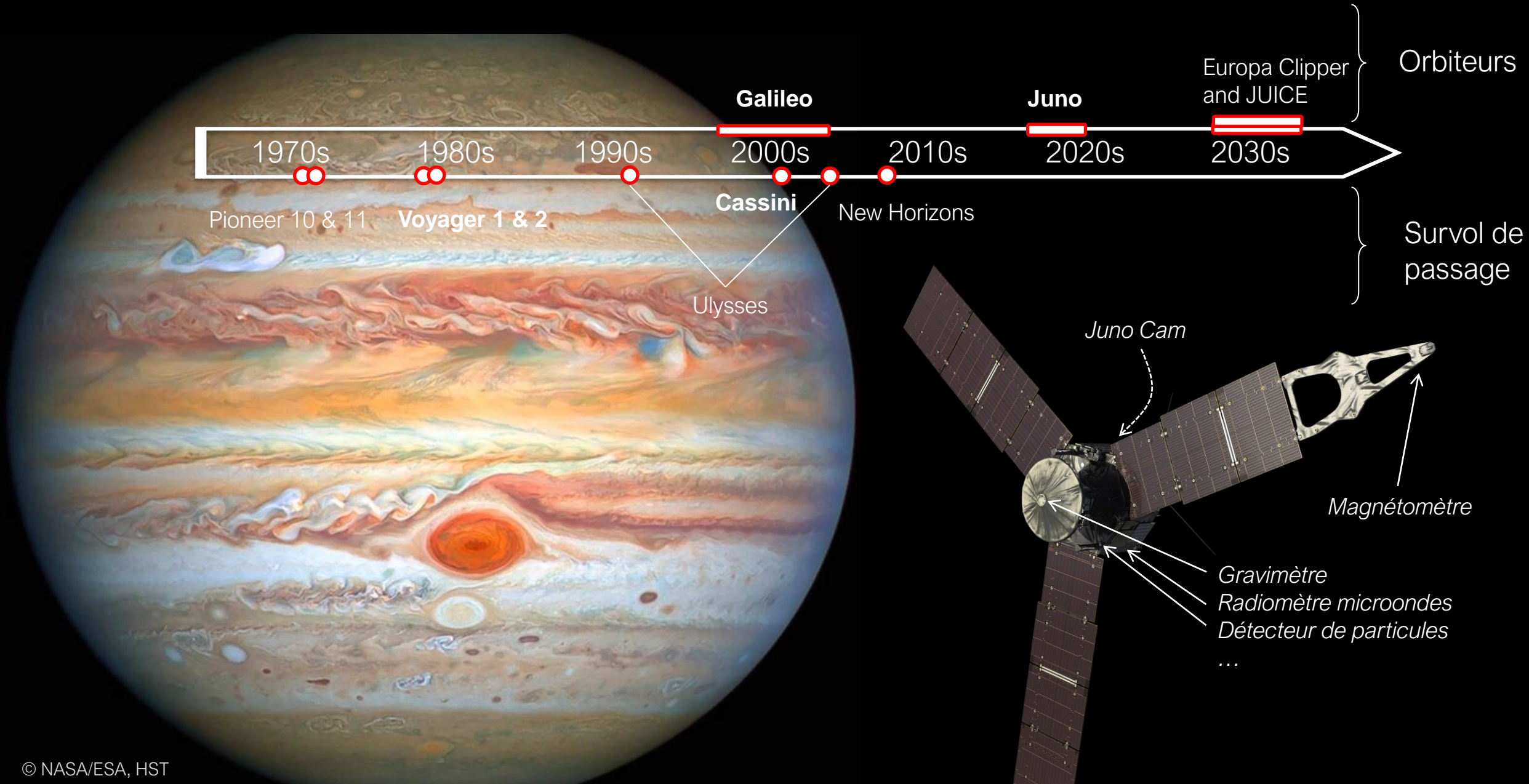
Comparé à la Terre:

- $\times 318$
- $\times 11$
- $\times 0.4$
- $\times 12$

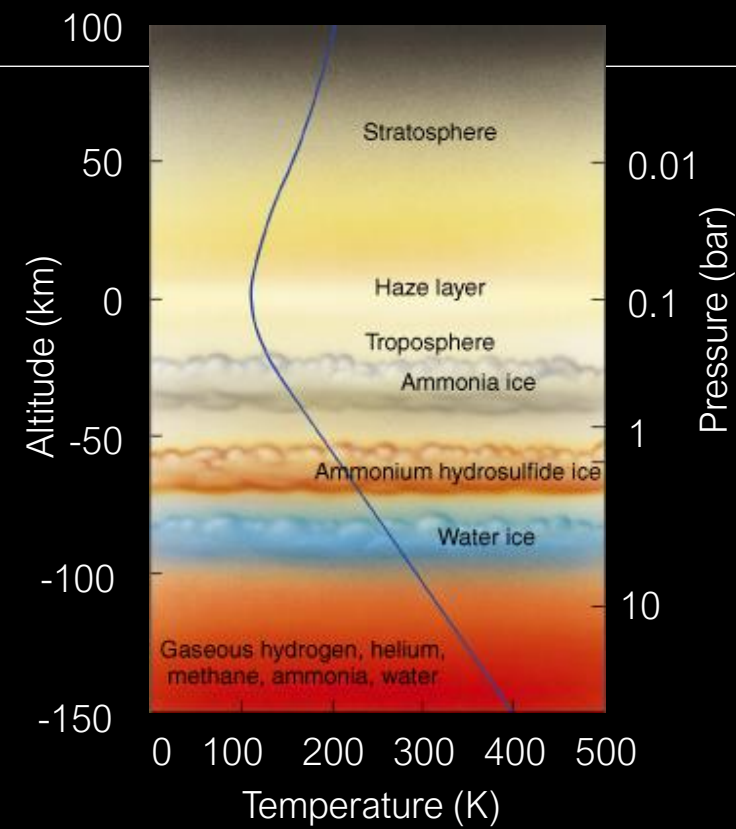
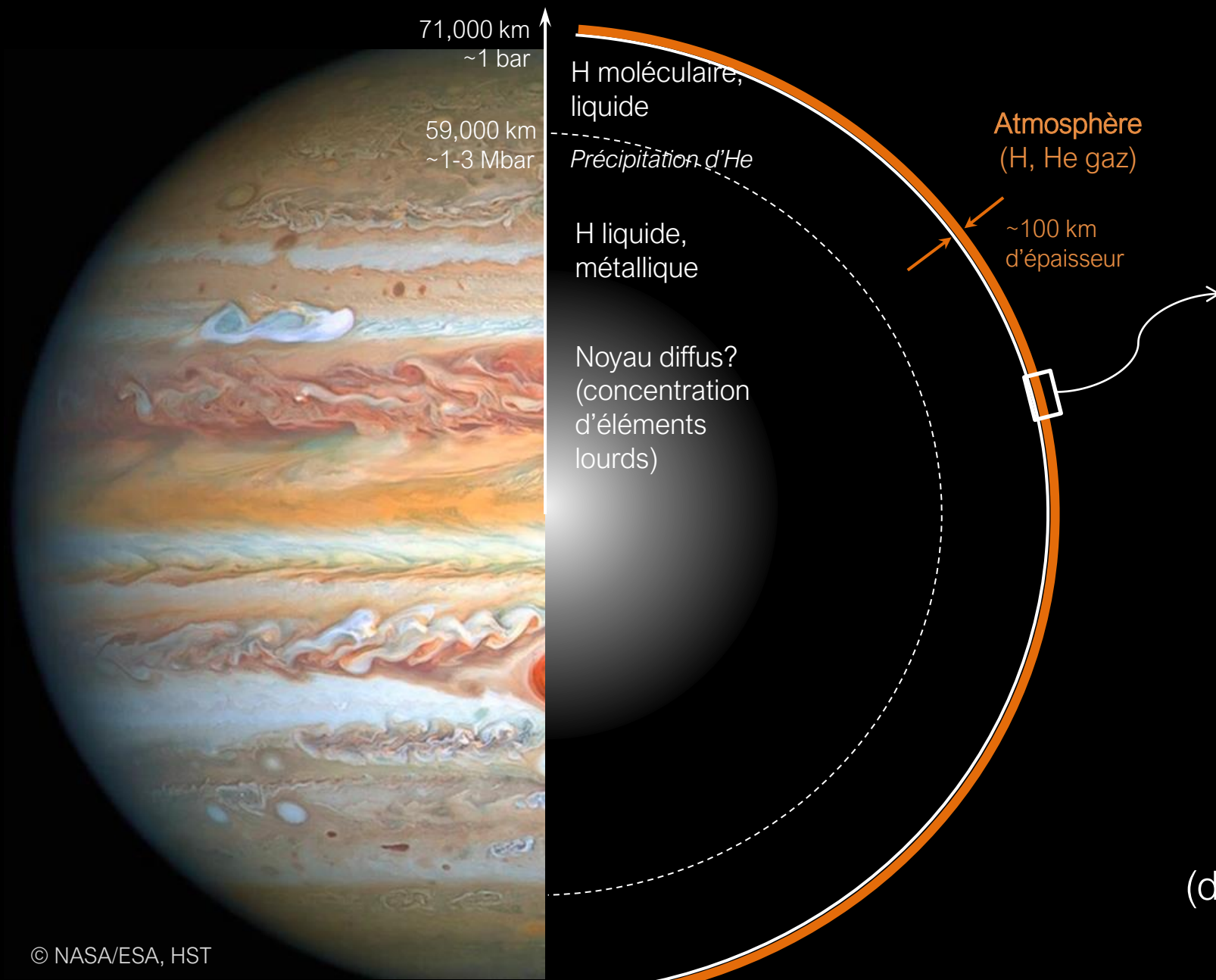


La Terre fait l'échelle!

Vision « statique » de Jupiter: une planète fluide



Vision « statique » de Jupiter: une planète fluide

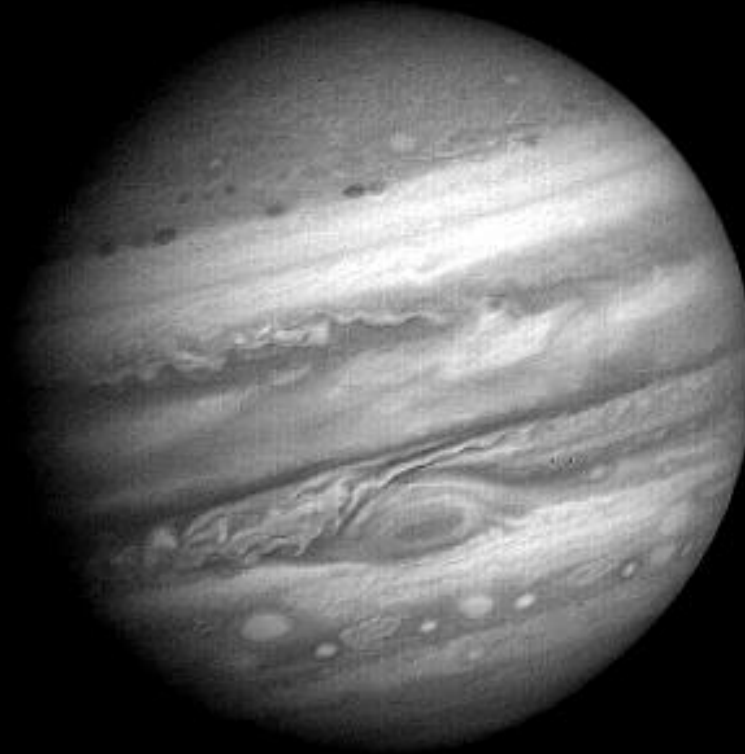


➔ Le plus grand océan (d'hydrogène) du système solaire!

Vision dynamique de Jupiter

Séquence d'images prises par **Voyager 1 en 1979!**

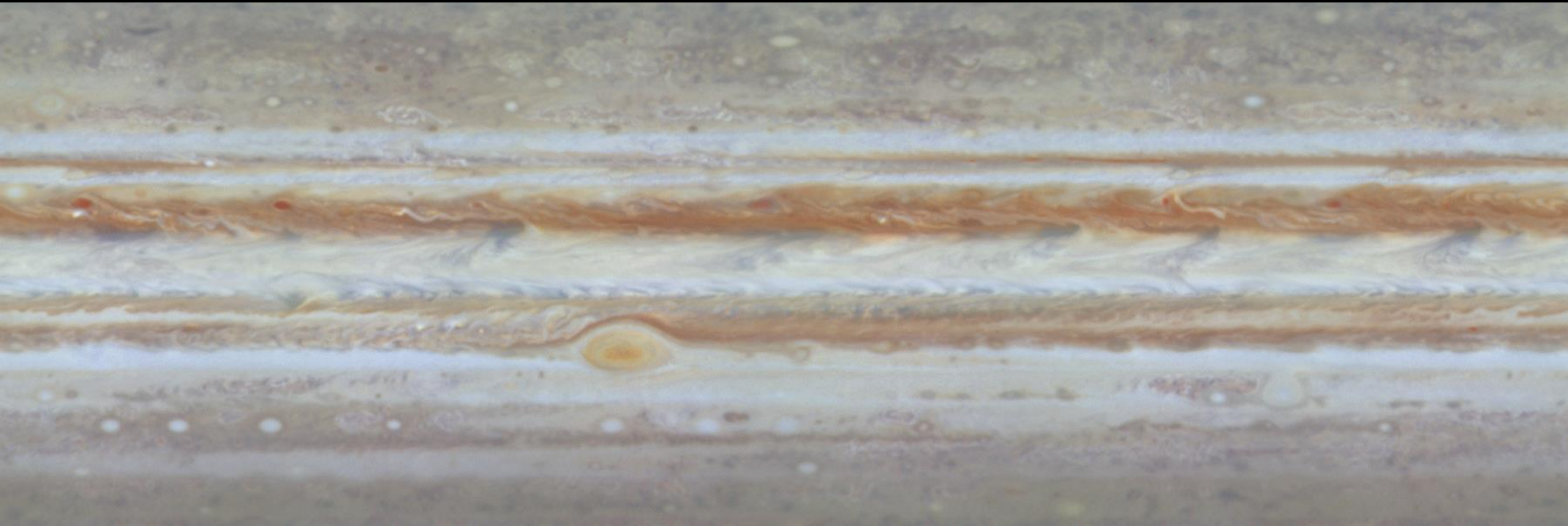
- Une image toutes les 10 heures (jour Jovien)
- 6 Janvier 1979 au 3 Février 1979
- Sonde à une distance de 58 à 31 millions de kilomètres de Jupiter



[Animation : https://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA02855](https://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA02855)

Vision dynamique de Jupiter

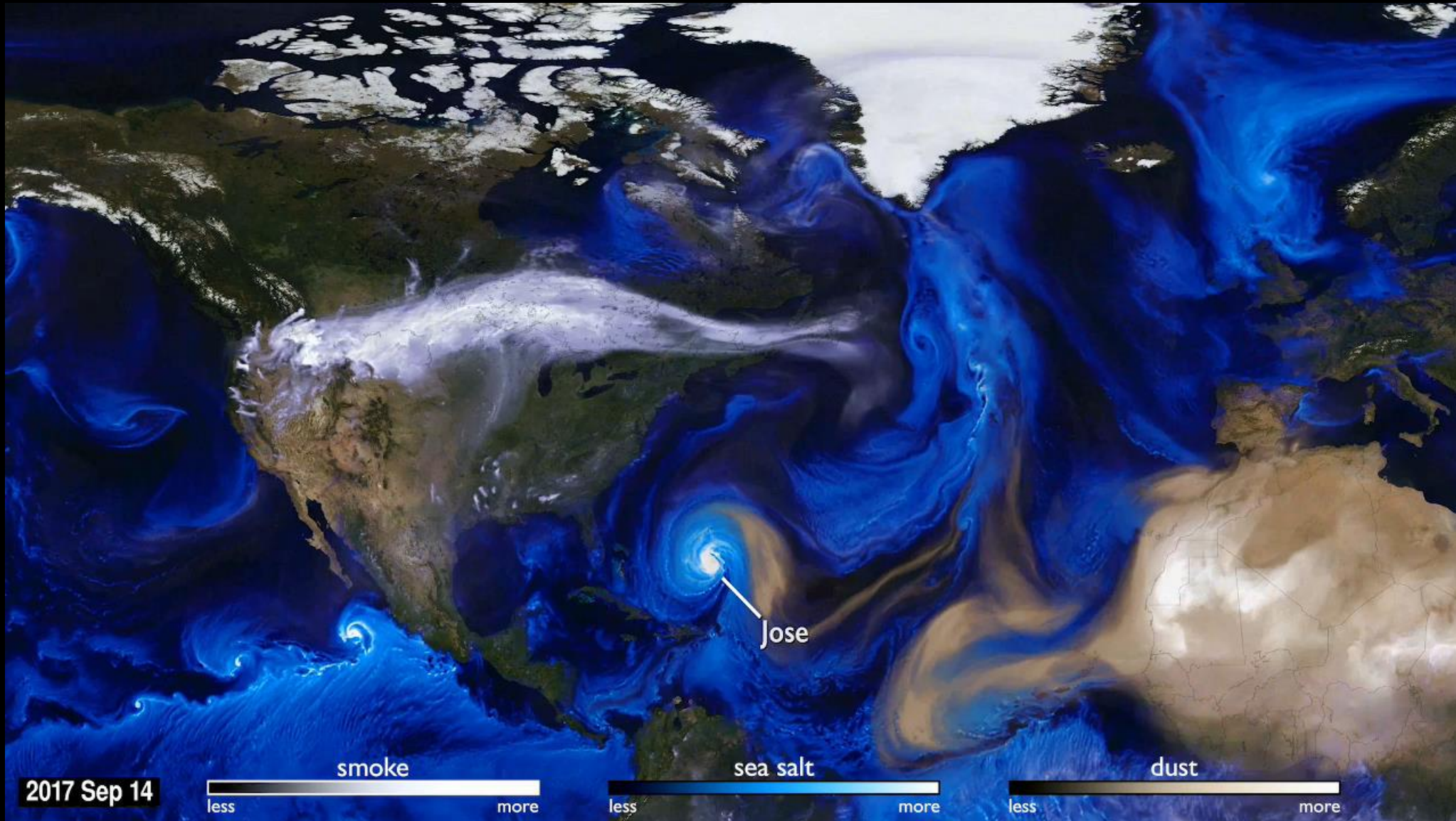
Animation : <https://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA02863>



NASA, combinaison d'images prises par Cassini, montrant 24 jours Joviens entre le 31 Octobre et le 9 Novembre 2000

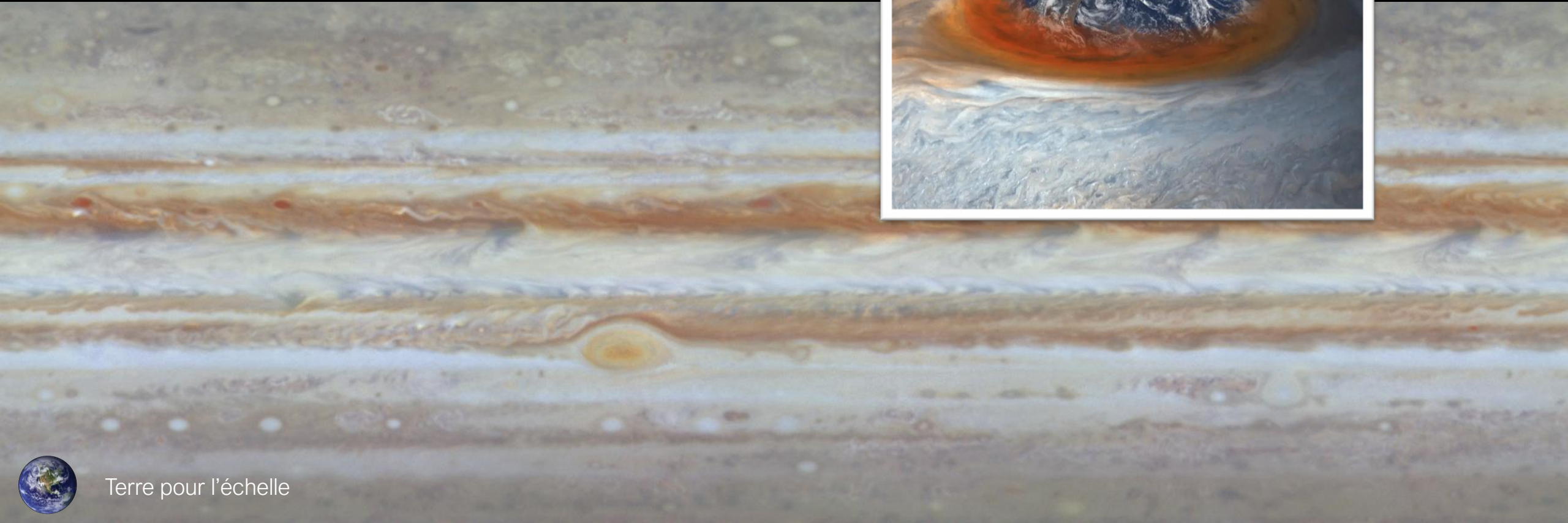
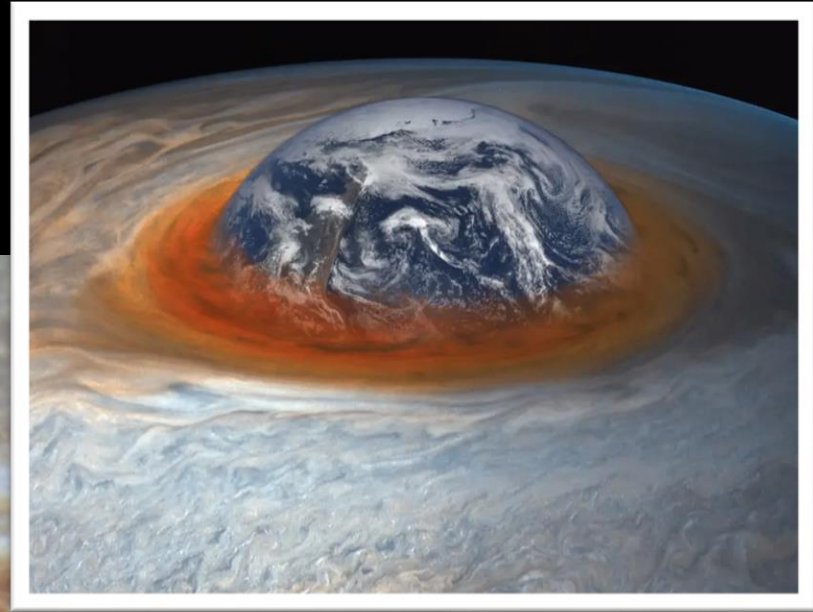
Quelles différences avec la Terre ?

Vidéo : <https://youtu.be/h1eRp0EGOmE>



© NASA,
Goddard Media
Studio

Vision dynamique de Jupiter



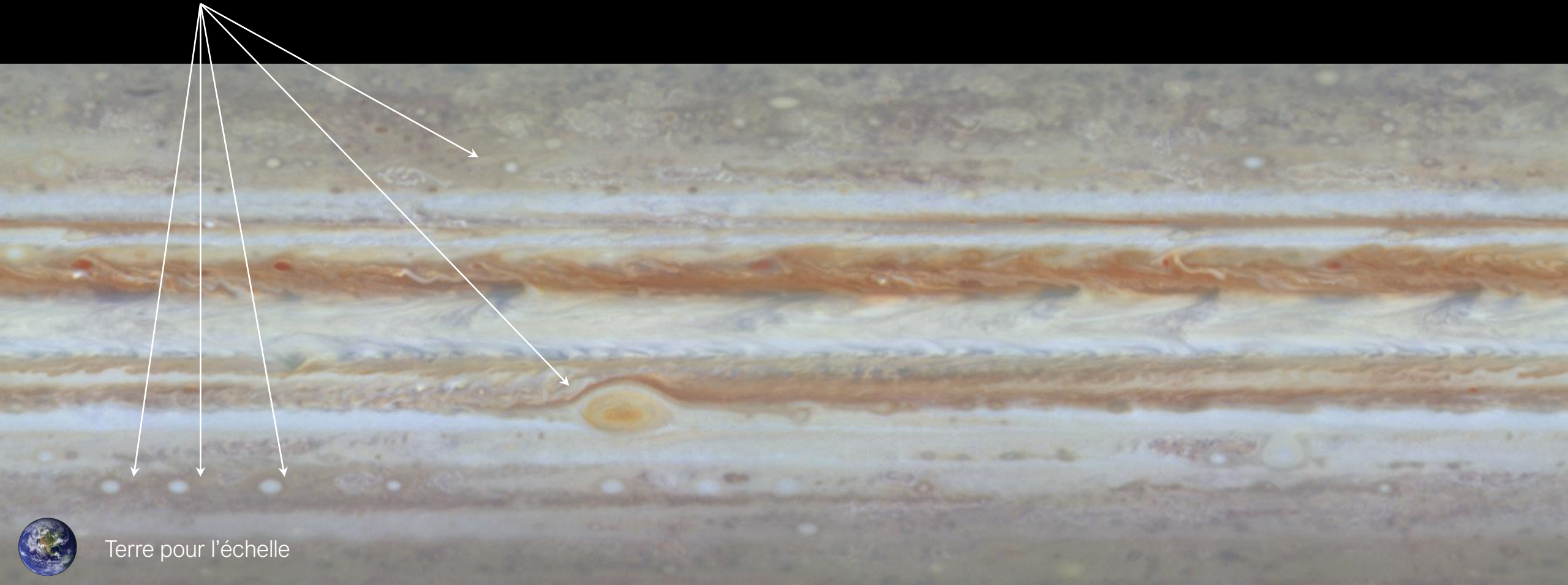
Terre pour l'échelle

NASA, combinaison d'images prises par Cassini, montrant 24 jours Joviens entre le 31 Octobre et le 9 Novembre 2000

Vision dynamique de Jupiter

Aux moyennes latitudes:

- Énormes tourbillons, aussi appelés « vortex » (Grande Tache rouge...)



