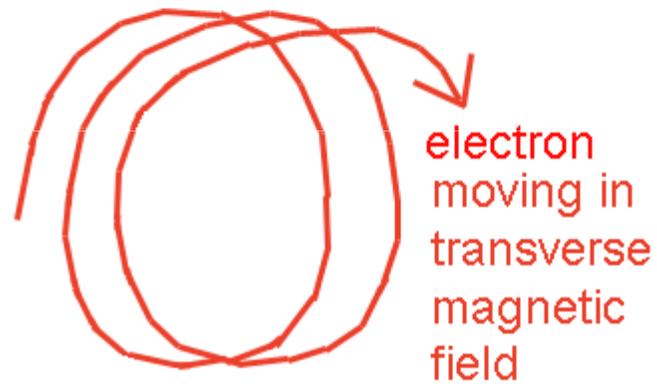


WALL CONFINEMENT TECHNIQUE by magnetic gradient inversion

J.P.Petit & J.C.Doré
FRANCE

$$\text{Gyrofrequency} = \frac{e B}{m_e}$$



electron electric charge

magnetic field

Gyrofrequency = $\frac{e B}{m_e}$

electron mass

$$\frac{e B}{m_e \nu_e}$$

electron-gas
collision frequency

Hall parameter

$$\beta = \frac{e B}{m_e \nu_e}$$

Nous pouvons alors exprimer la conductivité électrique sous la forme d'une matrice. On peut dire aussi qu'il y a deux conductivités, l'une parallèle, «directe », l'autre « transverse ».

electrical
conductivity

$$\boldsymbol{\sigma} = \sigma_s$$

scalar
conductivity

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{1 + \beta^2} & \frac{-\beta}{1 + \beta^2} \\ \frac{\beta}{1 + \beta^2} & \frac{1}{1 + \beta^2} \end{bmatrix}$$

$$\beta = \frac{e B}{m_e v_e}$$

A une pression donnée, selon la valeur du champ magnétique, déterminant celle du paramètre de Hall, on a deux situations extrêmes.

Première configuration : le paramètre de Hall est faible devant l'unité. La conductivité électrique se réduit alors à la conductivité électrique scalaire.

$\beta \ll 1$ Low Hall parameter regime


$$\sigma \approx \sigma_s$$

Seconde configuration : le paramètre de Hall est au contraire grand devant l'unité.

Nous obtenons ce qui suit

$\beta \gg 1$ High Hall parameter regime

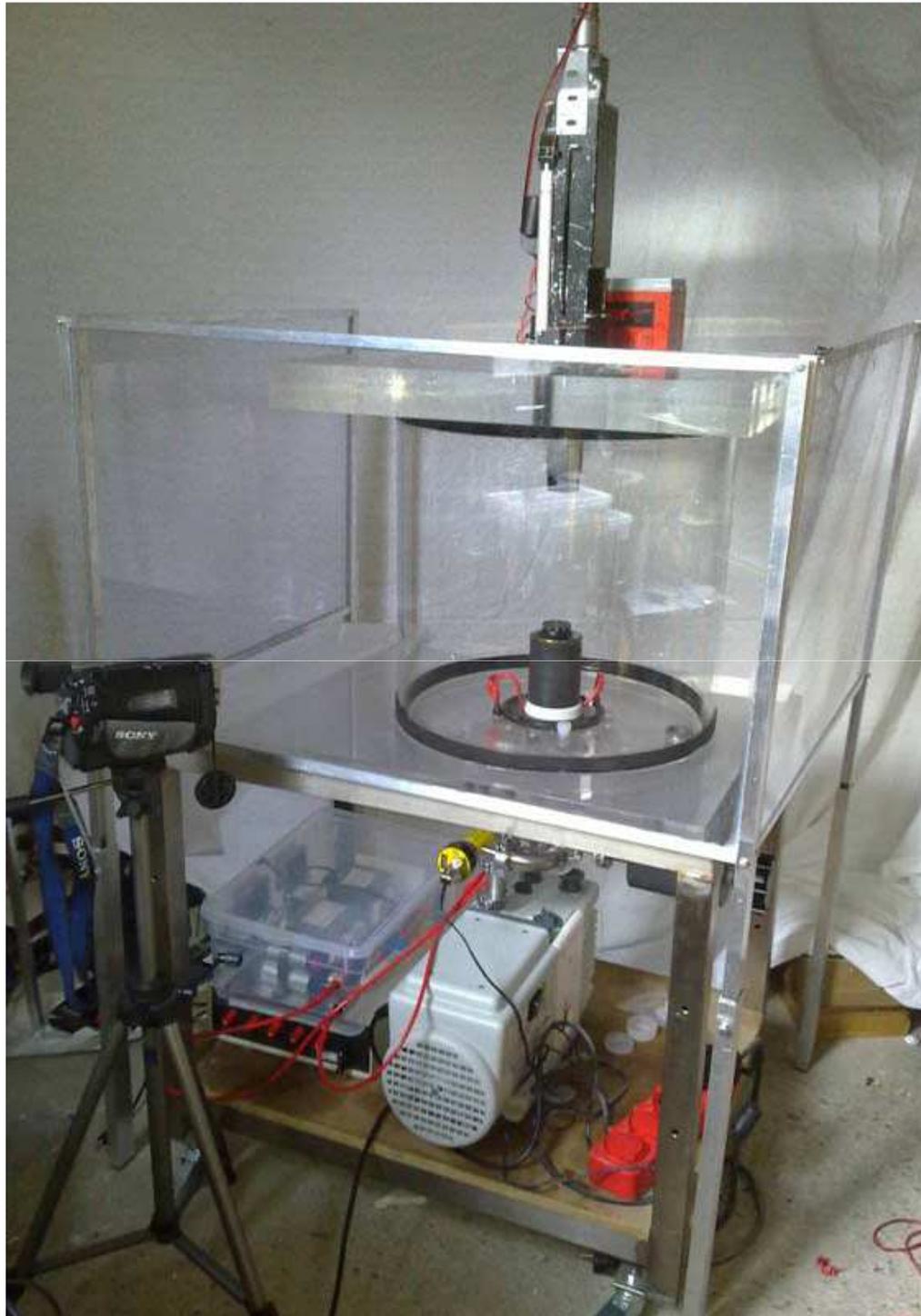
$$\sigma \approx \sigma_s \begin{bmatrix} \frac{1}{\beta^2} & \frac{-1}{\beta} \\ \frac{1}{\beta} & \frac{1}{\beta^2} \end{bmatrix}$$