Terre pour l'échelle

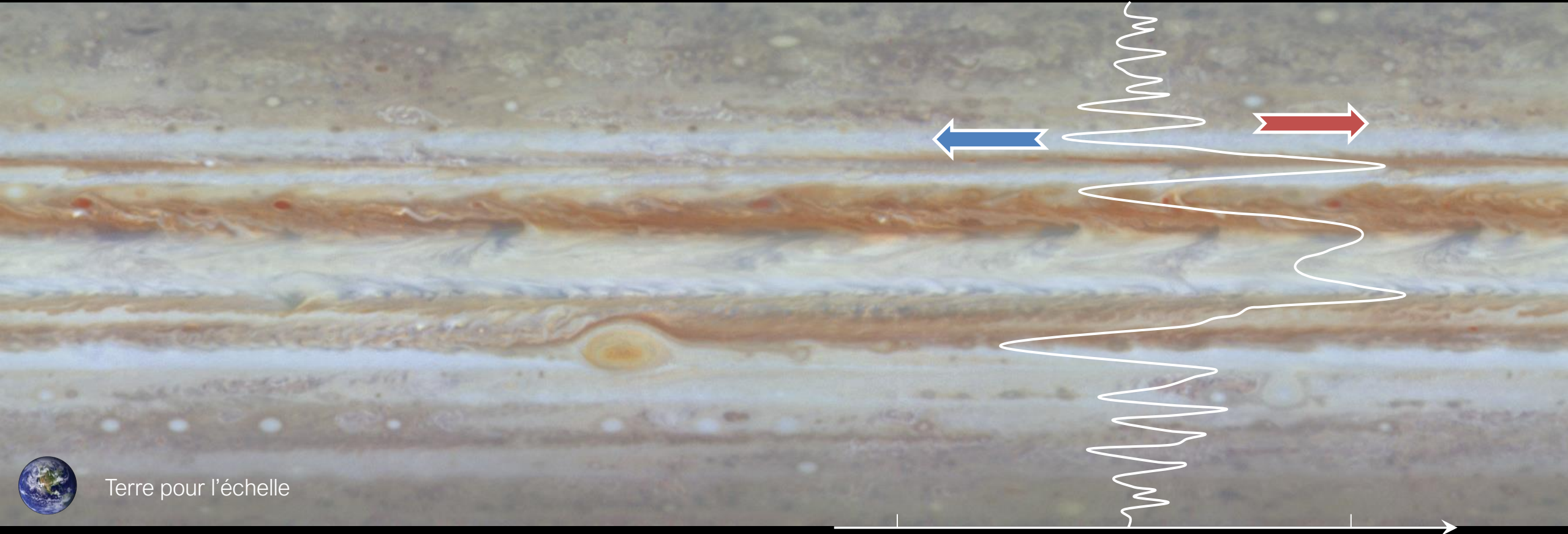
NASA, combinaison d'images prises par Cassini, montrant 24 jours Joviens entre le 31 Octobre et le 9 Novembre 2000

Vision dynamique de Jupiter

Aux moyennes latitudes:

- Énormes tourbillons, aussi appelés « vortex » (Grande Tache rouge...)
- Bandes, « vents zonaux » ou « jets zonaux »

Vers l'Ouest (retrograde) $\langle v_\phi \rangle_\phi(\theta)$ Vers l'Est (prograde)



Terre pour l'échelle

NASA, combinaison d'images prises par Cassini, montrant 24 jours Joviens entre le 31 Octobre et le 9 Novembre 2000

-100 m/s

0

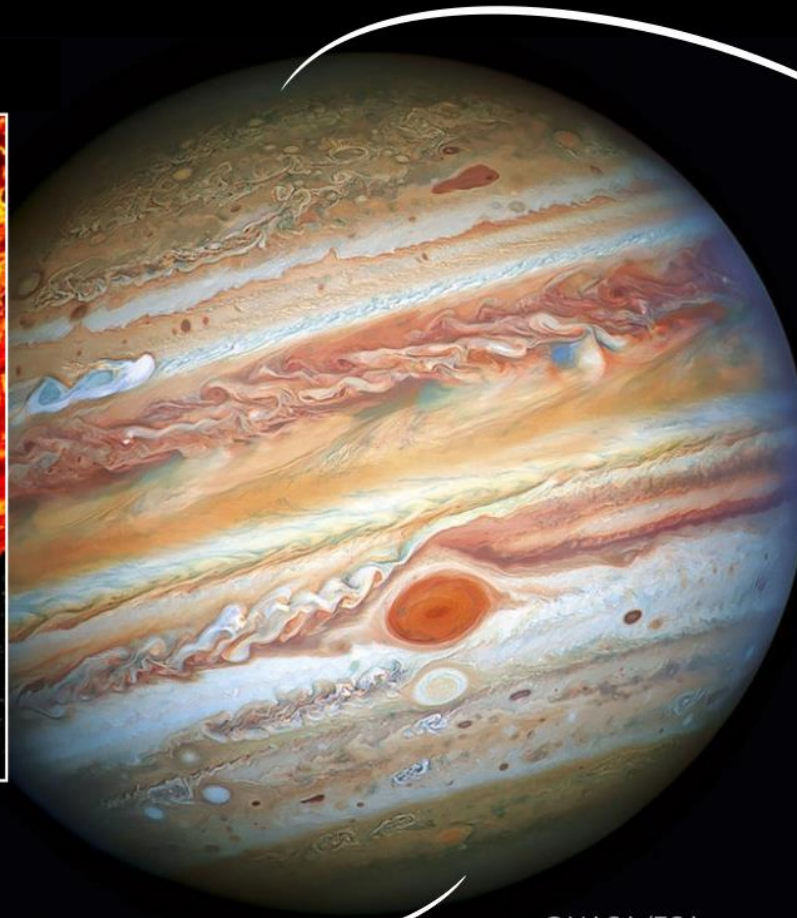
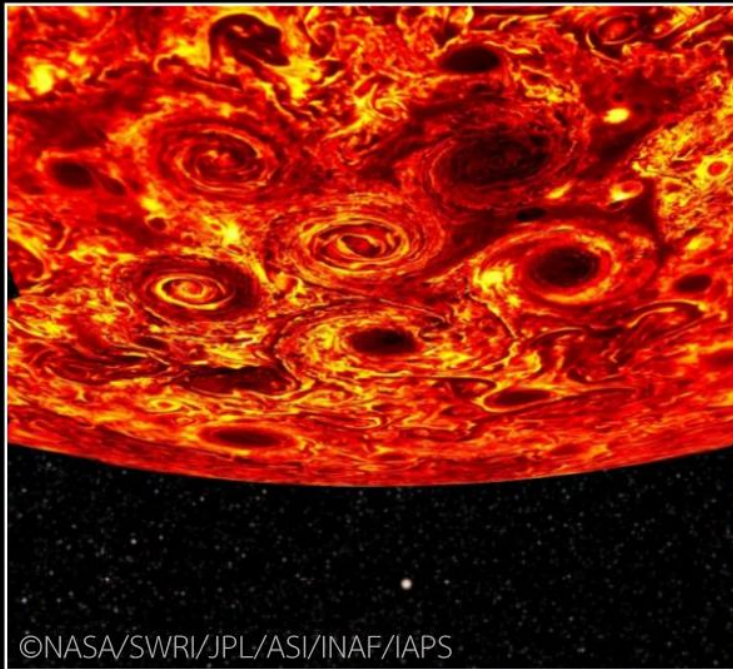
100 m/s

Vision dynamique de Jupiter

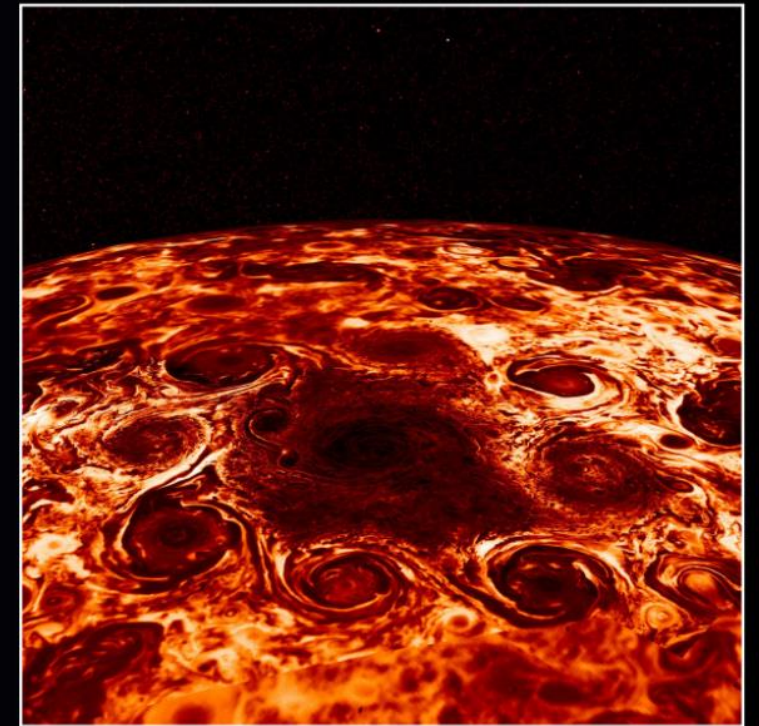
Dynamique aux hautes latitudes (révélée par **Juno**)

- Plus de bandes (plus de vents est-ouest)
- Cyclones organisés en polygones autour des pôles!

Pentagon of cyclones (South Pole)



©NASA/JPL-Caltech/SwRI/ASI/INAF/JIRAM



Octagon of cyclones (North Pole)

Questions et challenges

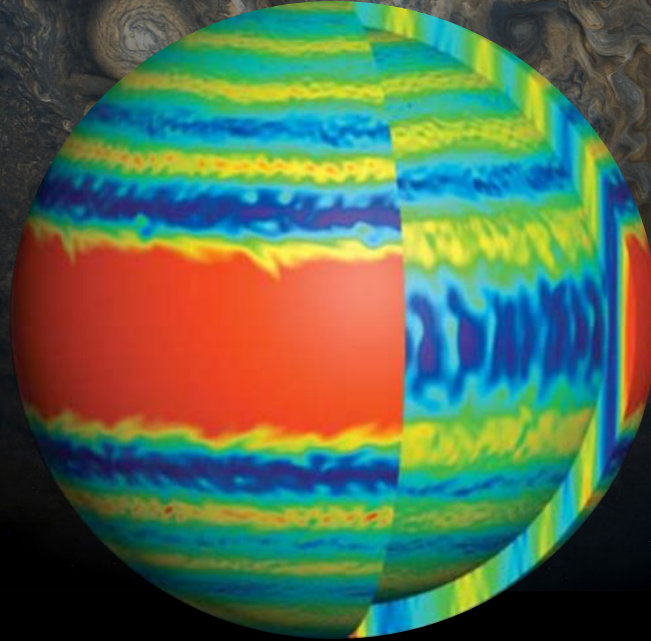
Approches complémentaires:

Observations et mesures directes, puis problèmes inverses



© NASA

Modélisation à échelle globale (couteux !)



[Heimpel, 2005]

Modèles idéalisés (expérimentaux, numériques ou théoriques)



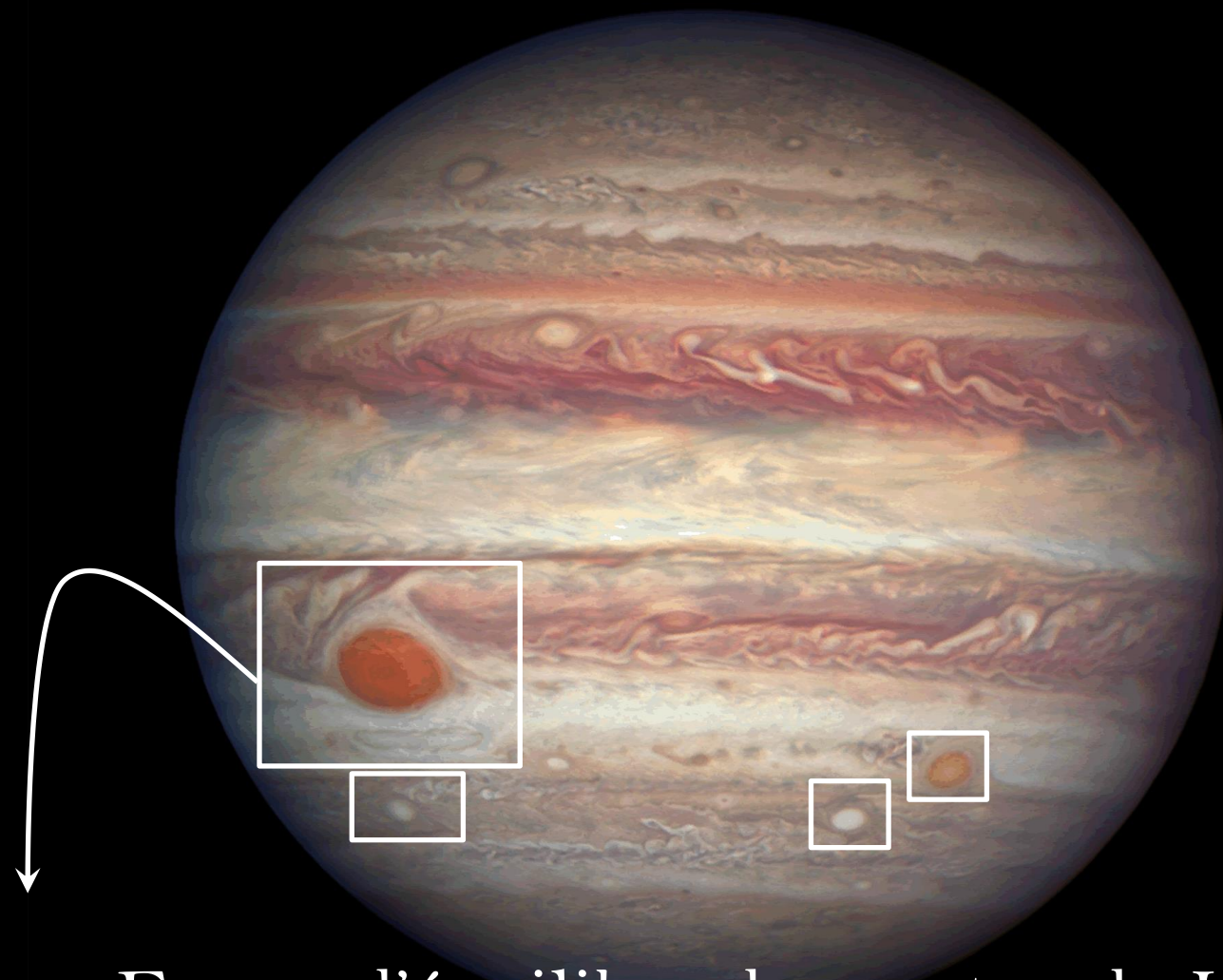
Notion d'expérience analogue / modélisation expérimentale d'un phénomène naturel

Étapes fondamentales :

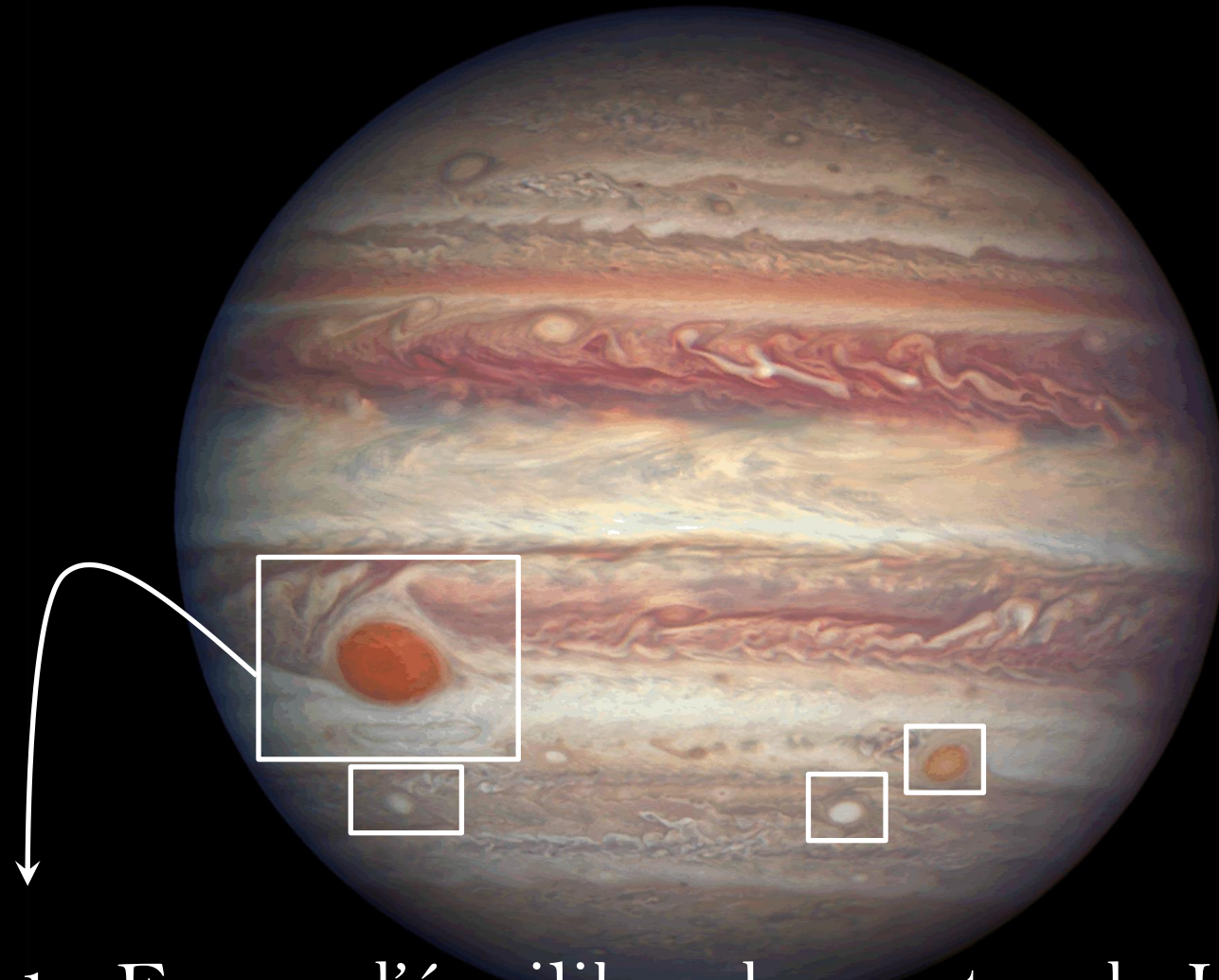
1. Identifier les **ingrédients** physiques importants / simplifier le système
2. Identifier le « **régime** »: comment les effets physiques se comparent les uns aux autres
3. Monter une **expérience** avec les bons ingrédients, dans le bon régime
4. Réfléchir sur l'**extrapolation** des résultats au phénomène réel
(principe de similitude, domaine de validité, limites)

Deux exemples :

1. Les tourbillons de Jupiter (Grande Tache rouge)
2. Les jets zonaux (bandes) de Jupiter



1. Forme d'équilibre des vortex de Jupiter



1. Forme d'équilibre des vortex de Jupiter
→ Quels ingrédients ?

1. Rotation

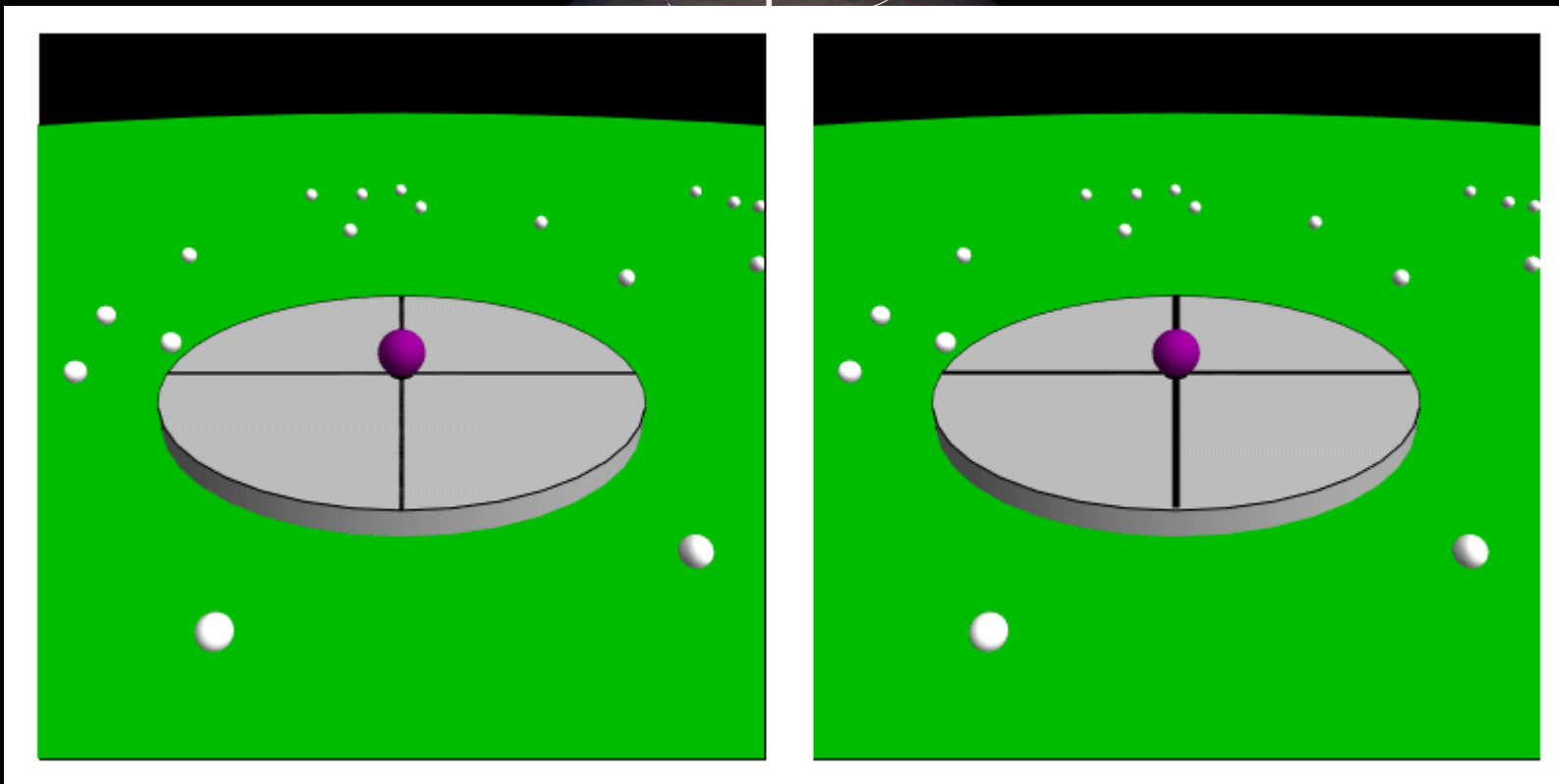


1. Rotation

Force de Coriolis



© Jacopo Bertolotti, Wikimedia



Référentiel du laboratoire

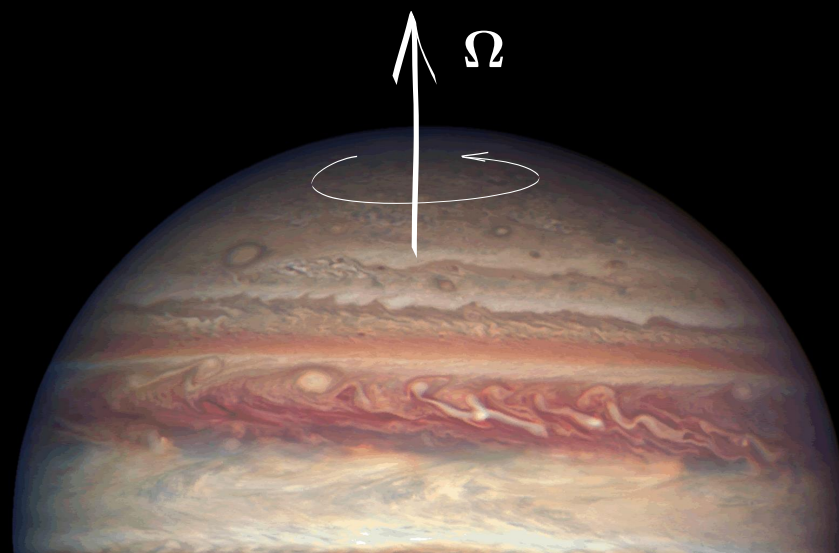
Référentiel tournant



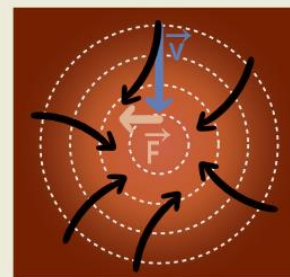
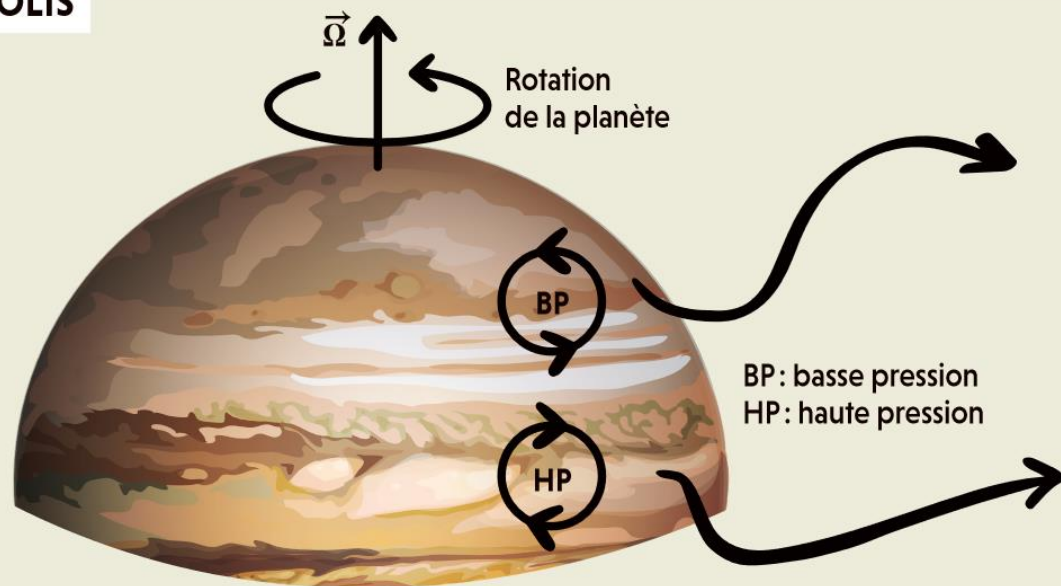
LE MAG
DE LA SCIENCE

[Vidéo démonstration effet Coriolis : https://youtu.be/tKbq8c4yQwk](https://youtu.be/tKbq8c4yQwk)

1. Rotation

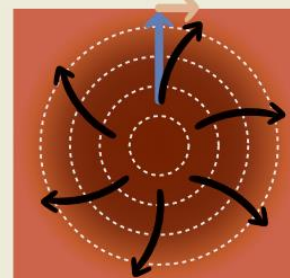


CORIOLIS



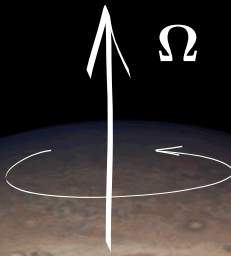
DÉPRESSION =
CYCLONE

\vec{v} : vitesse
 \vec{F} : force de Coriolis

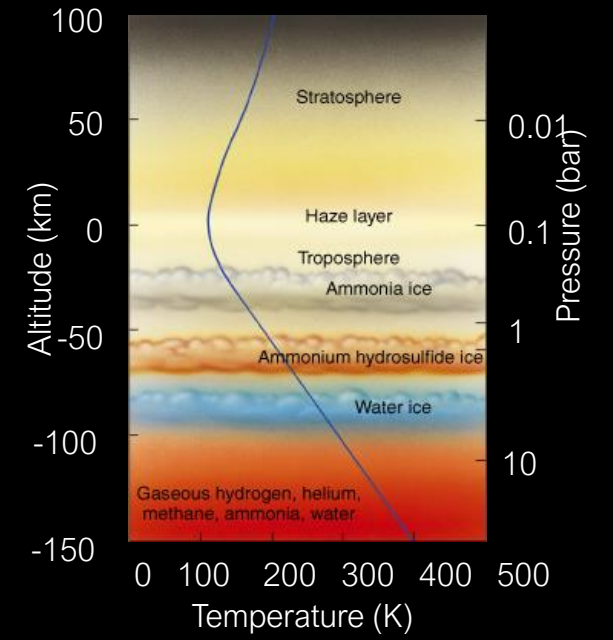


SURPRESSION =
ANTICYCLONE

1. Rotation



2. Stratification



Manips

Expérience #1 : EAU DOUCE, SANS ROTATION

- Que se passe-t-il après l'injection de colorant ?

Expérience #2 : EAU DOUCE, AVEC ROTATION

- Peut-on faire l'expérience tout de suite après avoir posé la cuve sur le tourne-disque ?
- Que se passe-t-il après l'injection de colorant ?

Expérience #3 : EAU SALEE EN BAS, EAU DOUCE EN HAUT, SANS ROTATION

- L'eau salée est-elle plus lourde ou plus légère que l'eau douce ?
- Qu'est-ce qu'un stratification ?
- Le colorant a une densité intermédiaire entre l'eau douce et l'eau salée. Que se passe-t-il après l'injection du colorant ?

Expérience #4 : EAU SALEE EN BAS, EAU DOUCE EN HAUT, AVEC ROTATION

- Bilan des expériences précédentes: Quel est l'effet de la rotation? Quel est l'effet de la stratification ?
- Que va-t-il se passer si les deux effets sont présents à la fois ?

1. Rotation



ROTATION SEULE

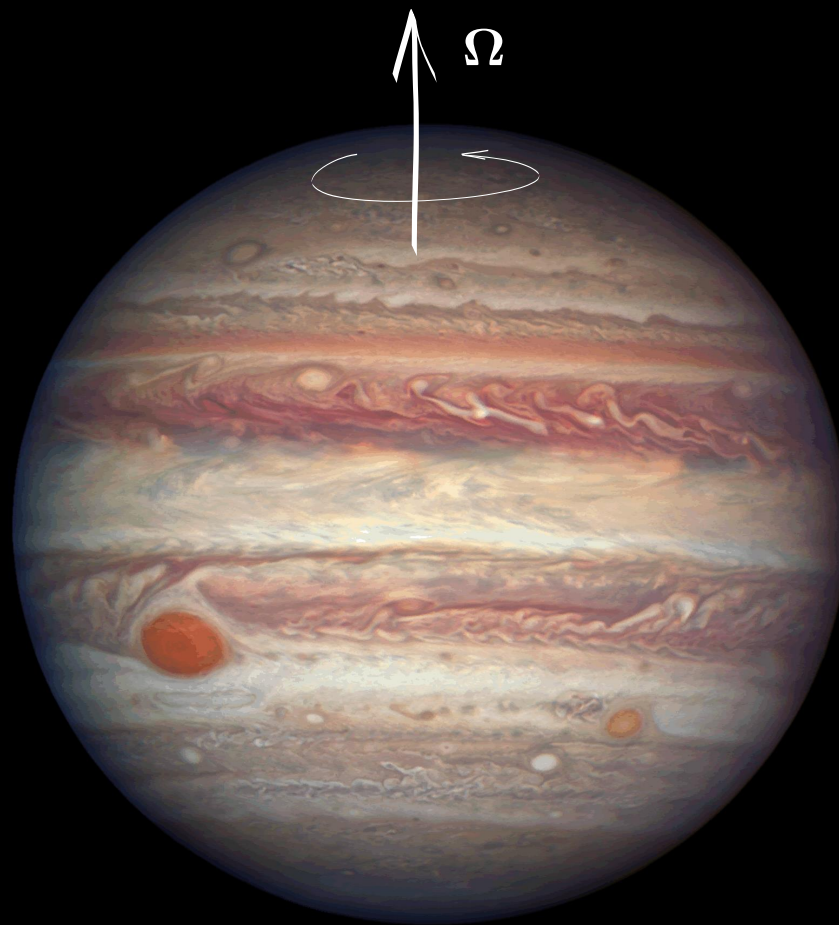
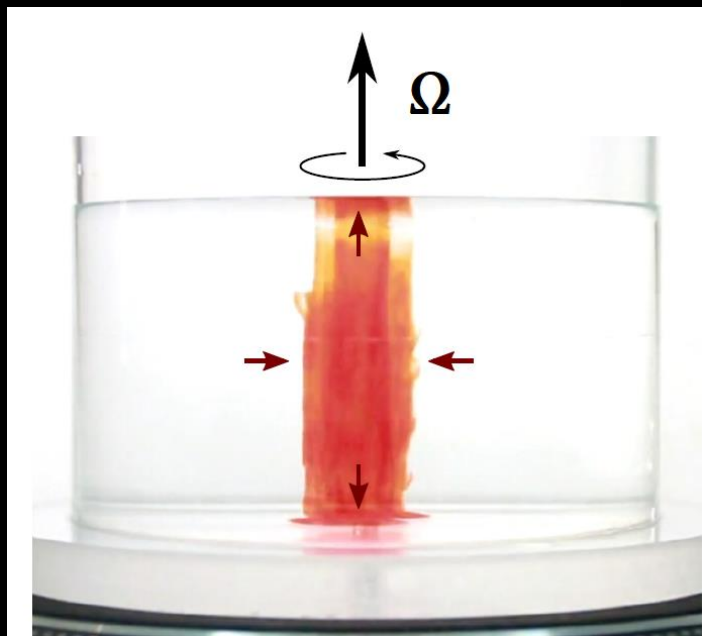
Le fluide se comporte en colonnes rigides alignées avec de l'axe de rotation



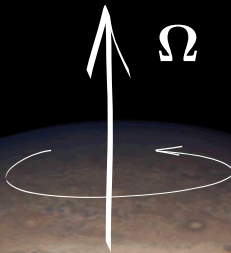
1. Rotation

ROTATION SEULE

Le fluide se comporte en colonnes rigides alignées avec de l'axe de rotation



1. Rotation

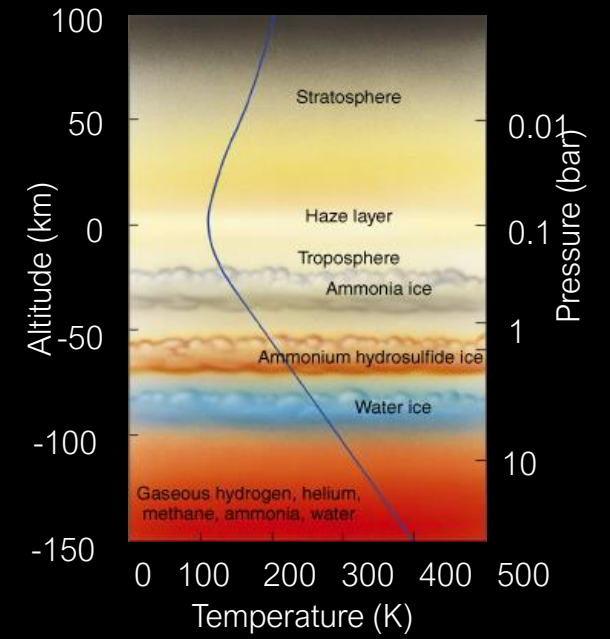
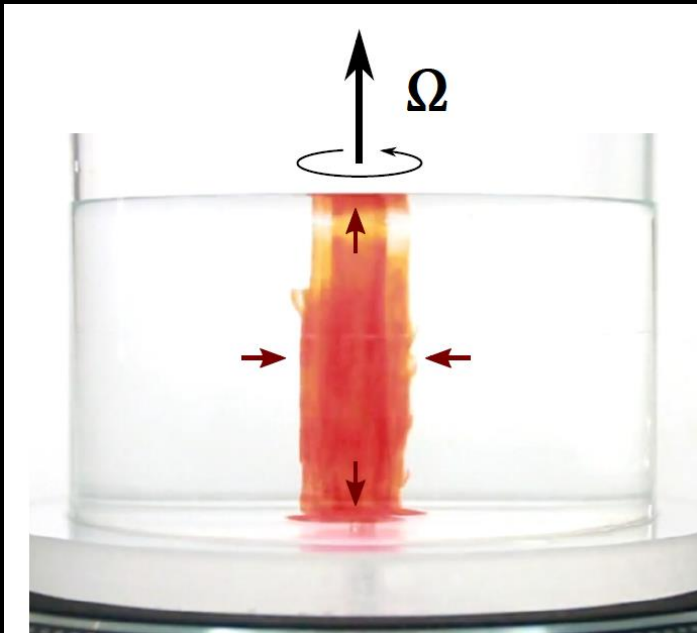


2. Stratification



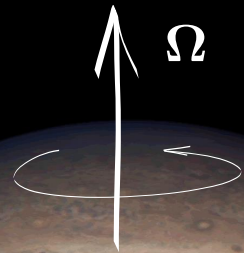
ROTATION SEULE

Le fluide se comporte en colonnes rigides alignées avec de l'axe de rotation



1. Rotation

2. Stratification

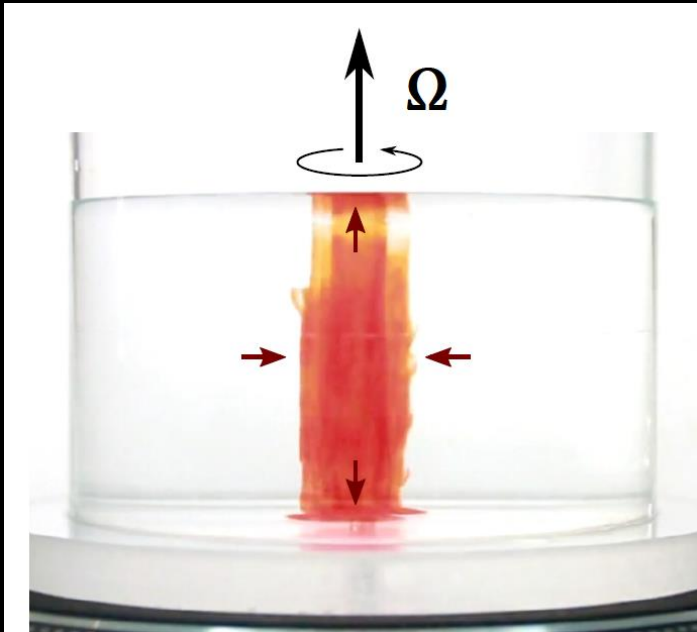


ROTATION SEULE

Le fluide se comporte en colonnes rigides alignées avec de l'axe de rotation

STRATIFICATION SEULE

Le fluide s'étale le long des couches de même densité (horizontales)

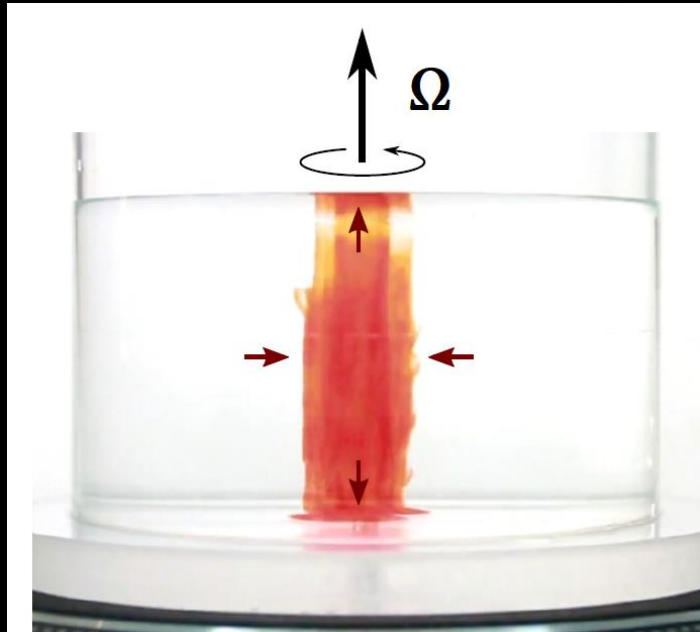


1. Rotation

2. Stratification

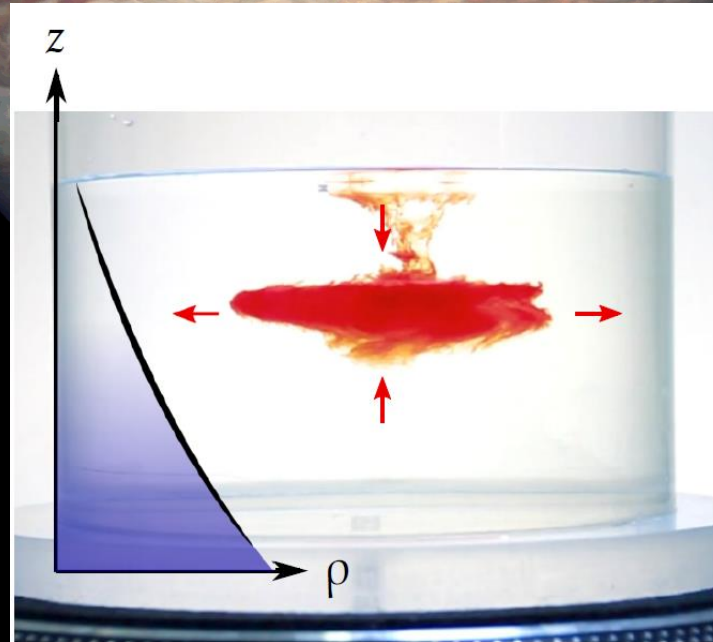
ROTATION SEULE

Le fluide se comporte en colonnes rigides alignées avec de l'axe de rotation



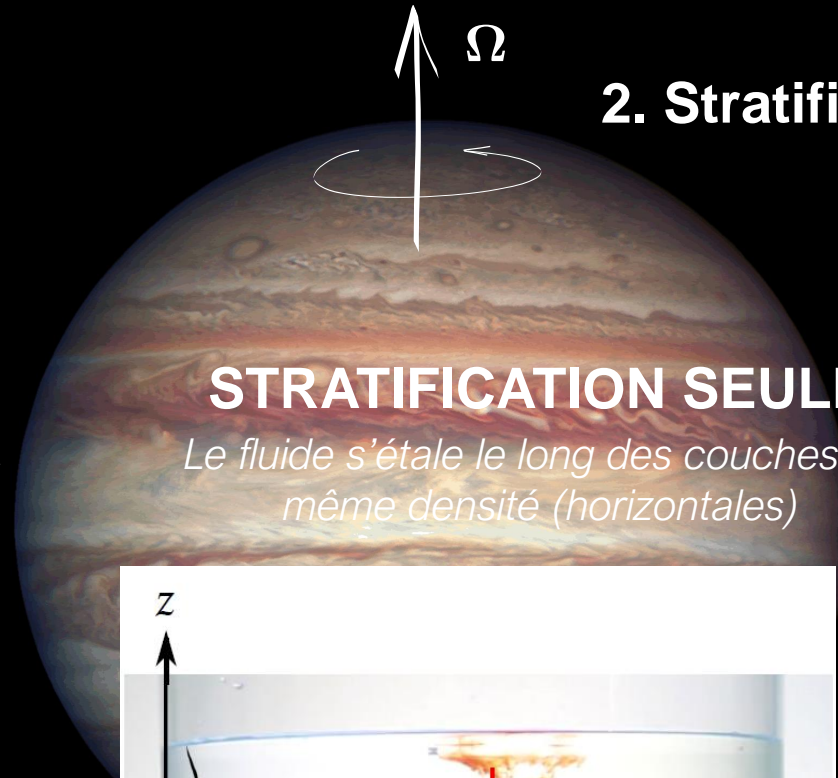
STRATIFICATION SEULE

Le fluide s'étale le long des couches de même densité (horizontales)



ROTATION + STRATIFICATION

Compétition entre les deux effets !

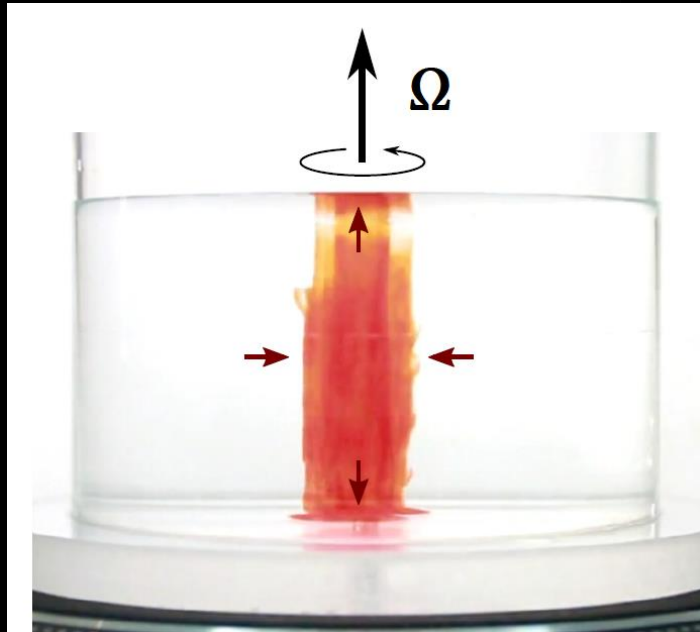


1. Rotation

2. Stratification

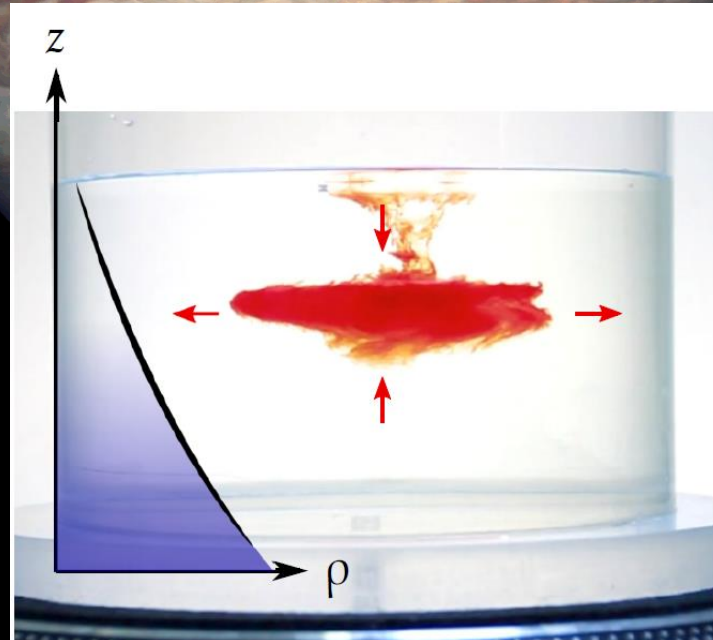
ROTATION SEULE

Le fluide se comporte en colonnes rigides alignées avec de l'axe de rotation



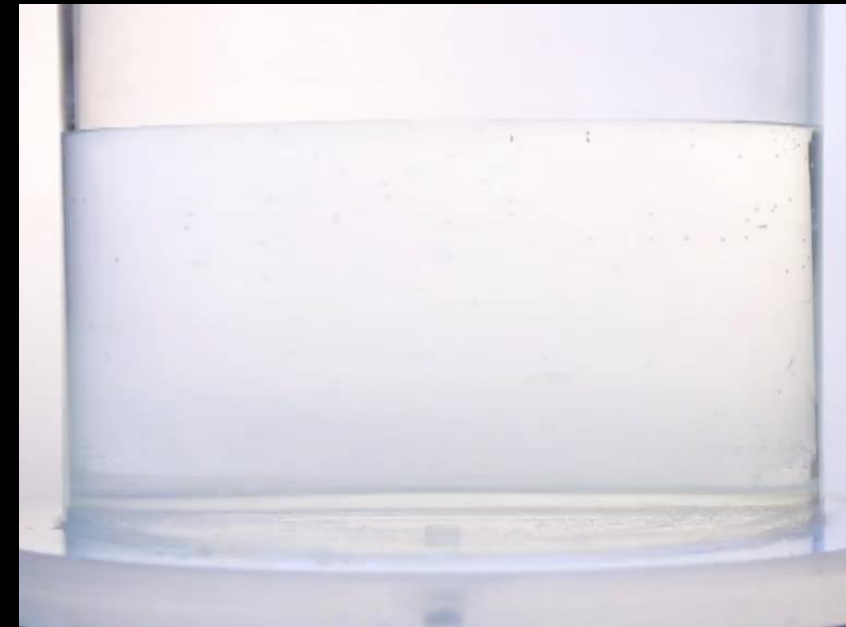
STRATIFICATION SEULE

Le fluide s'étale le long des couches de même densité (horizontales)



ROTATION + STRATIFICATION

Compétition entre les deux effets !