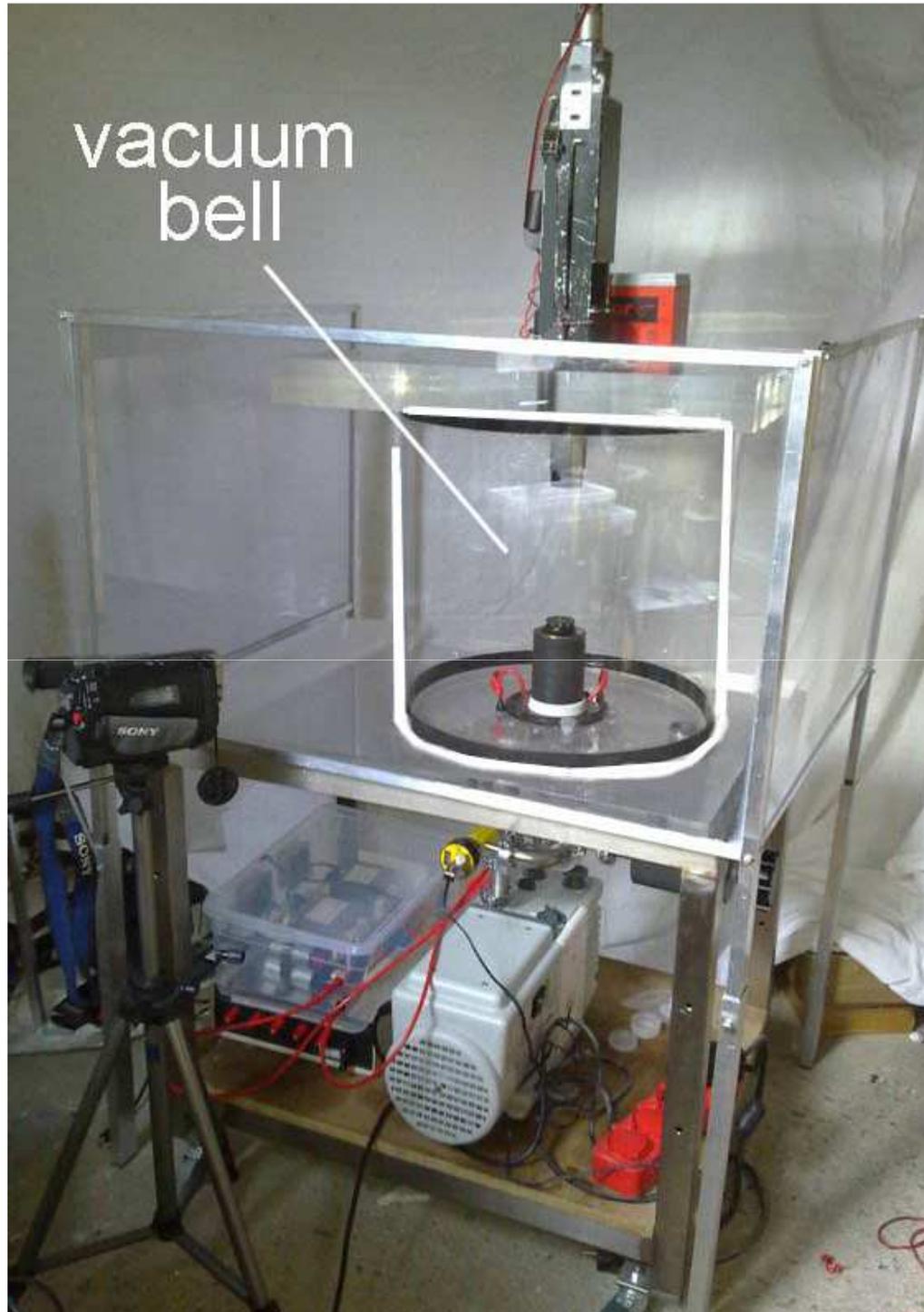
$$\sigma_{//} \approx \sigma_s \frac{1}{\beta^2}$$