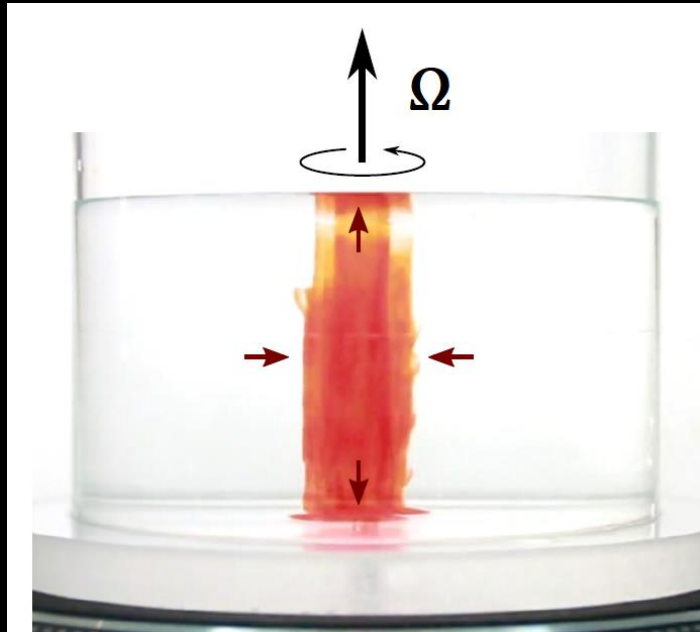


1. Rotation

2. Stratification

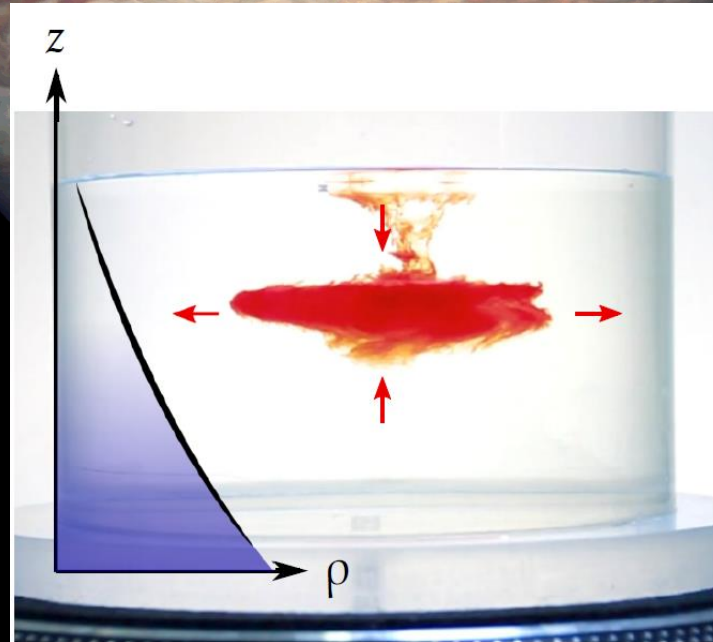
ROTATION SEULE

Le fluide se comporte en colonnes rigides alignées avec de l'axe de rotation



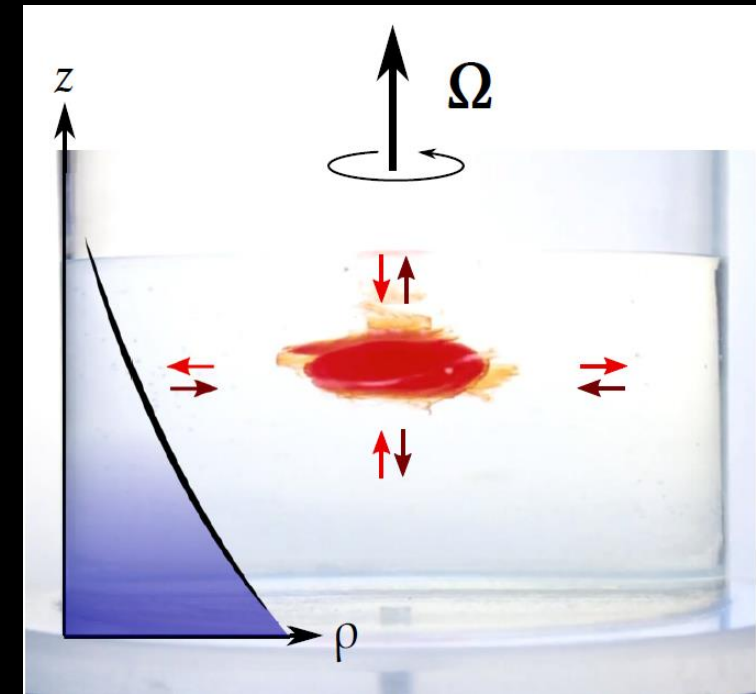
STRATIFICATION SEULE

Le fluide s'étale le long des couches de même densité (horizontales)



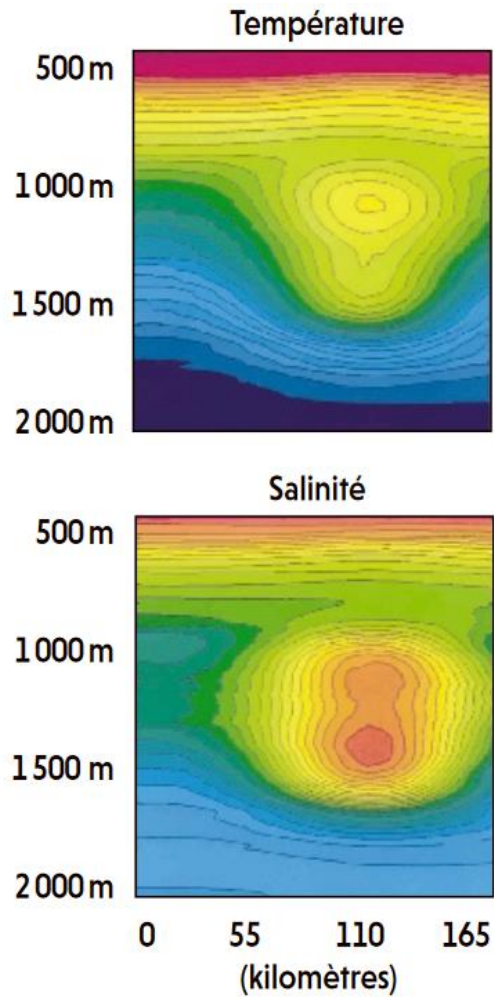
ROTATION + STRATIFICATION

Compétition entre les deux effets !

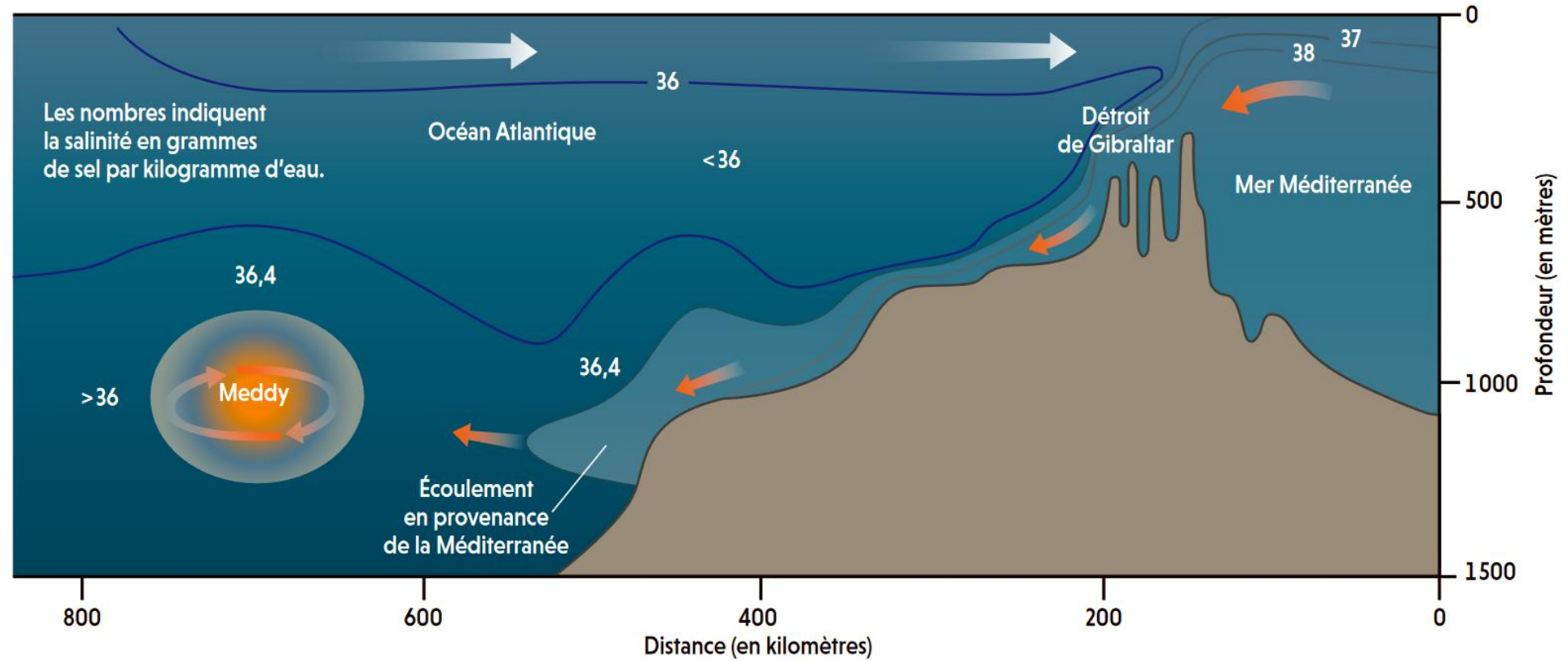


Analogie avec les meddies dans les océans terrestres

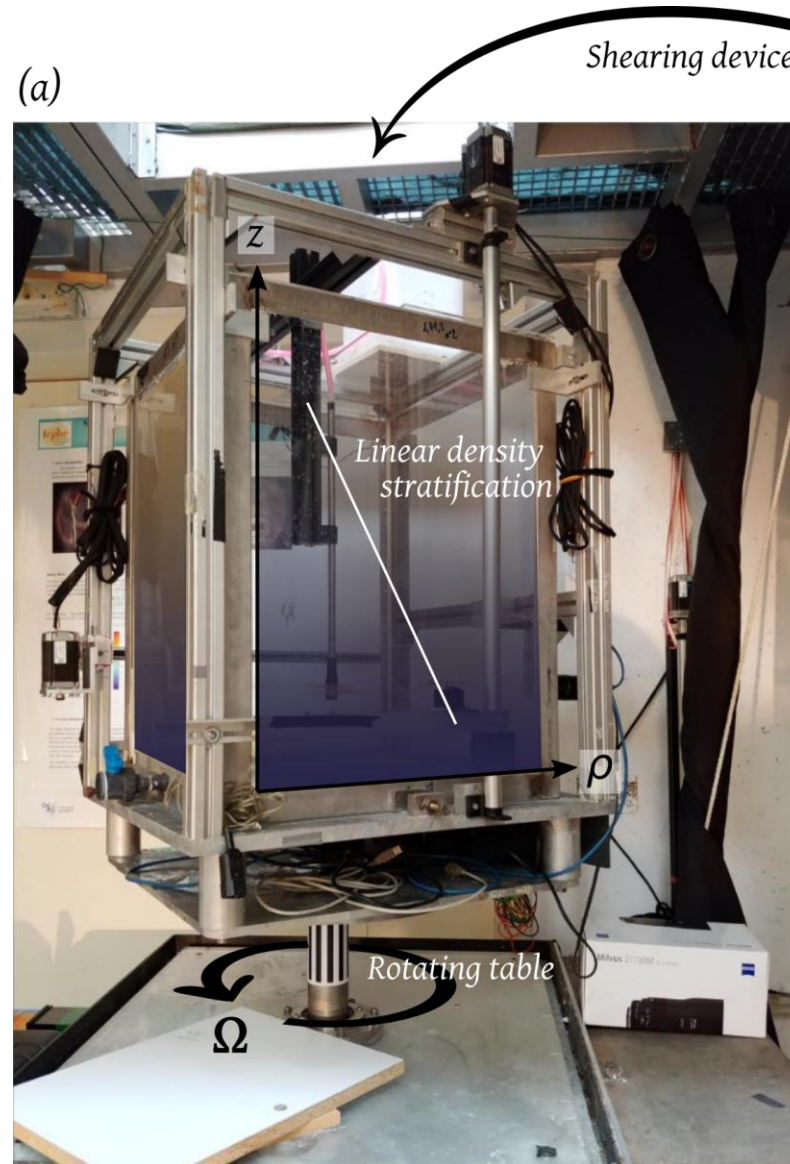
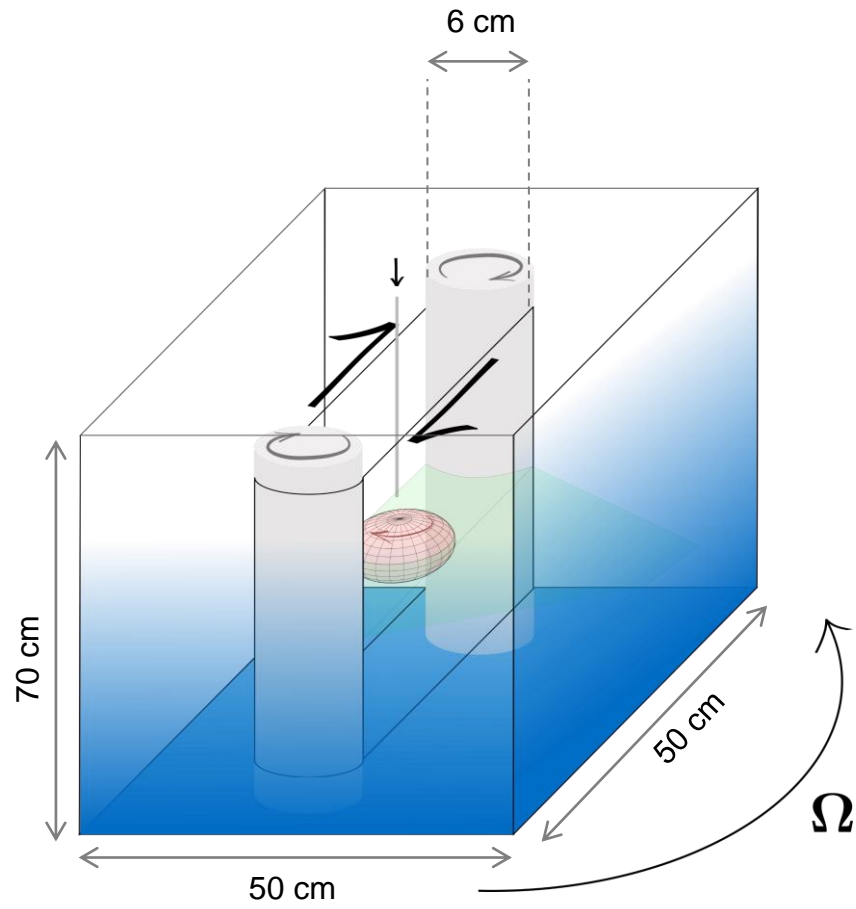
Forme de lentille flottante



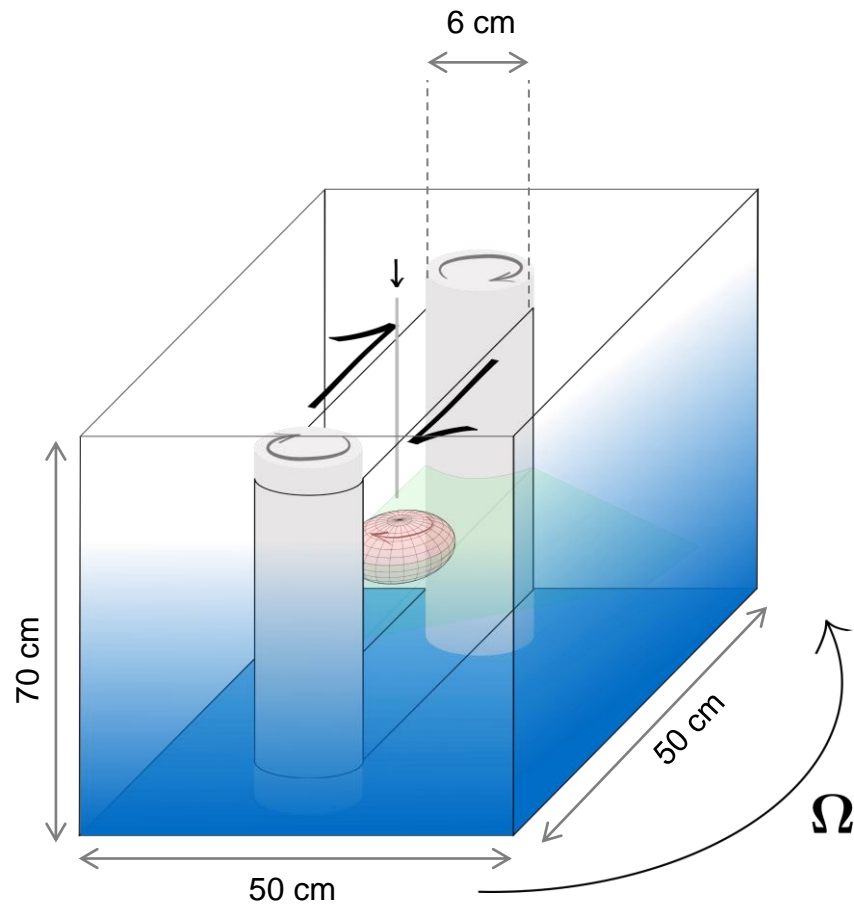
Eau chaude et salée de la Méditerranée enfermée dans un tourbillon homogène



Set-up experimental



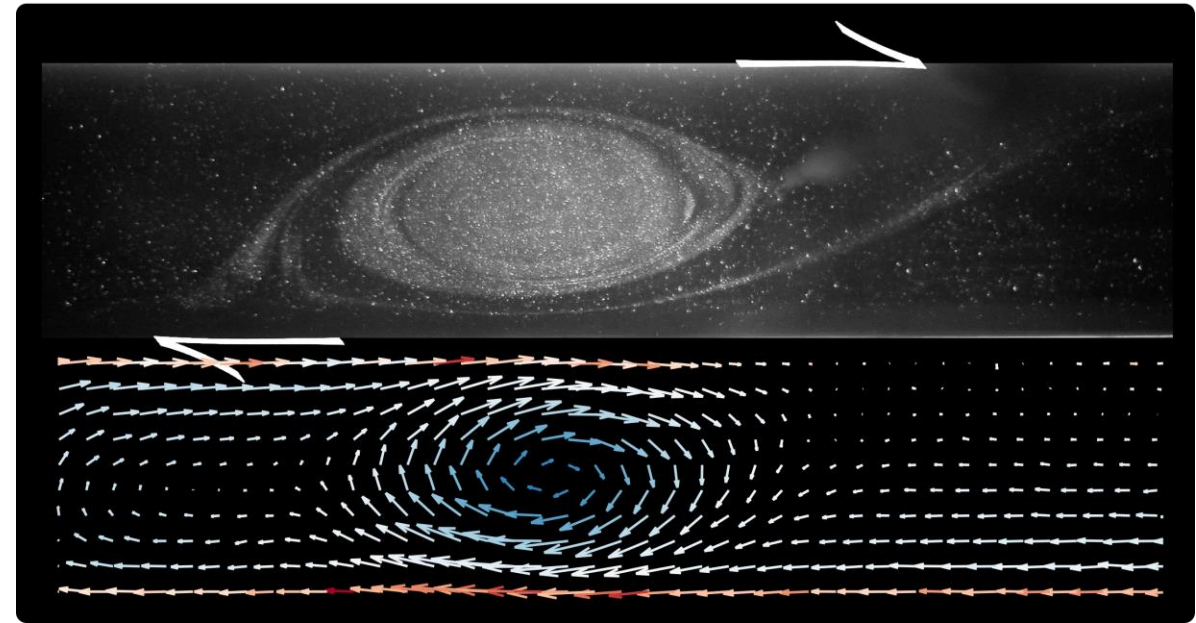
Set-up expérimental



Plan horizontal



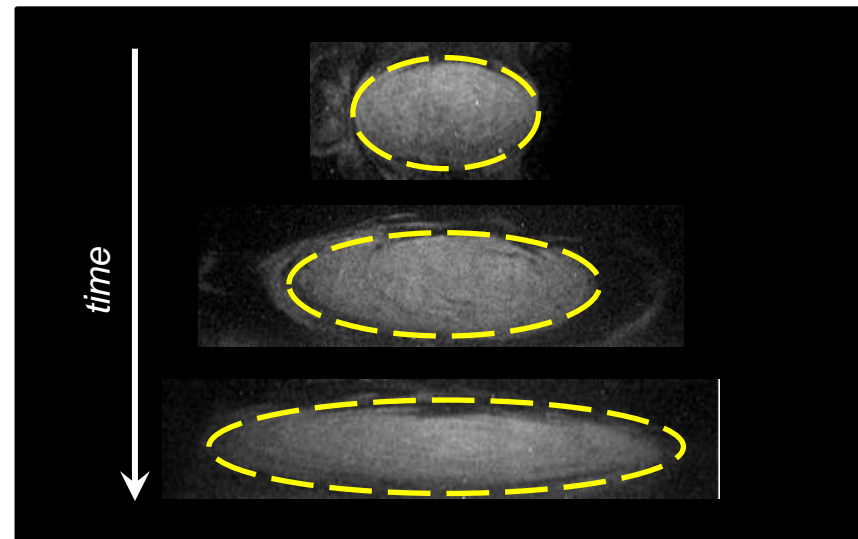
Vélocimétrie par image de particules



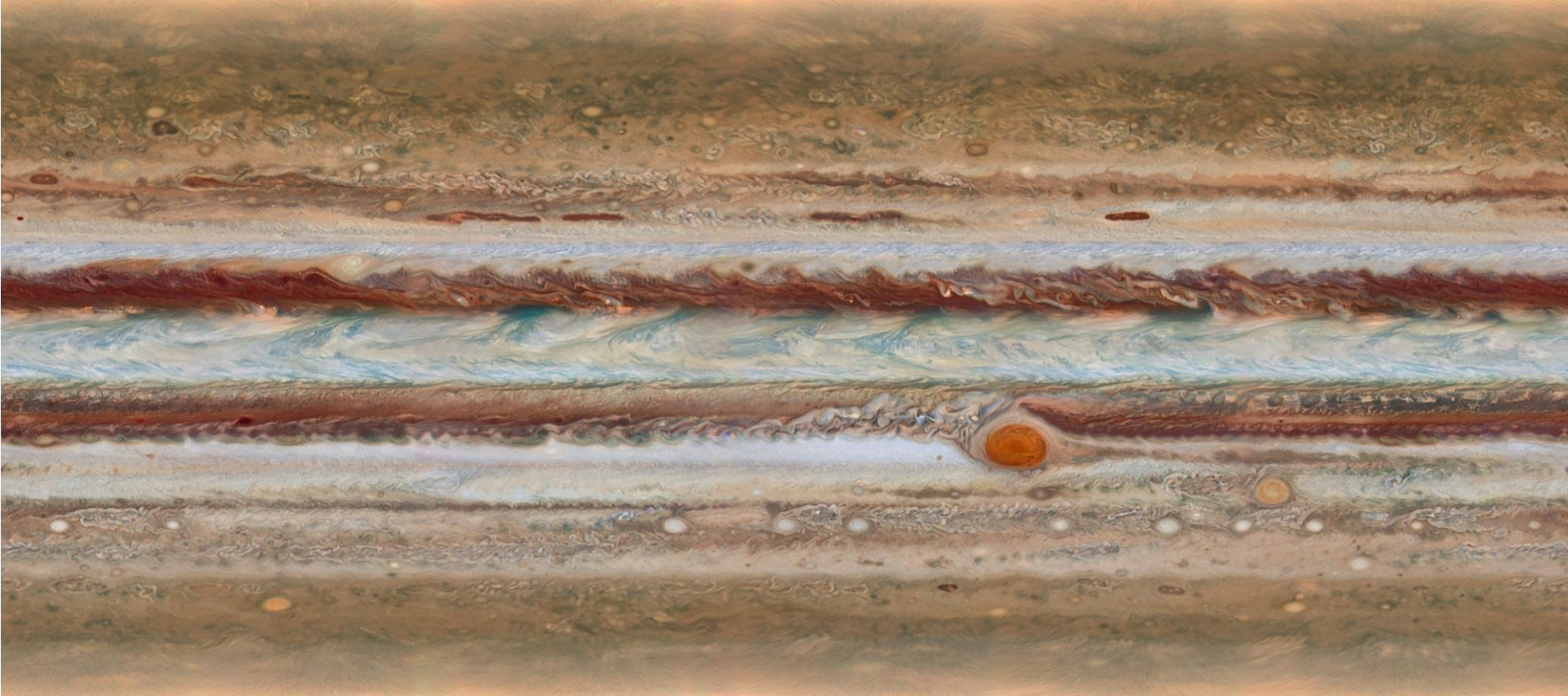
Plan vertical



Colorant fluorescent

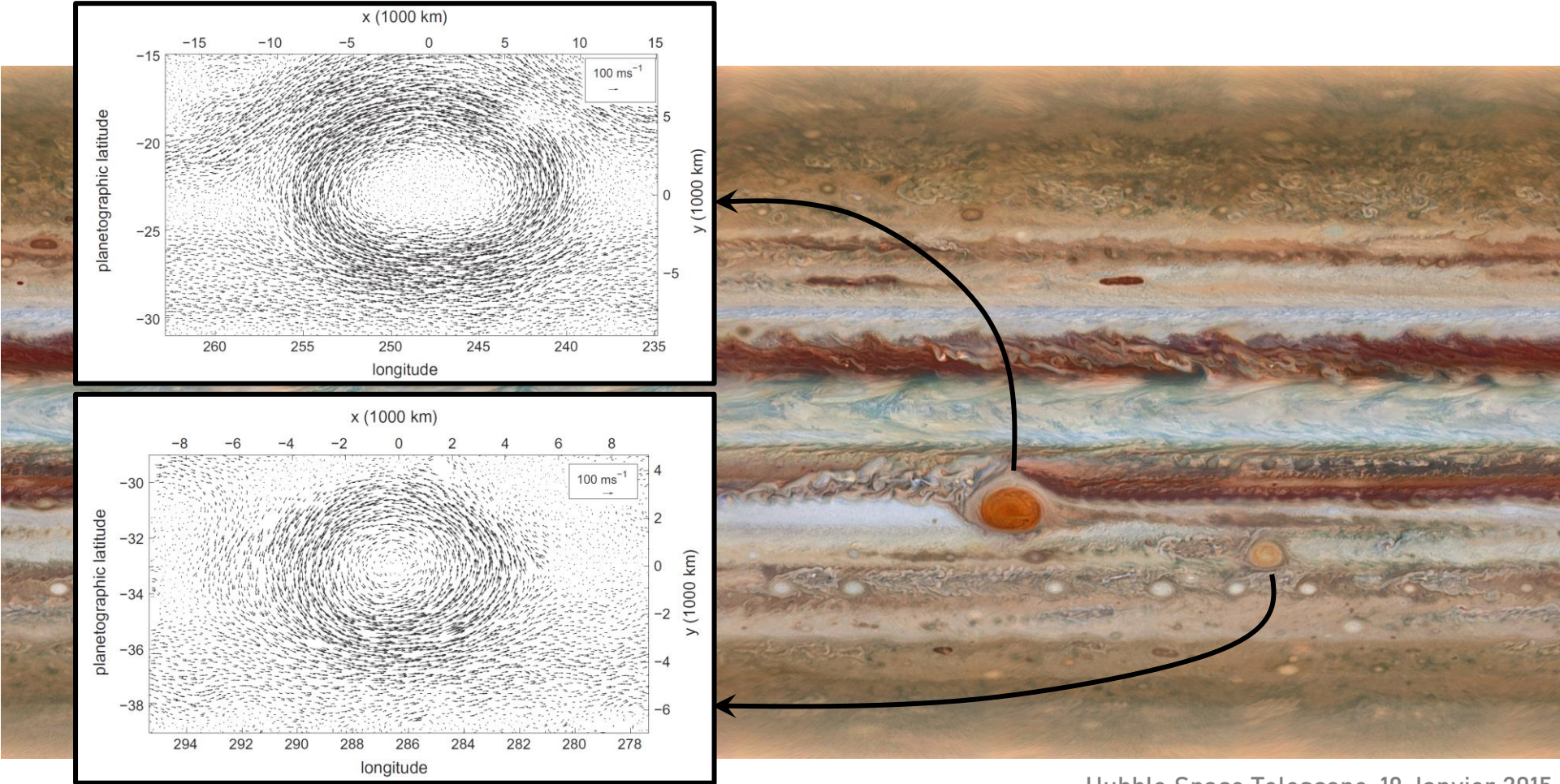


Application?



Hubble Space Telescope, 19 Janvier 2015

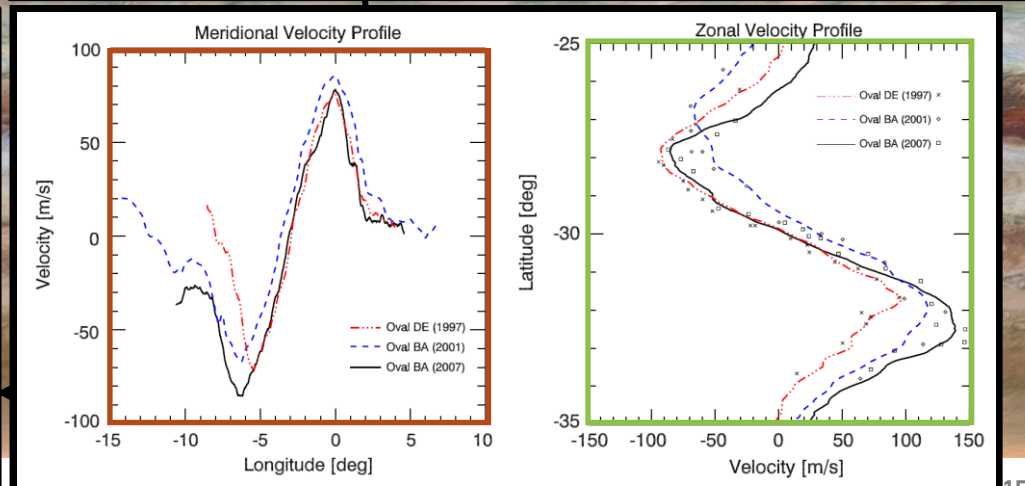
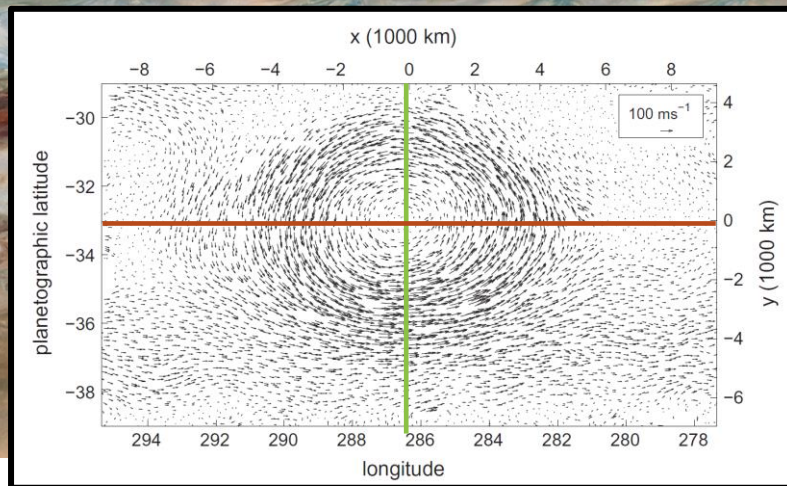
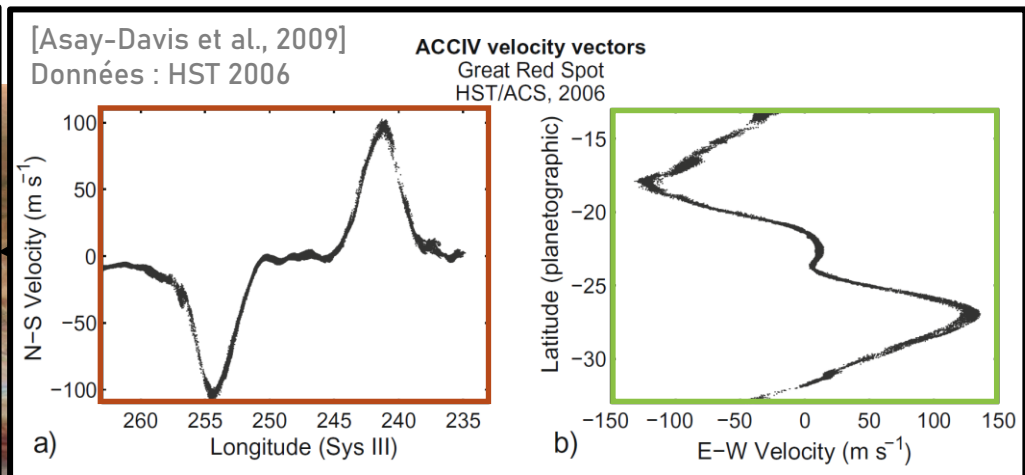
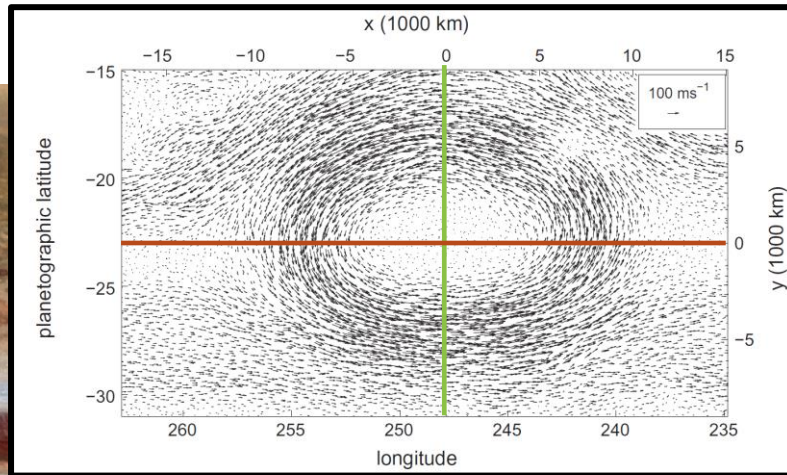
Application?



[Shetty et al., 2010]

Hubble Space Telescope, 19 Janvier 2015

Application?



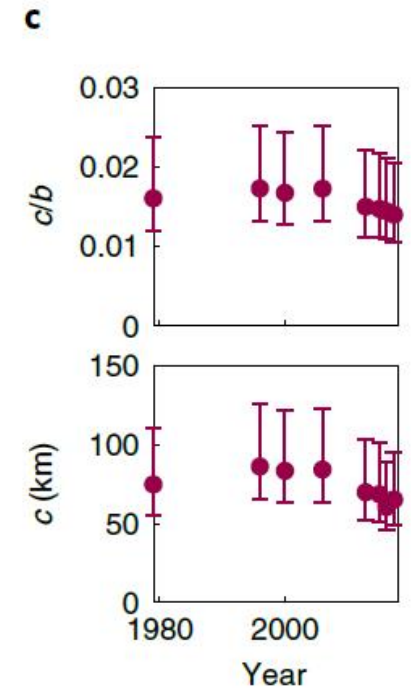
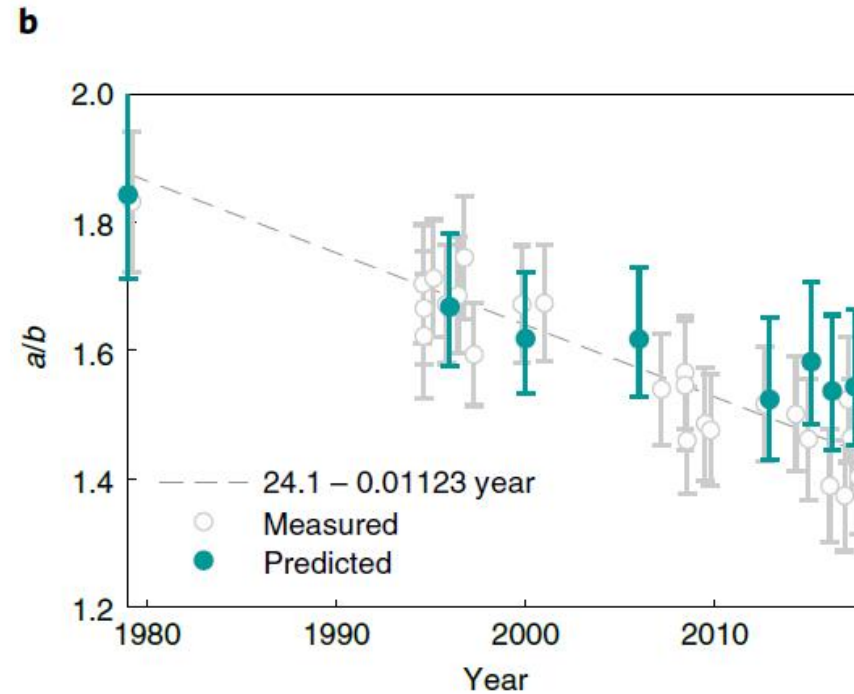
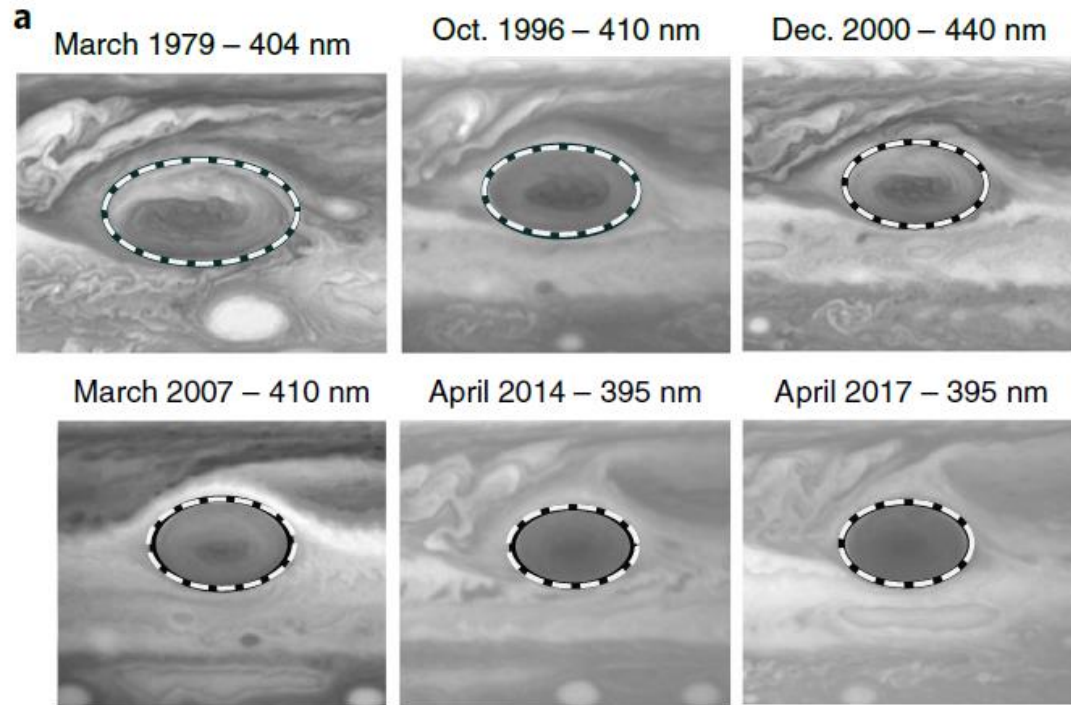
[Shetty et al., 2010]
Données : HST 2006

[Choi et al., 2010]
Données : New Horizons 2007

Application?

Évolution de la forme de la Grande Tache rouge sur les 40 dernières années

Contraction en longitude →



[Images from Simon et al., 2018]

Notion d'expérience analogue / modélisation expérimentale d'un phénomène naturel

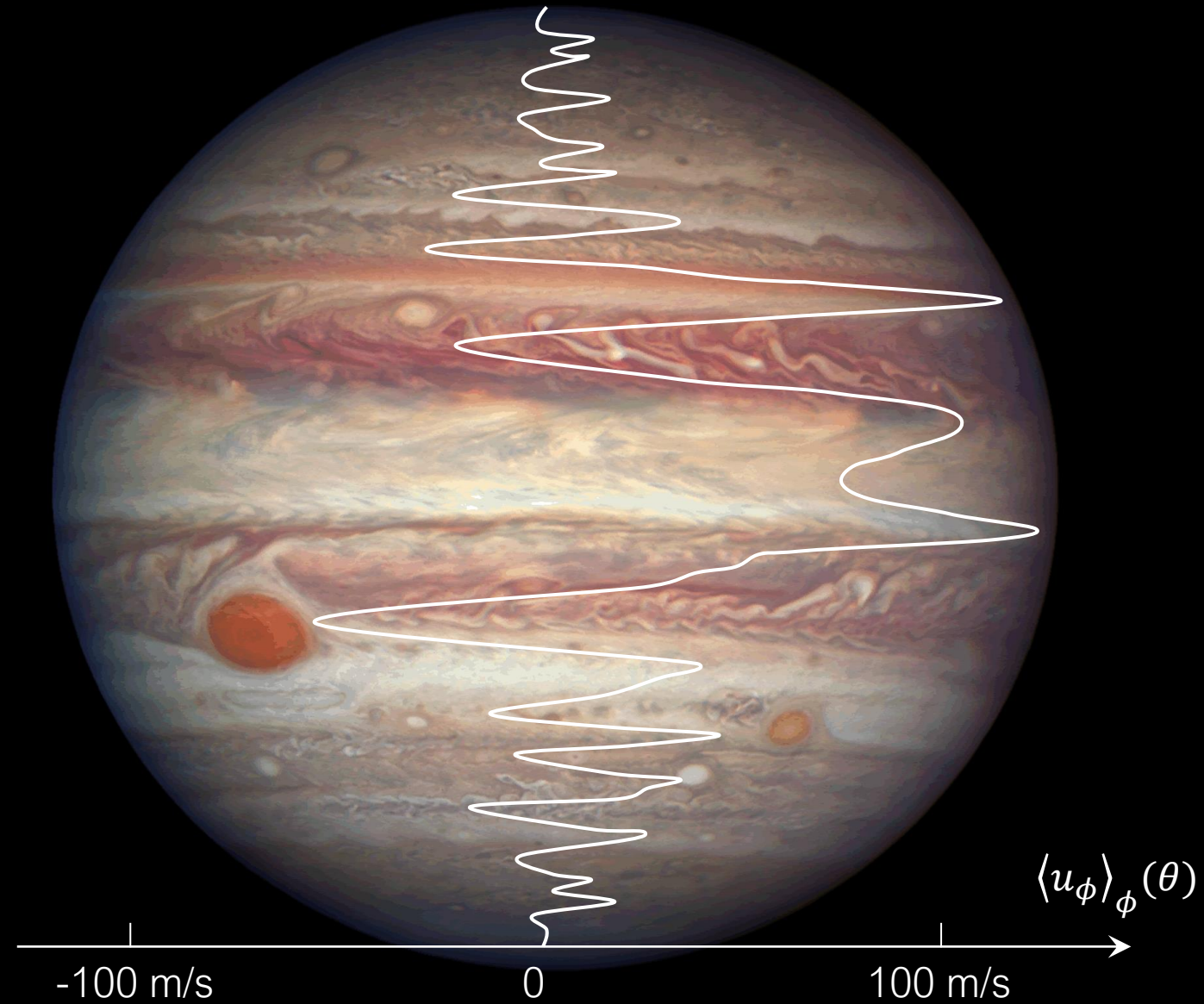
Étapes fondamentales :