$$\sigma_{\perp} \approx \sigma_s \frac{1}{\beta}$$

Si nous voulons obtenir des valeurs élevées du paramètre de Hall avec des moyens modestes (aimants permanents) nous avons une solution :

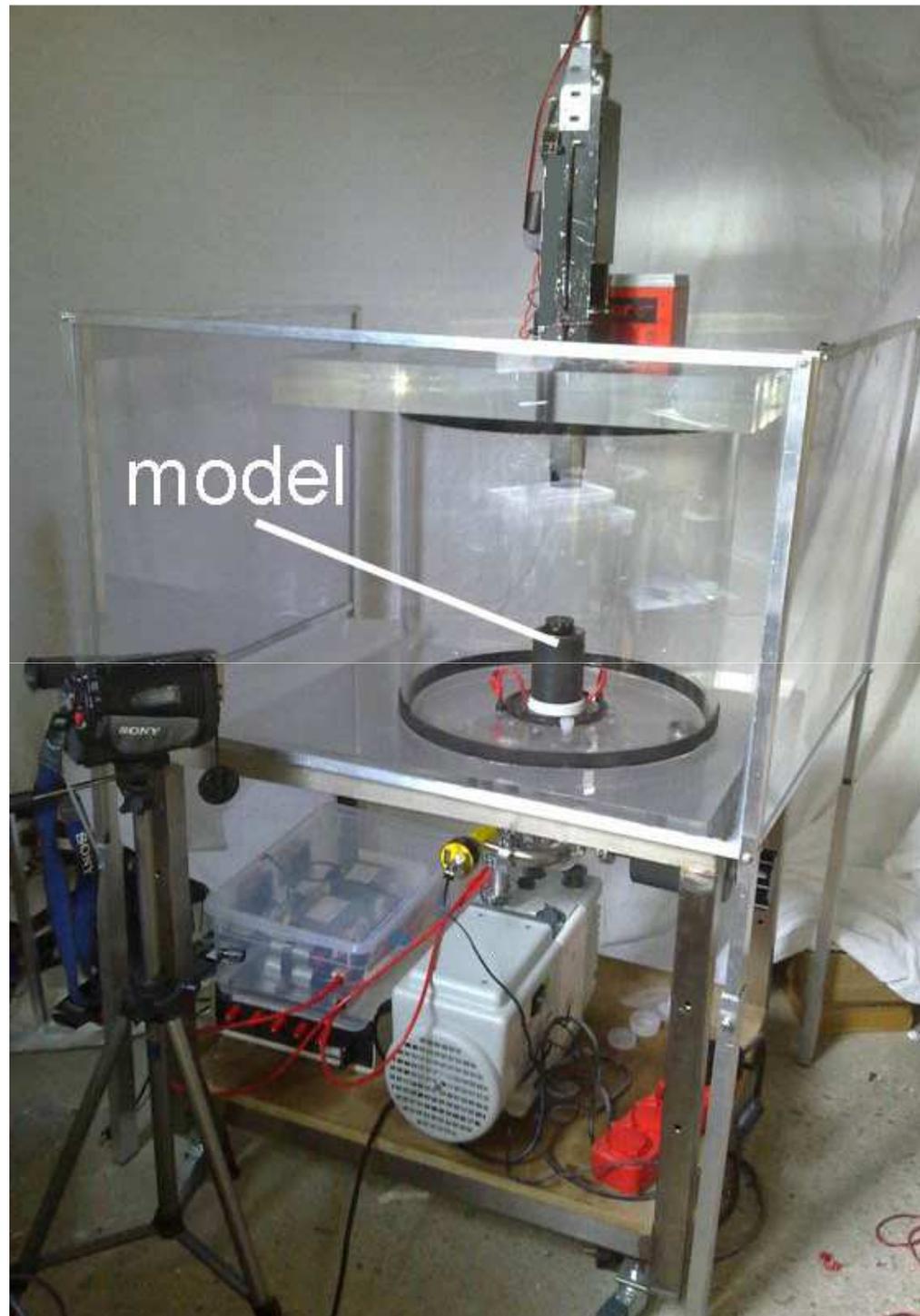
Travailler sous faible pression.
Voici notre banc d'essai.