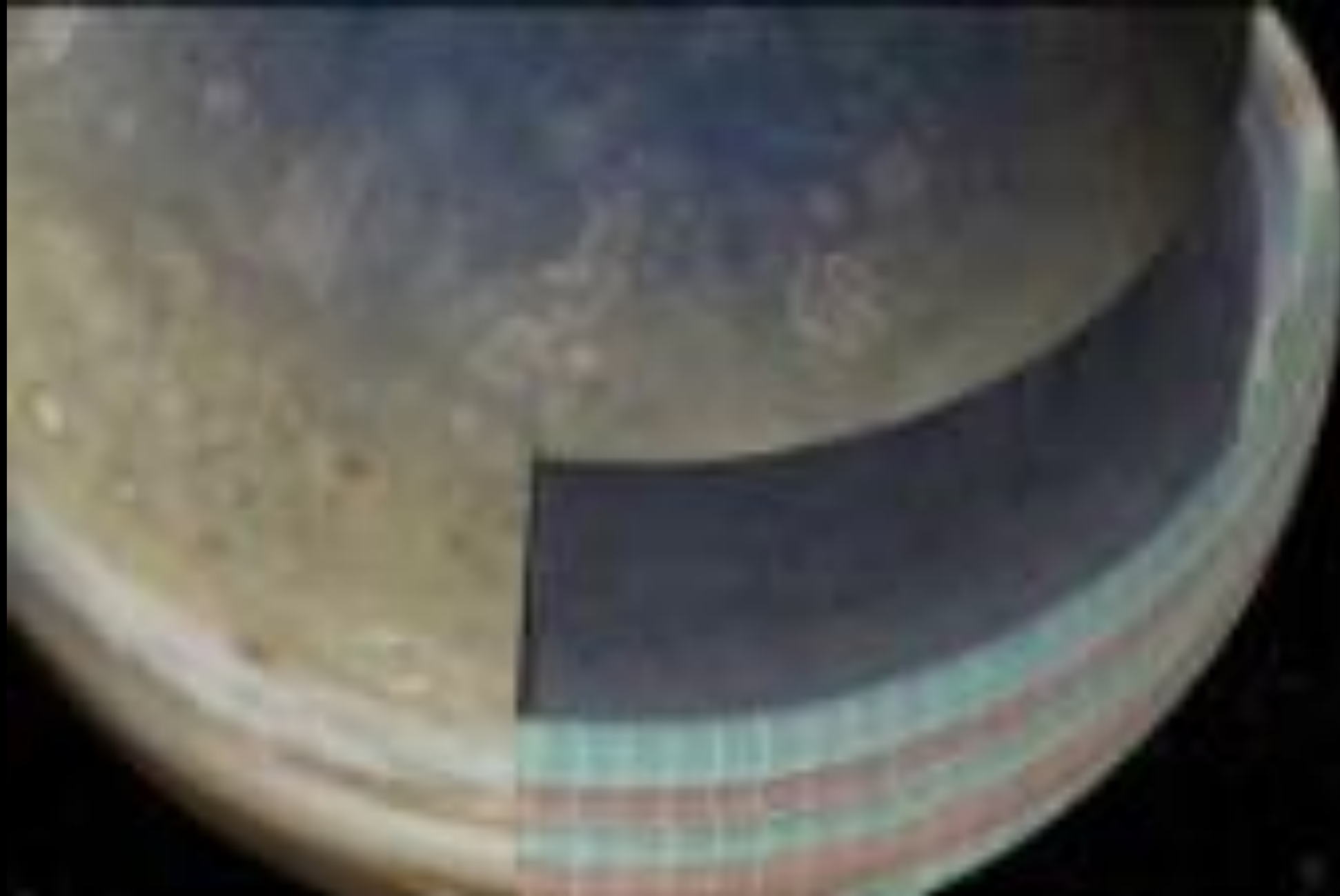
1. Identifier les **ingrédients** physiques importants / simplifier le système
 - *Fluide (gaz remplacés par de l'eau)*
 - *Rotation*
 - *Stratification*
 - *Cisaillement*
 - *Forçage (générer un anticyclone)*
2. Identifier le « **régime** »: comment les effets physiques se comparent les uns aux autres
 - *Rotation dominante (vortex « lent » // rotation de la planète)*
 - *Rotation et stratification de même ordre de grandeur*
 - *Effets visqueux négligeables*
3. Monter une **expérience** avec les bons ingrédients, dans le bon régime
 - *Vortex bcp plus petit par rapport à Jupiter → rotation plus forte, strati plus forte*
 - *OK pour rapport rotation et strati*
 - *Pas OK pour viscosité*
4. Réfléchir sur l'**extrapolation** des résultats au phénomène réel (principe de similitude, domaine de validité, limites)
 - *équilibre instantané à grande échelle respecté → valide pour la forme du vortex*
 - *Manque turbulence, compressibilité (gaz), radiation thermique... → pas valide pour modéliser l'évolution du vortex*

[Pour la Science n° 519
- Janvier 2021]



2. Modèle expérimental des vents zonaux

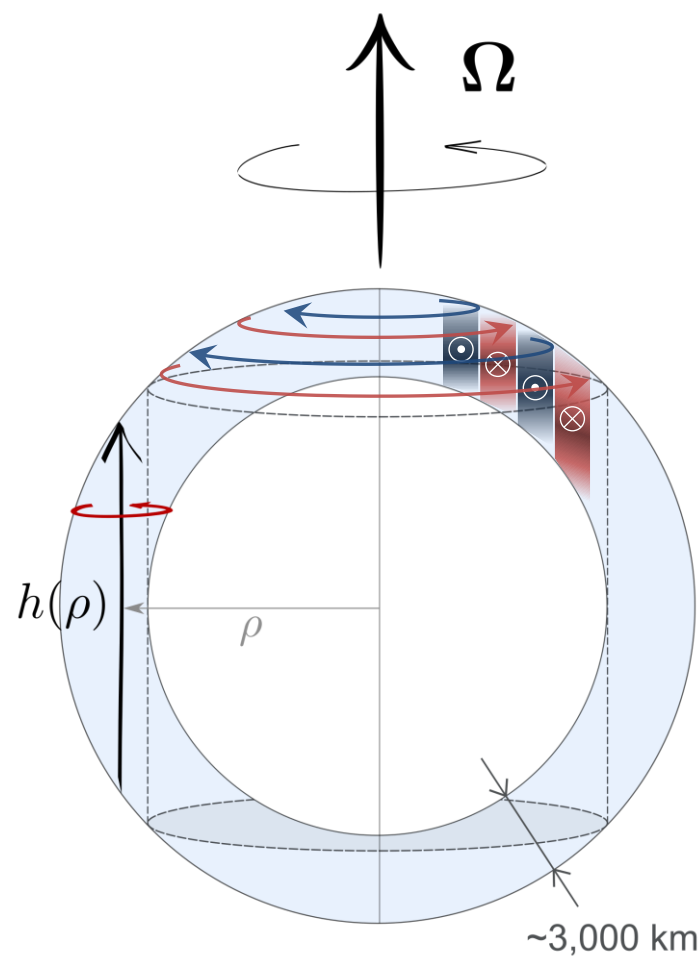




Vidéo profondeur des bandes de Jupiter : <https://youtu.be/hF0UjhPSS3A>

Modèle expérimental des jets zonaux

1. Ingrédients physiques fondamentaux

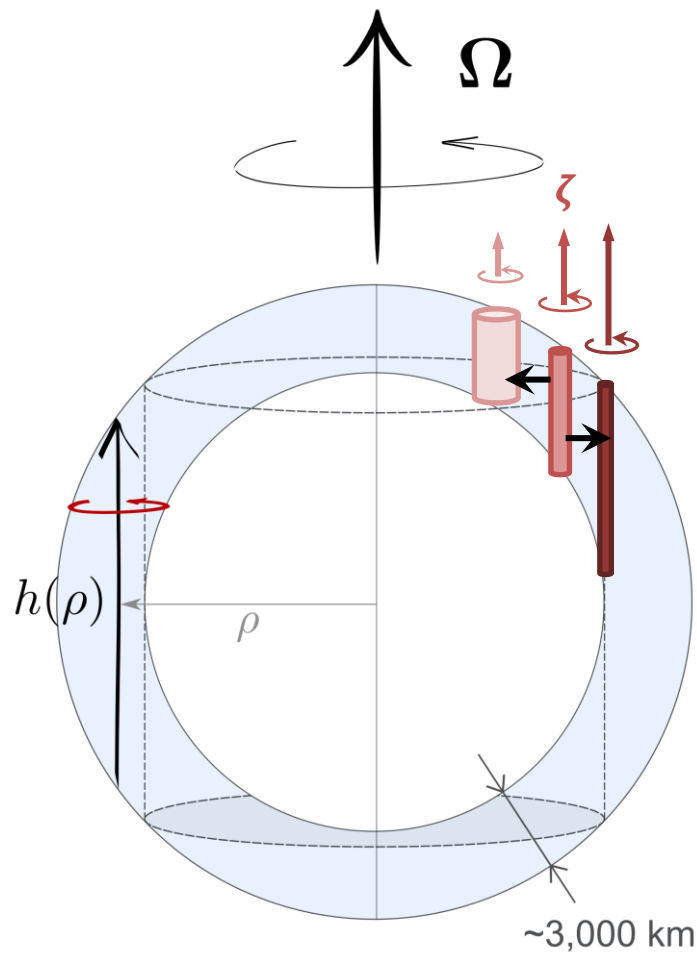


1 Rotation



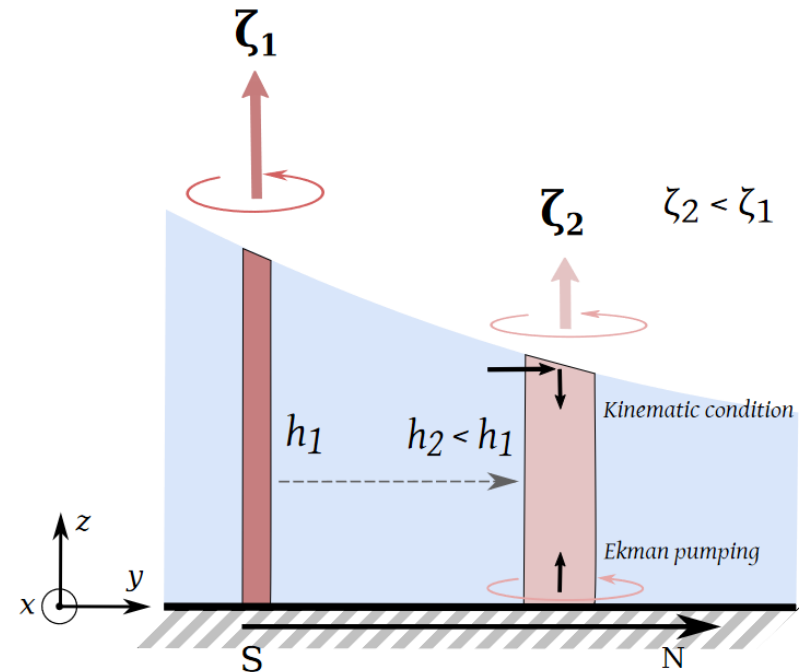
Modèle expérimental des jets zonaux

1. Ingrédients physiques fondamentaux



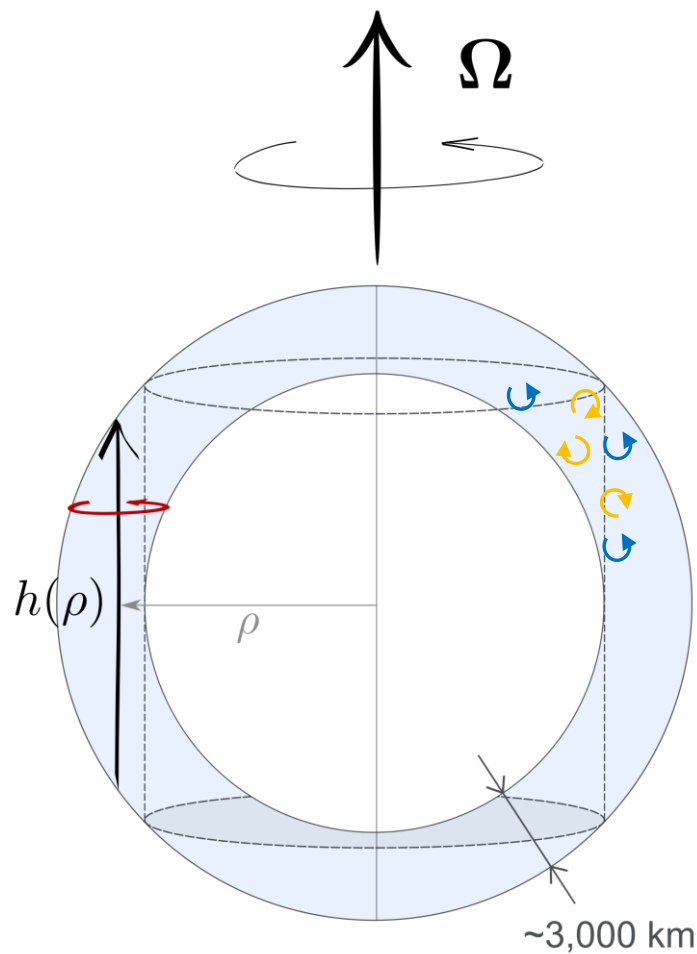
1 Rotation

2 Variations de la hauteur de fluide (effet-Beta)



Modèle expérimental des jets zonaux

1. Ingrédients physiques fondamentaux



1 Rotation

2 Variations de la hauteur de fluide (effet-Beta)

3 Forçage

- Convection dans l'atmosphère (superficiel), tempêtes...
- Instabilités baroclines
- Convection petite échelle dans l'intérieur profond de Jupiter

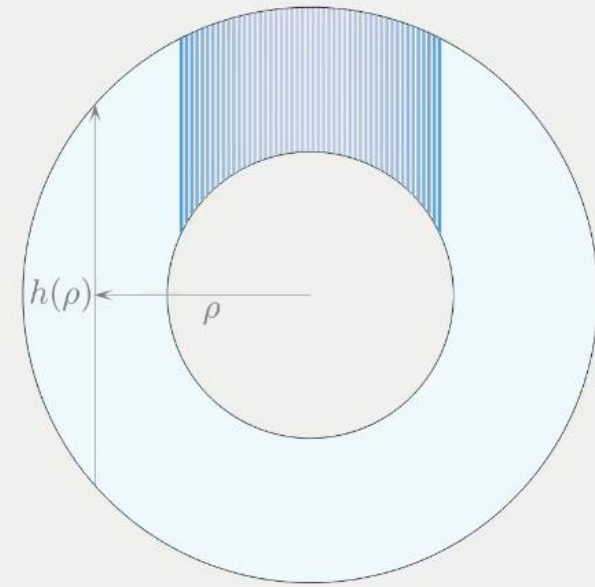
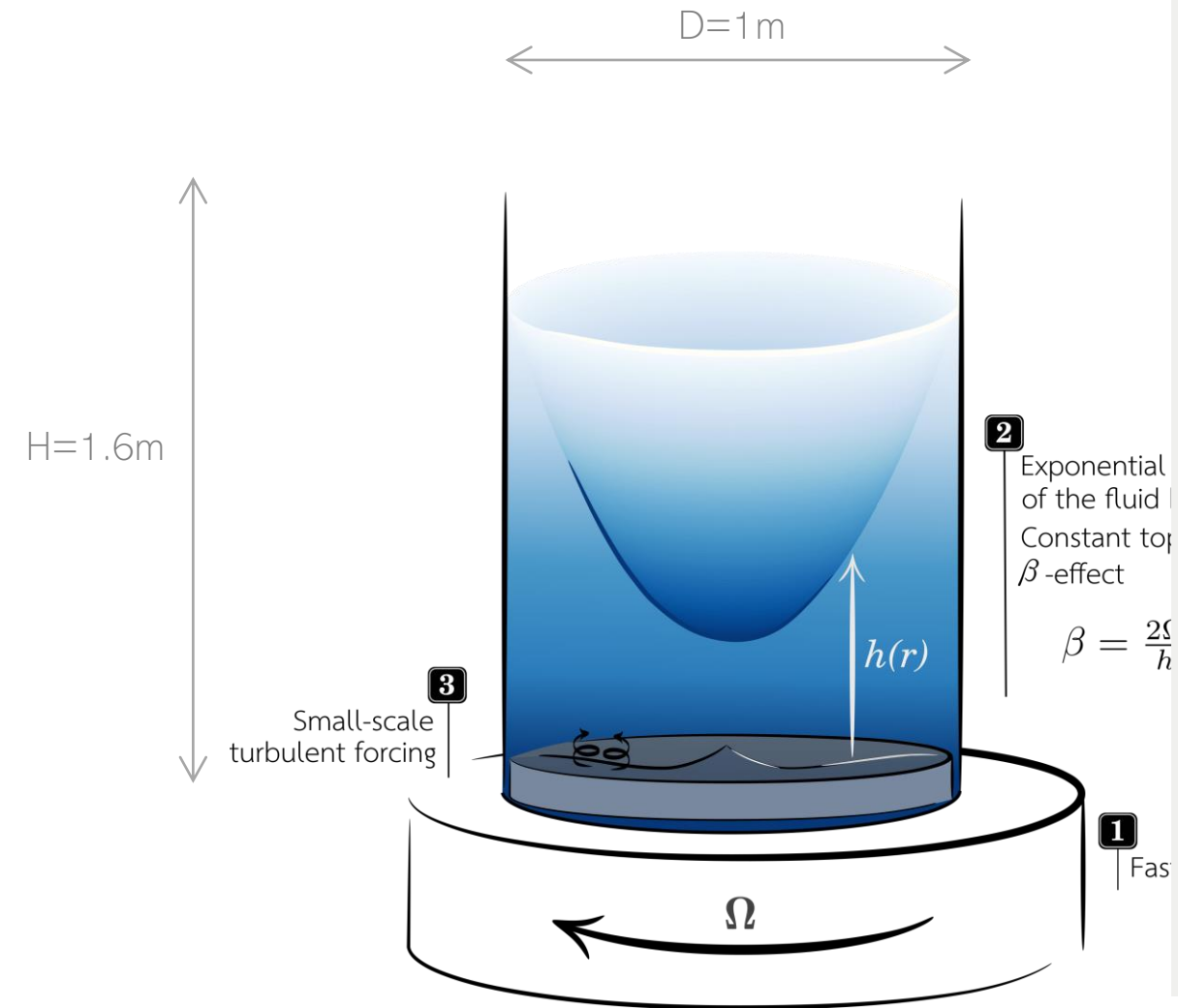
Vidéo "Objectif Jupiter", par Zeste de Science : <https://youtu.be/T8AupTdMolo>



**OBJECTIF
JUPITER**

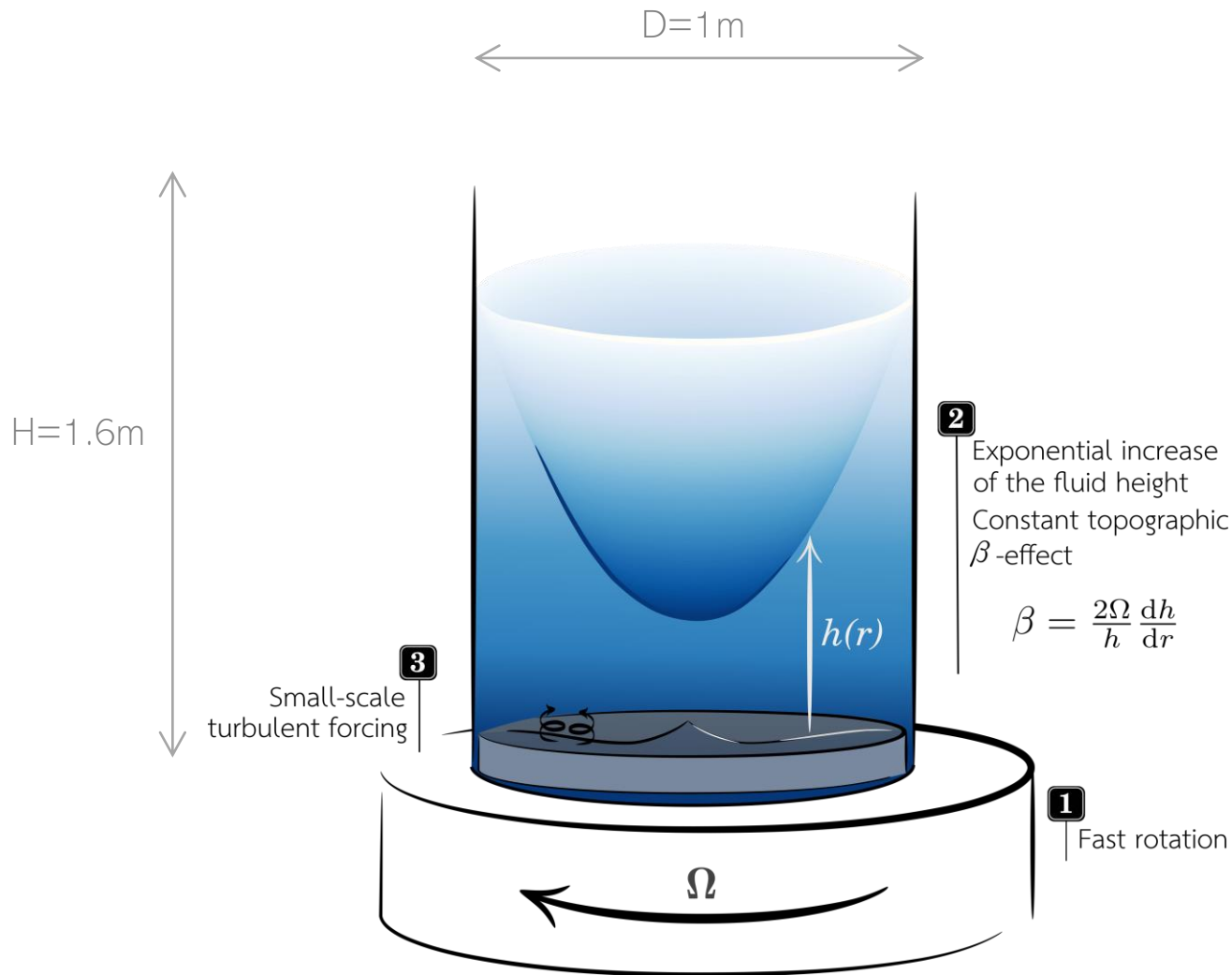
Modèle expérimental des jets zonaux

2. Setup expérimental



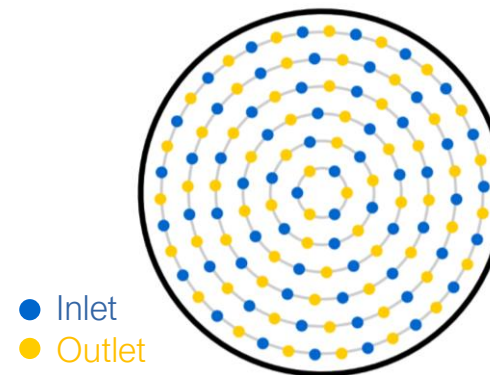
Modèle expérimental des jets zonaux

2. Setup expérimental



Dimensional parameters

- ✓ $\beta = 50 \text{ m}^{-1}\text{s}^{-1}$
- ✓ $H = 58 \text{ cm}$ ($\sim 600\text{L}$ water)
- ✓ $\Omega = 75 \text{ RPM} = 1.25 \text{ Hz}$
- ✓ $U \sim \text{mm/s to cm/s}$

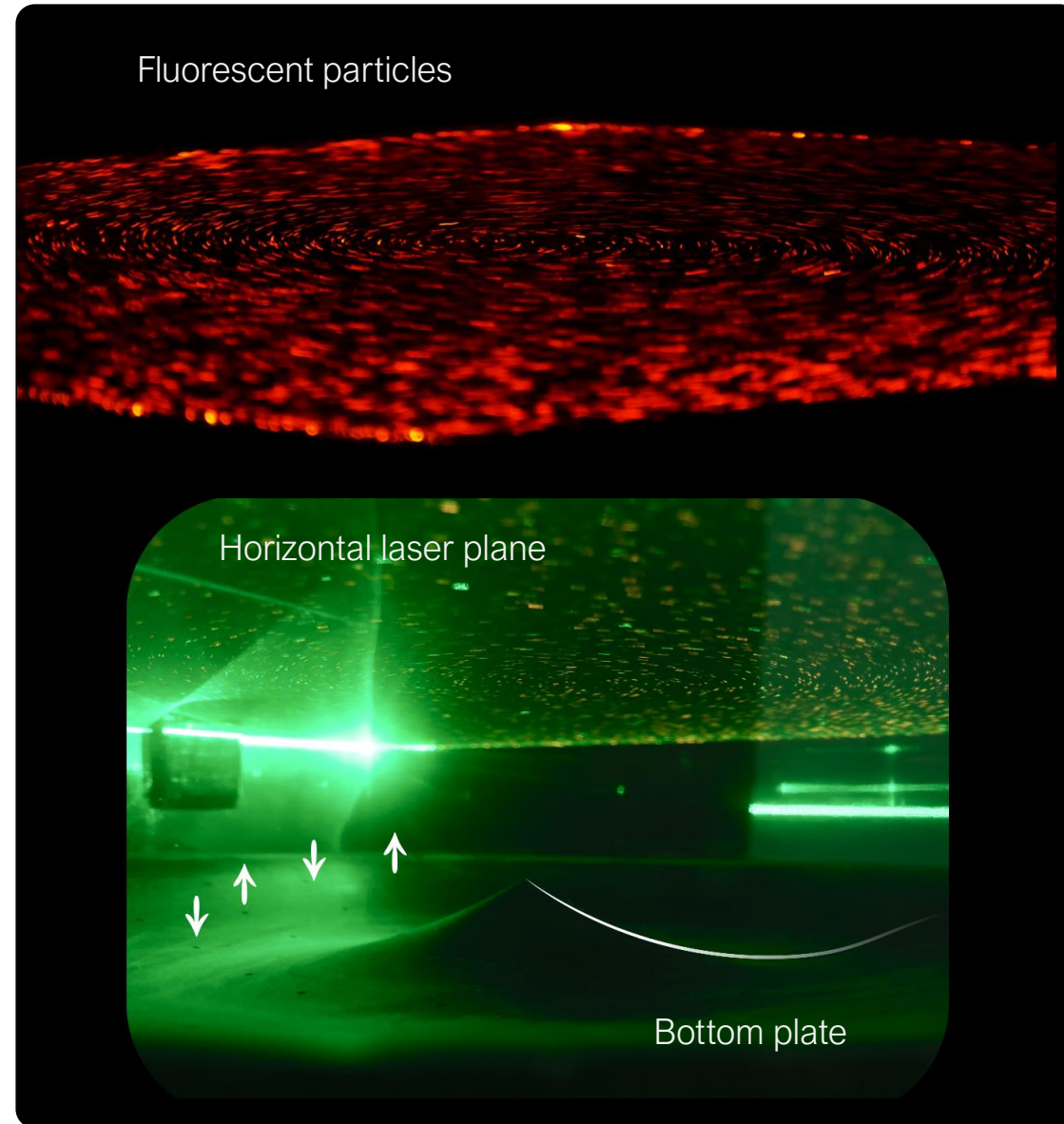
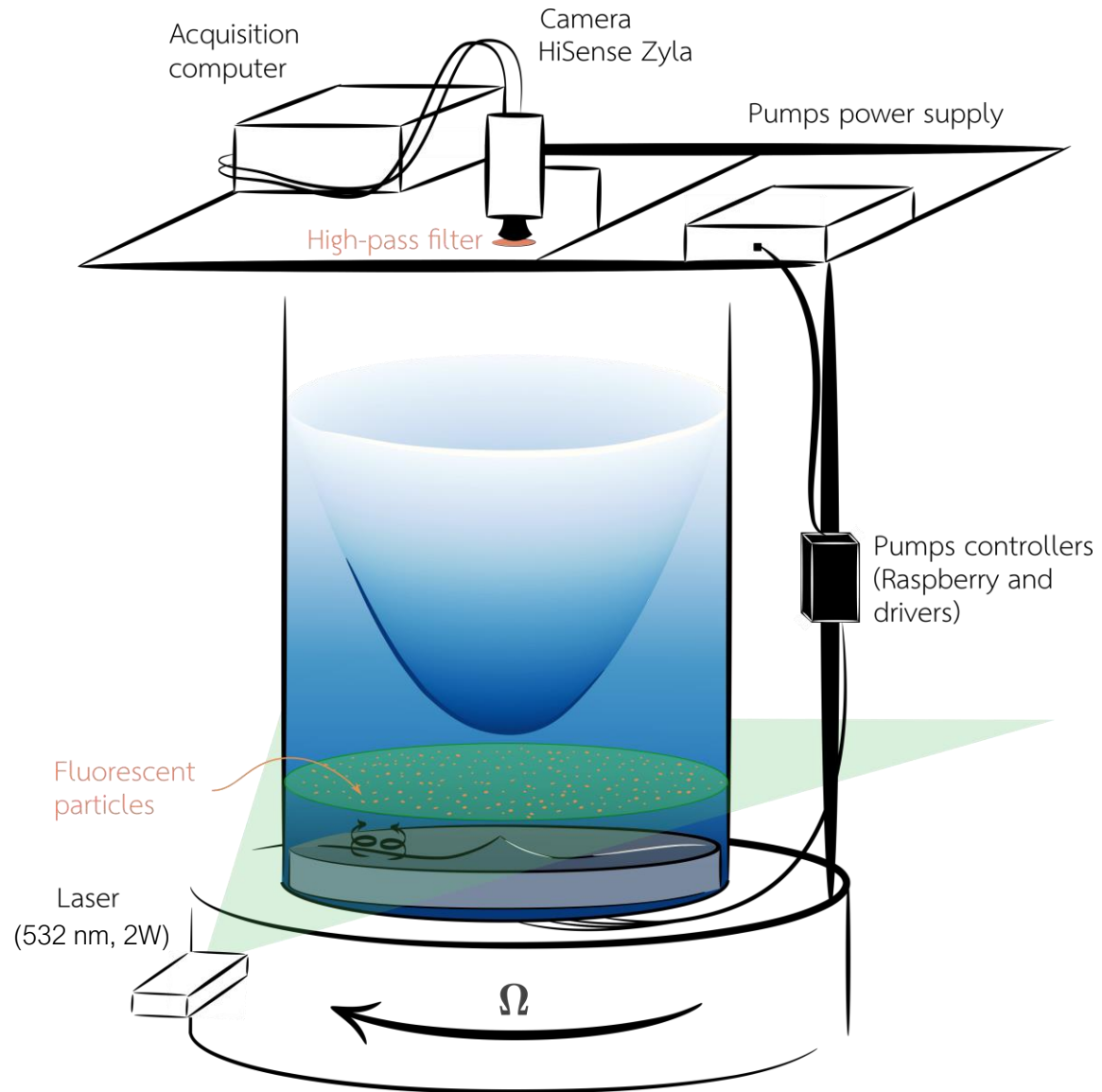


Forcing

- « Direct » (no instability)
- Zonal average = zero by construction
- 6 independent pumps
- Remote control

Modèle expérimental des jets zonaux

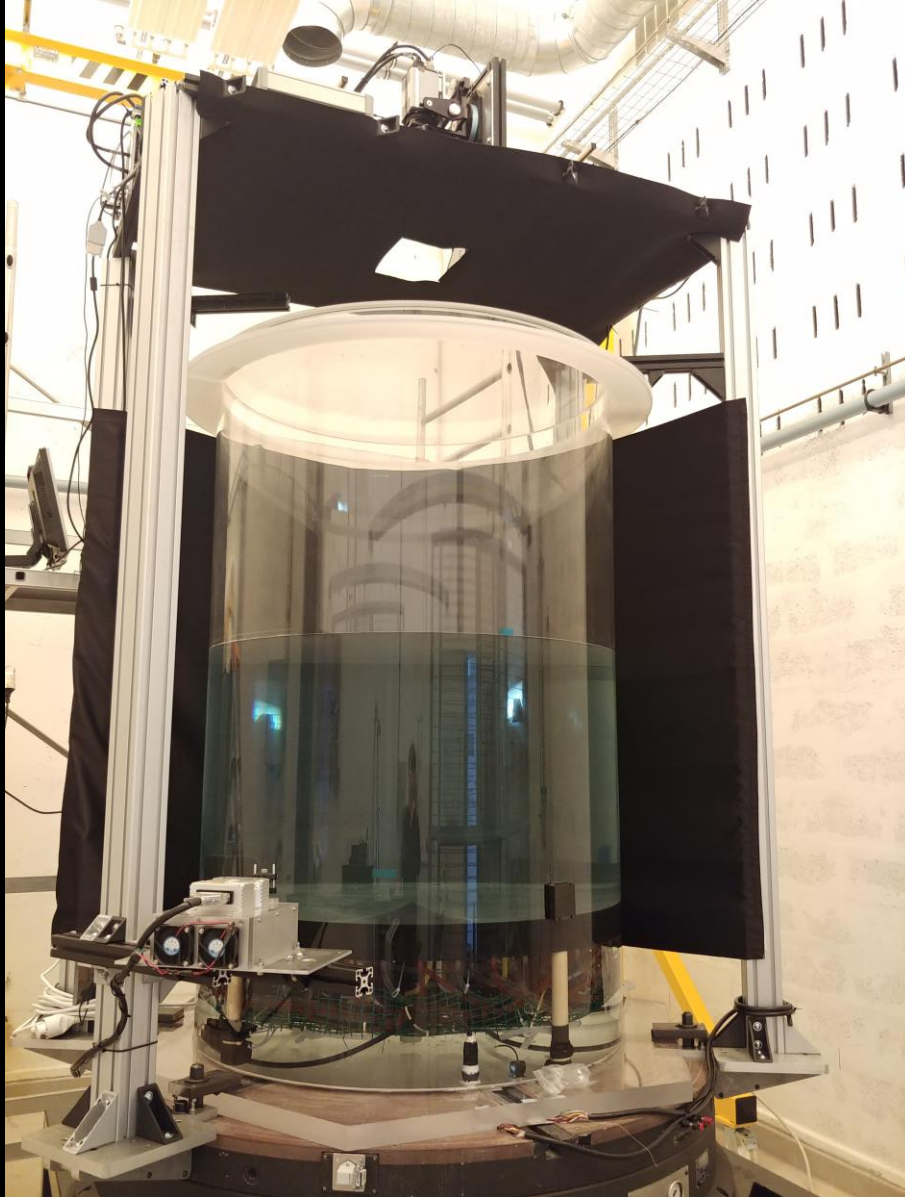
2. Setup expérimental



Modèle expérimental de jets zonaux

2. Setup expérimental

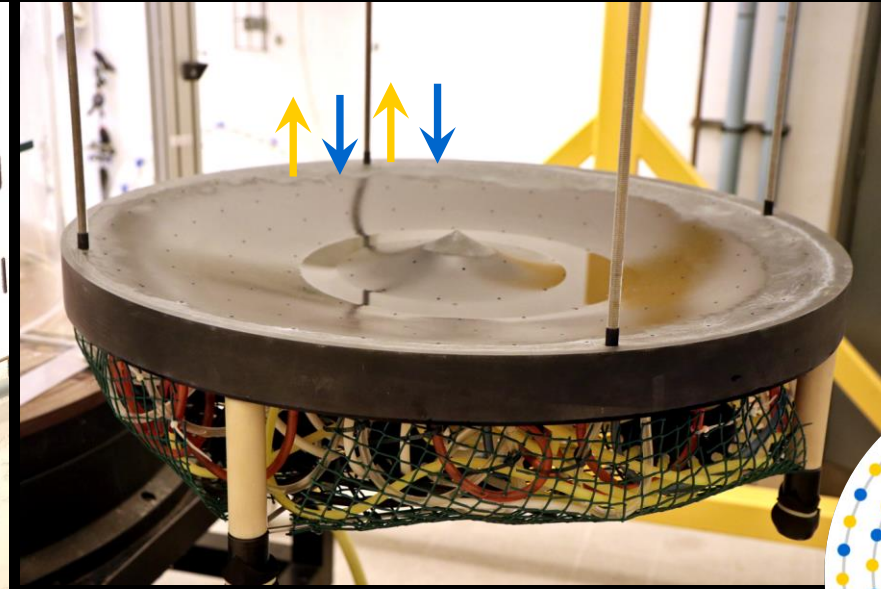
AU REPOS



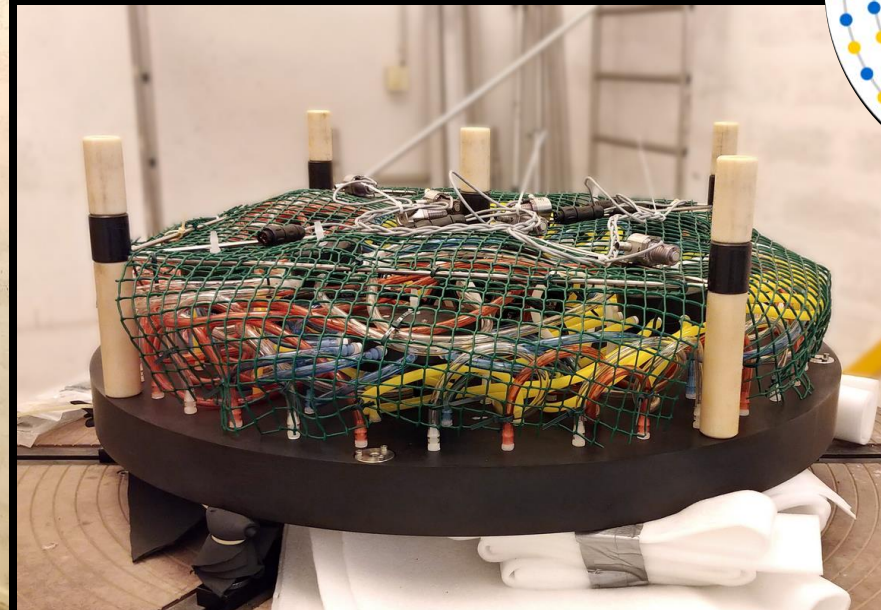
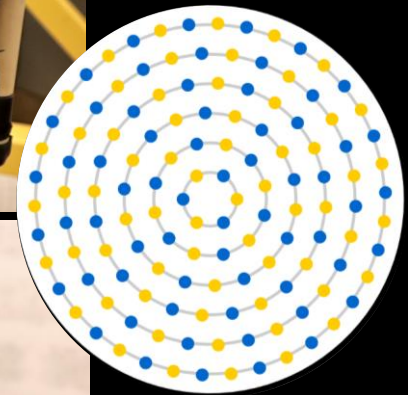
Modèle expérimental de jets zonaux

2. Setup expérimental

AU REPOS



128 points
d'injection/aspirati
on distribués sur 6
anneaux

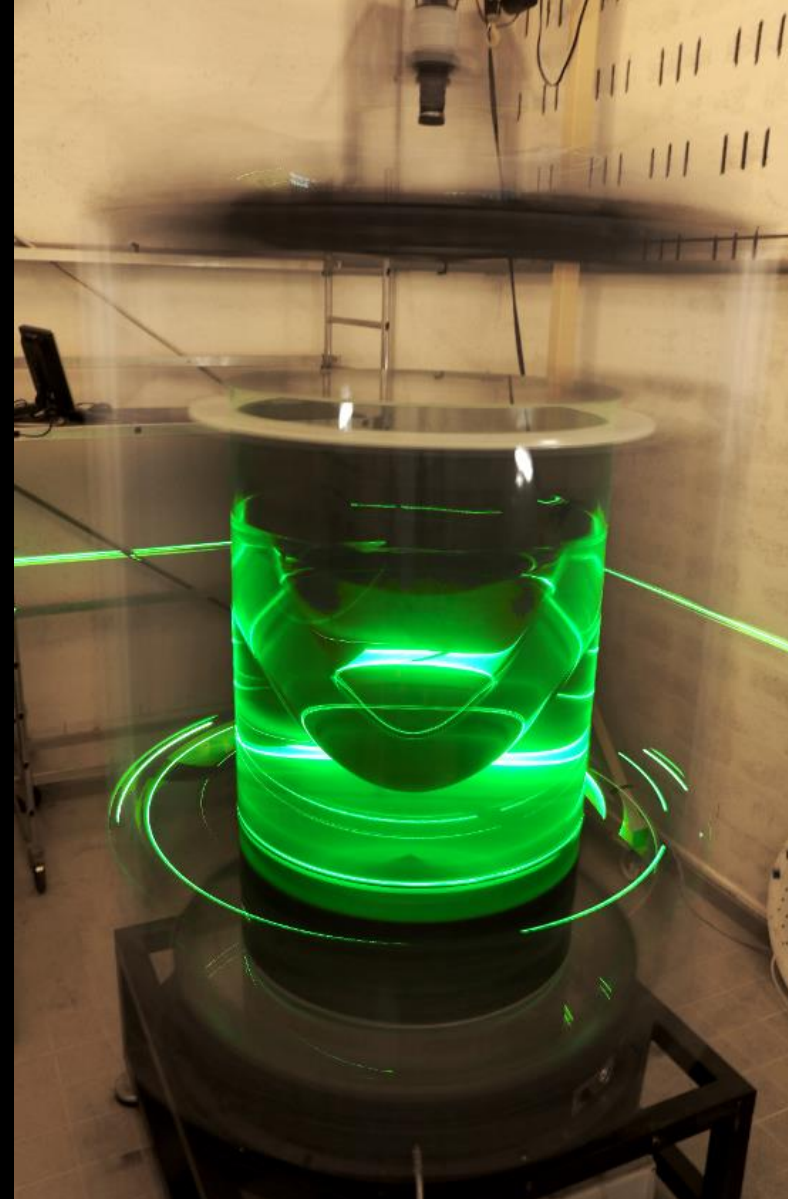
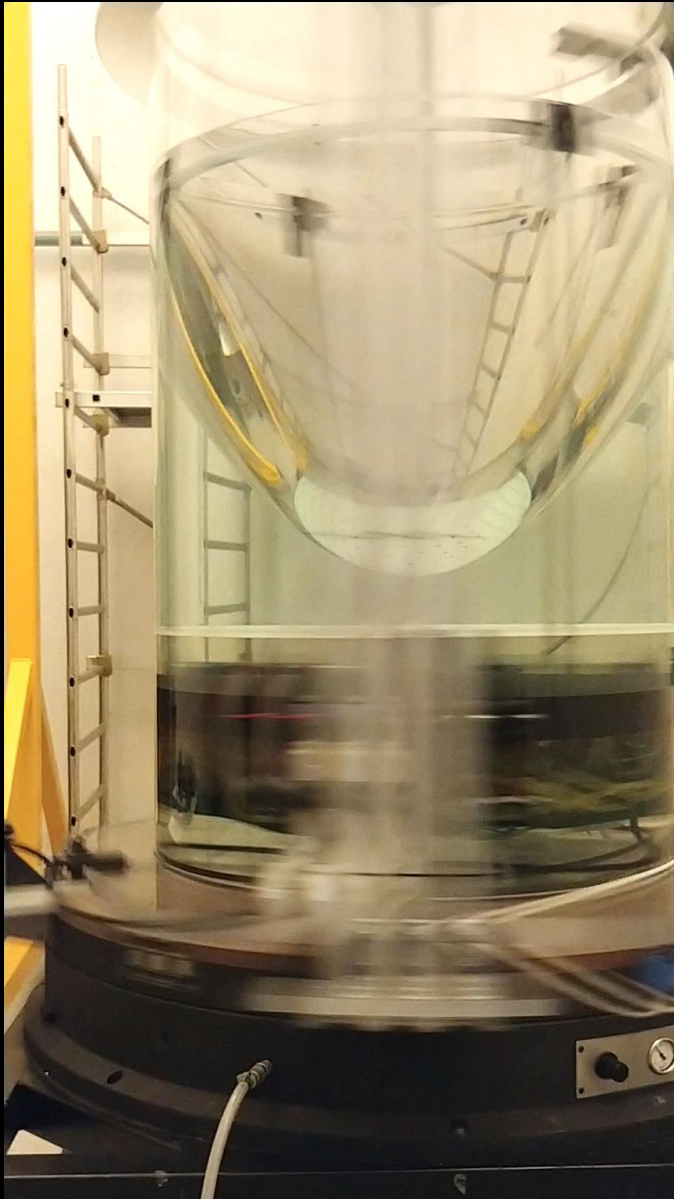


Un sac de
nœuds d'environ
120 mètres de
tuyaux!!

Modèle expérimental de jets zonaux

2. Setup expérimental

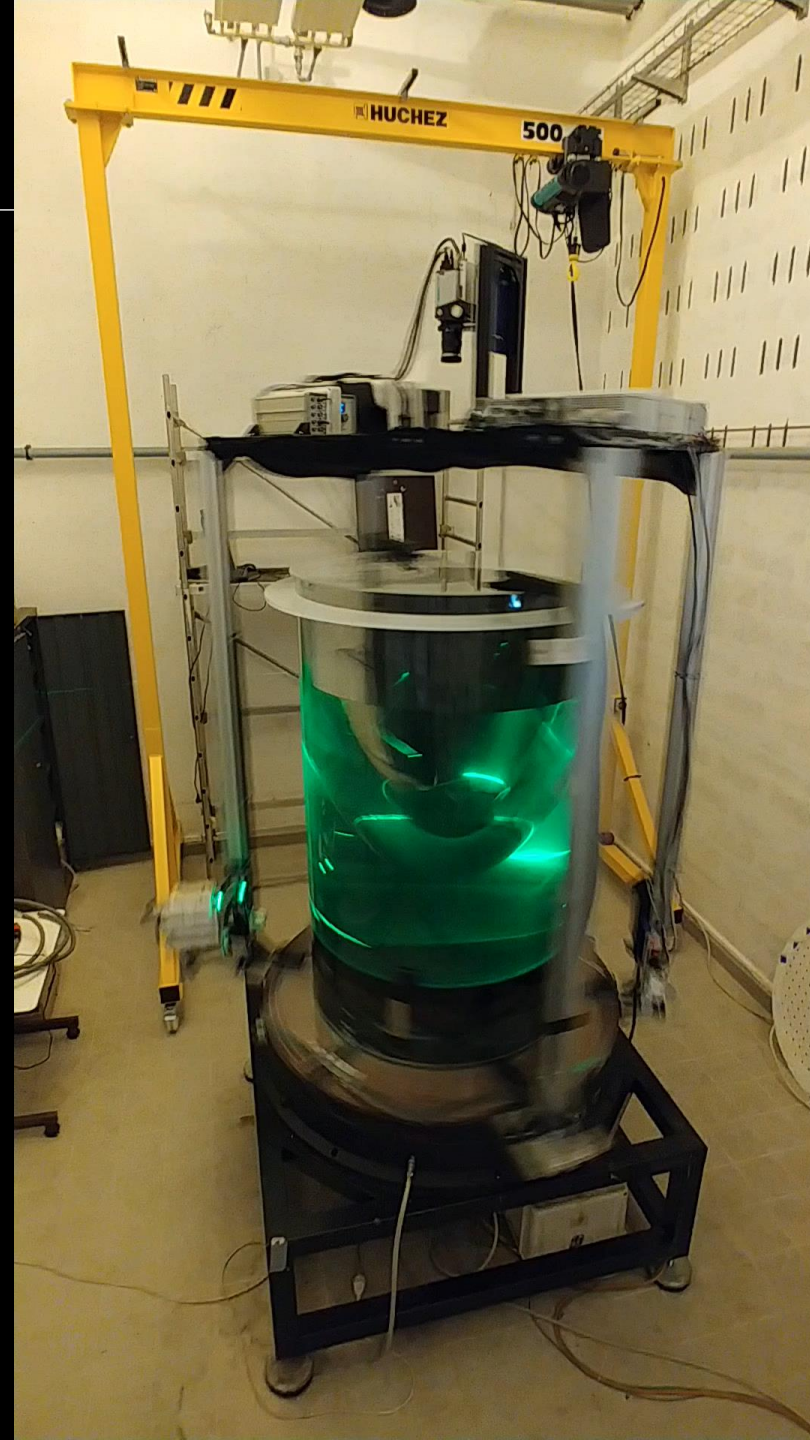
ROTATION
75 TOURS PAR
MINUTE
(1.25 tours par
seconde)



Modèle expérimental de jets zonaux

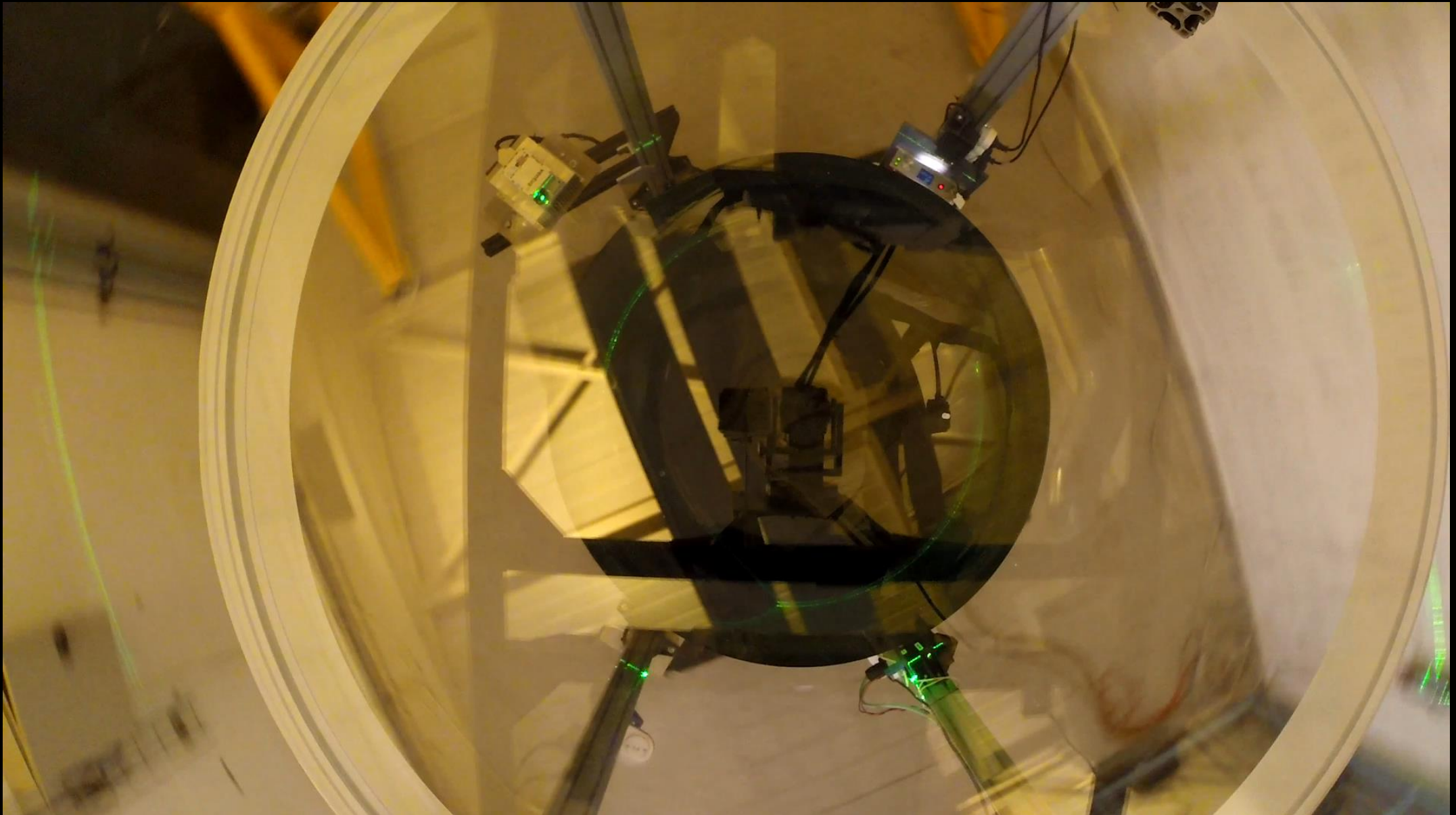
2. Setup expérimental

ROTATION
75 TOURS PAR
MINUTE
(1.25 tours par
seconde)



Modèle expérimental de jets zonaux

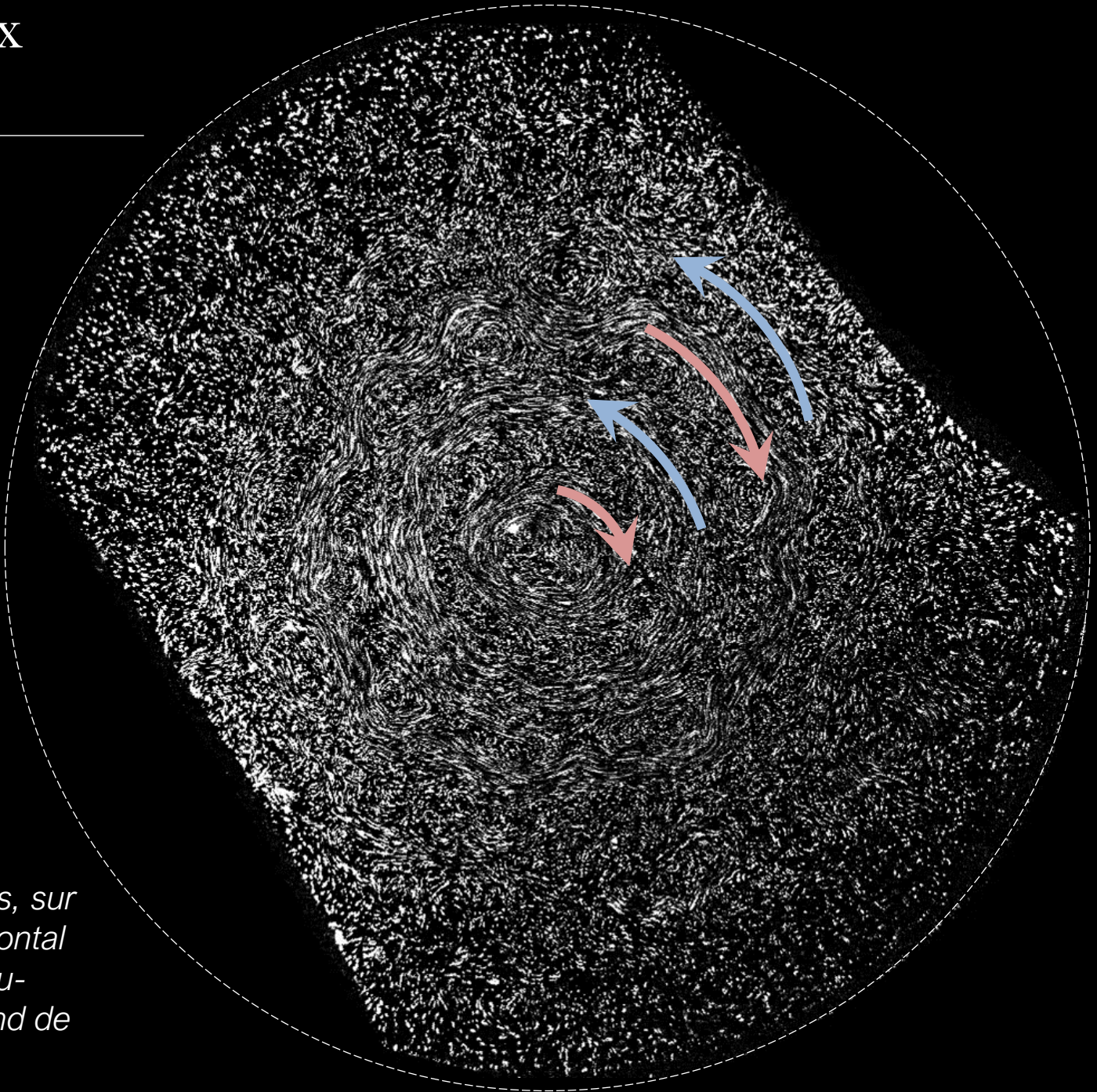
2. Setup expérimental



Modèle expérimental de jets zonaux

3. Observations

Visualisation par des
particules fluorescentes.



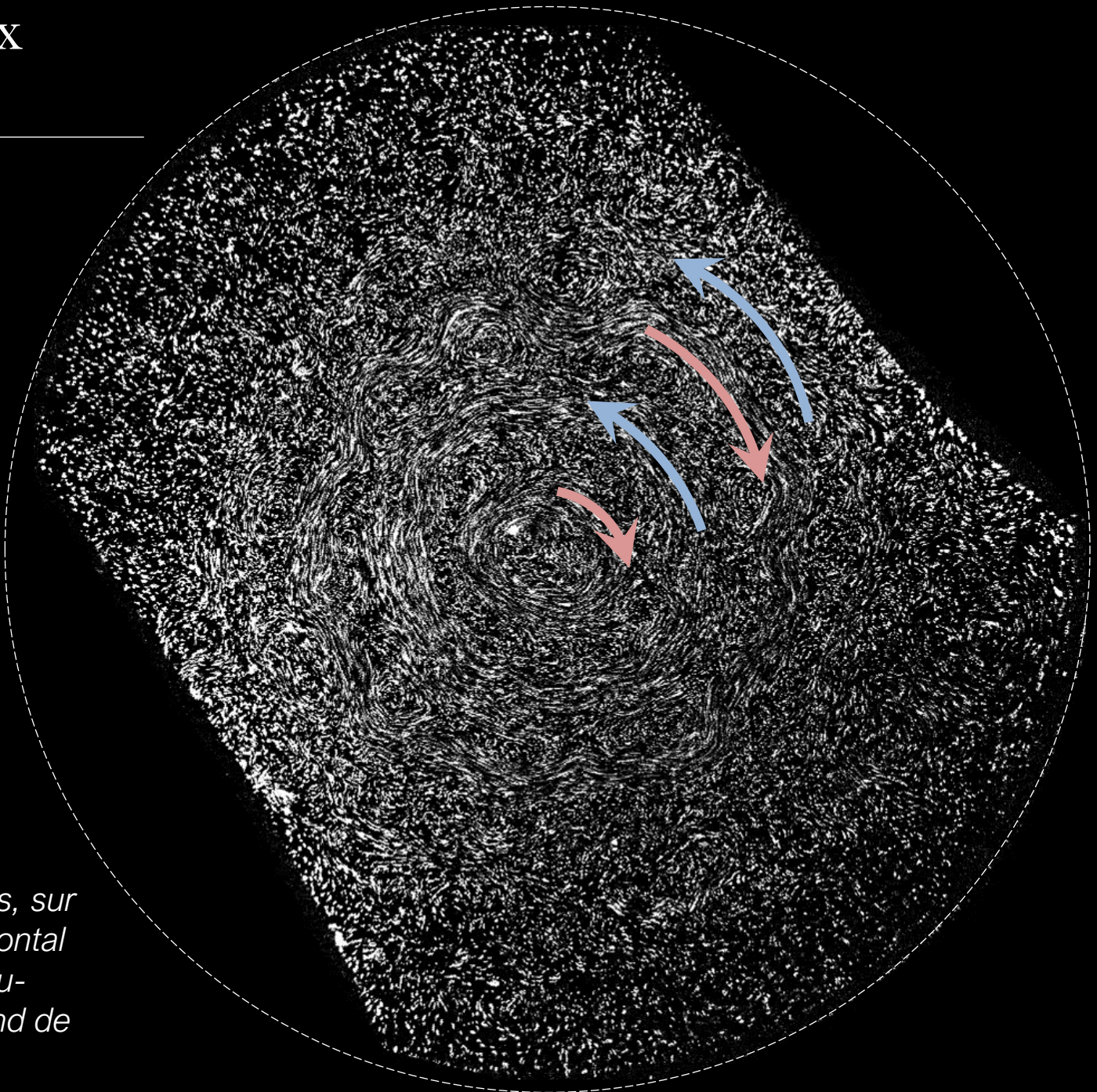
*Vue de dessus, sur
un plan horizontal
à 11 cm au-
dessus du fond de
la cuve.*

Modèle expérimental de jets zonaux

3. Observations



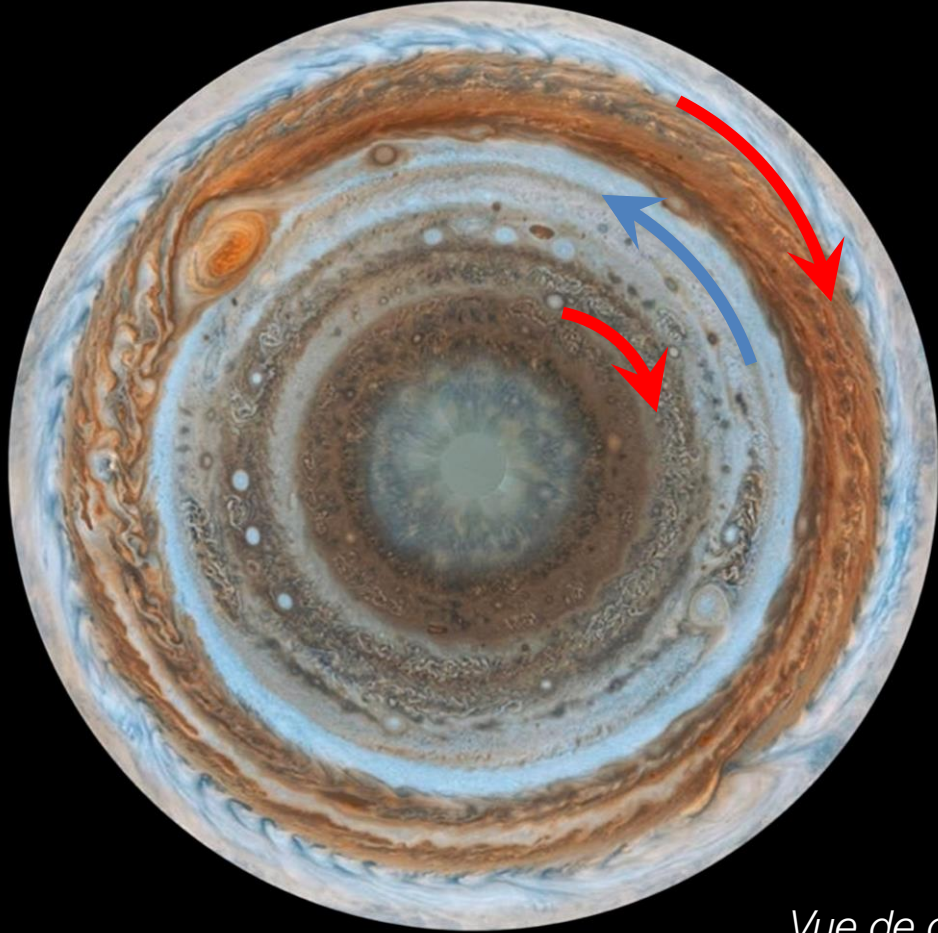
*Vue du pôle
Sud de Jupiter*



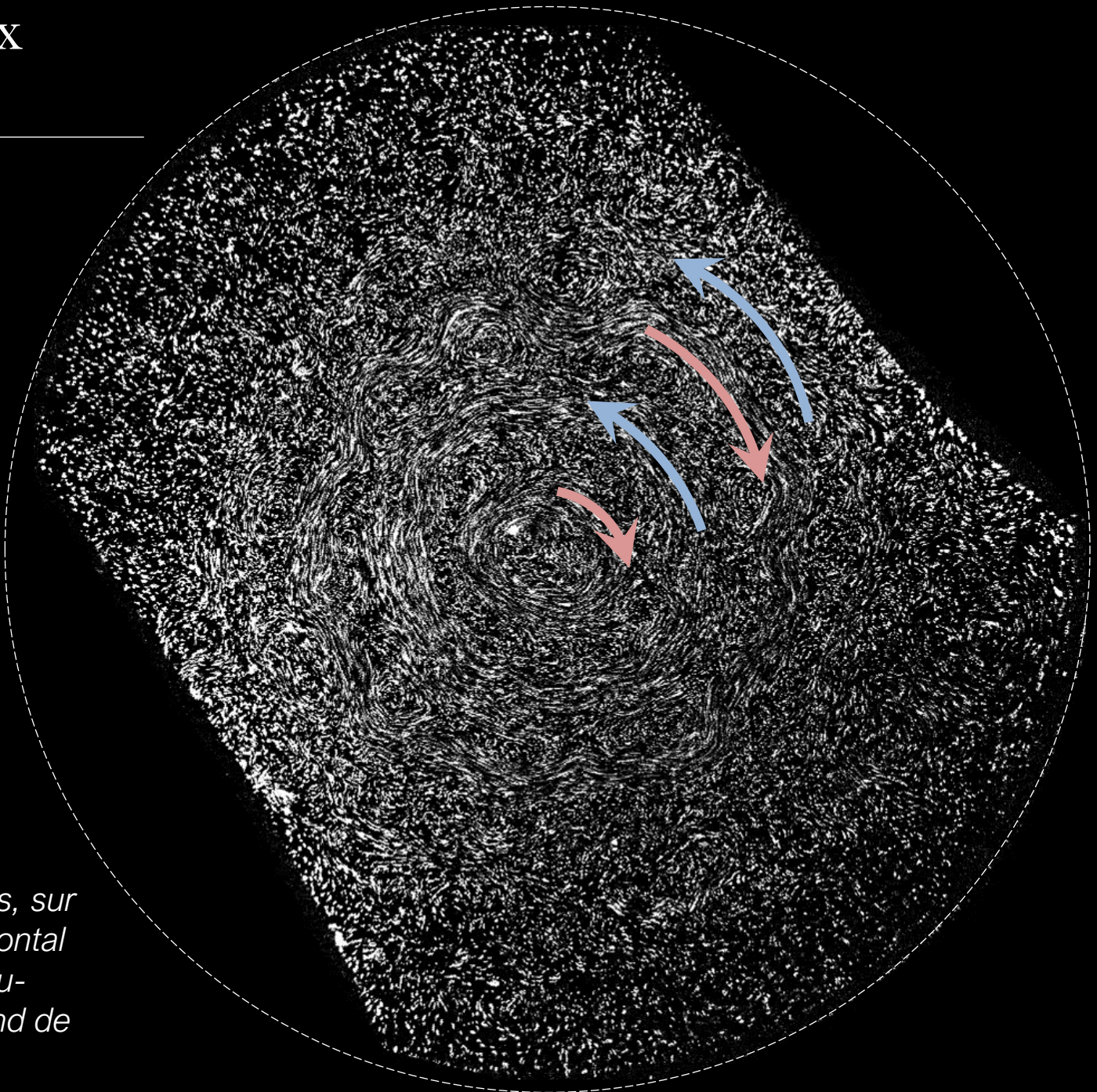
*Vue de dessus, sur
un plan horizontal
à 11 cm au-
dessus du fond de
la cuve.*

Modèle expérimental de jets zonaux

3. Observations



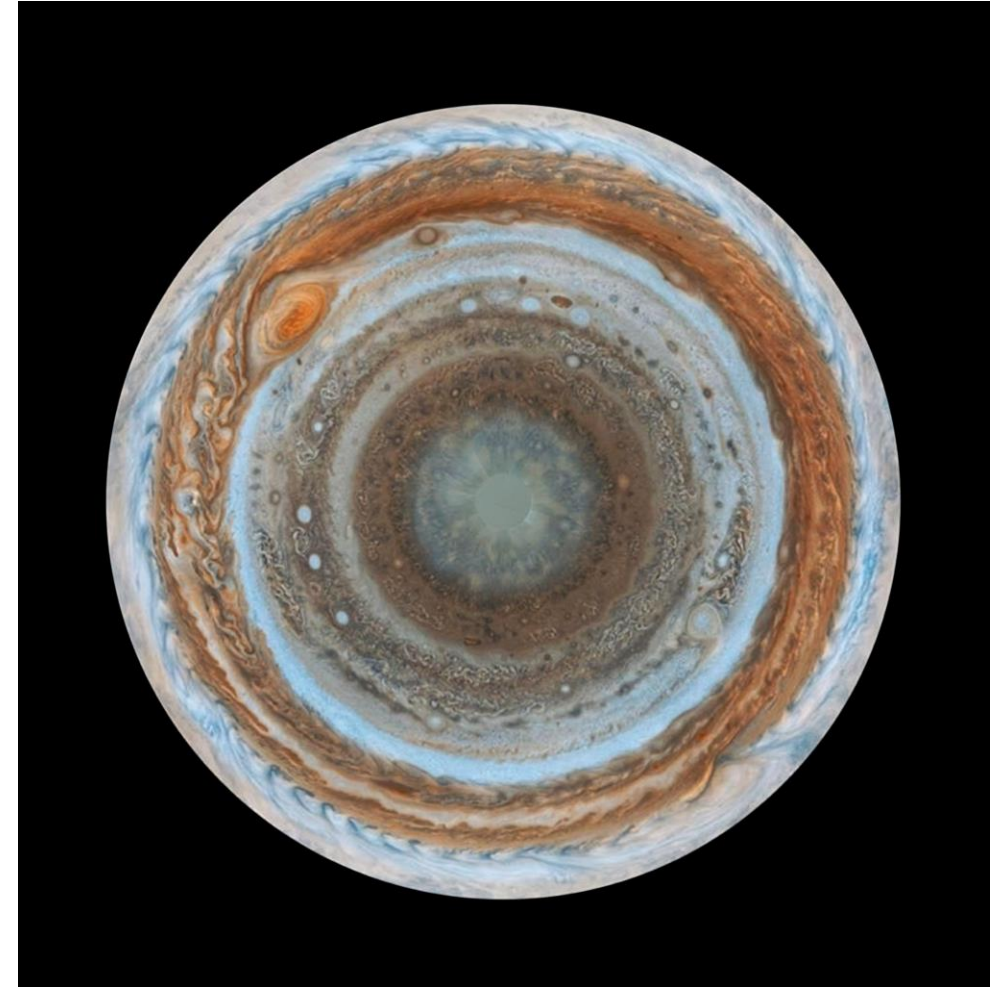
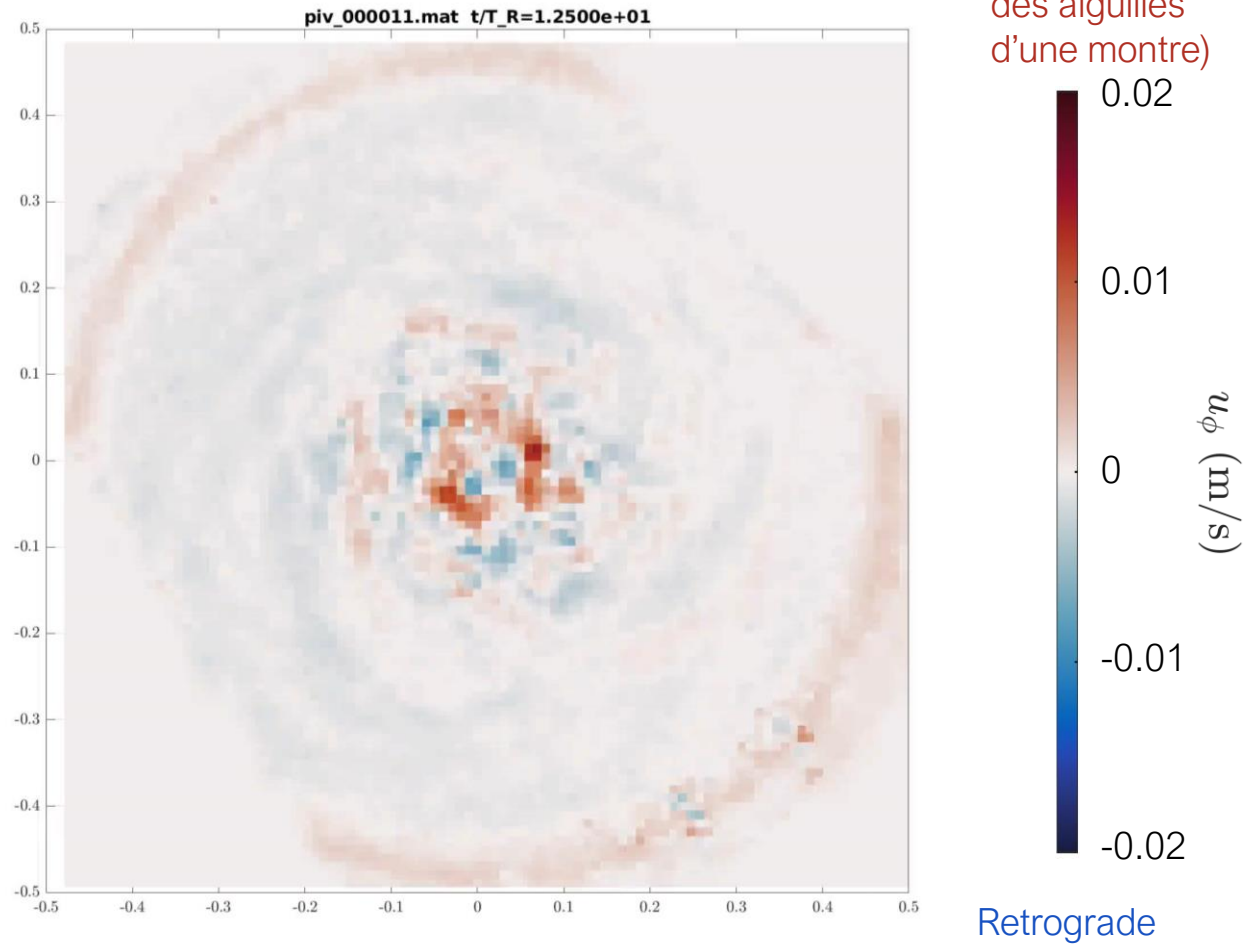
*Vue du pôle
Sud de Jupiter*



*Vue de dessus, sur
un plan horizontal
à 11 cm au-
dessus du fond de
la cuve.*

Modèle expérimental des jets zonaux

3. Observations



Composante azimuthale de la vitesse (film accéléré 100 fois)

Notion d'expérience analogue / modélisation expérimentale d'un phénomène naturel

Étapes fondamentales :

1. Identifier les **ingrédients** physiques importants / simplifier le système
 - *Fluide*
 - *Rotation*
 - *Effet beta (topographie)*
 - *Forçage (générer un écoulement turbulent)*
2. Identifier le « **régime** »: comment les effets physiques se comparent les uns aux autres
 - *Rotation dominante (jets « lent » // rotation)*
 - *Effets visqueux négligeables par rapport à l'inertie*
 - *Effets visqueux négligeables par rapport à la rotation*
 - *Effet beta dominant*
3. Monter une **expérience** avec les bons ingrédients, dans le bon régime
 - *Principe de similitude: expérience plus petite, rotation plus rapide*
 - *OK pour viscosité même si pas aussi extrême que sur Jupiter*
4. Réfléchir sur l'**extrapolation** des résultats au phénomène réel (principe de similitude, domaine de validité, limites)
 - *Première expérience dans le bon régime // à Jupiter !*
 - *Limites: taille finie, géométrie planète pas réalisable, et effets ignorés (compressibilité, effet radiatif, forçage imposé...)*

Et après... ?