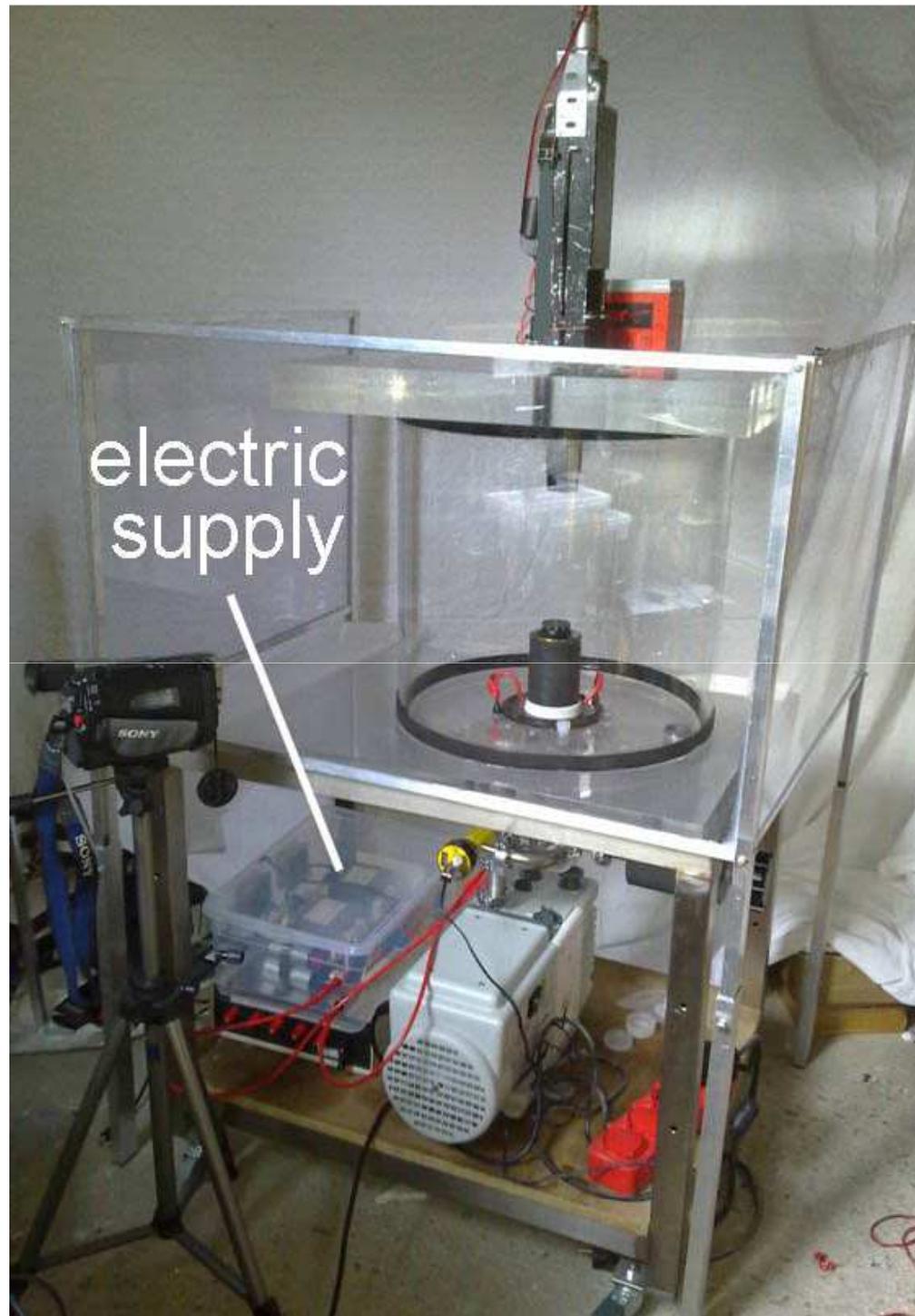


vacuum
bell

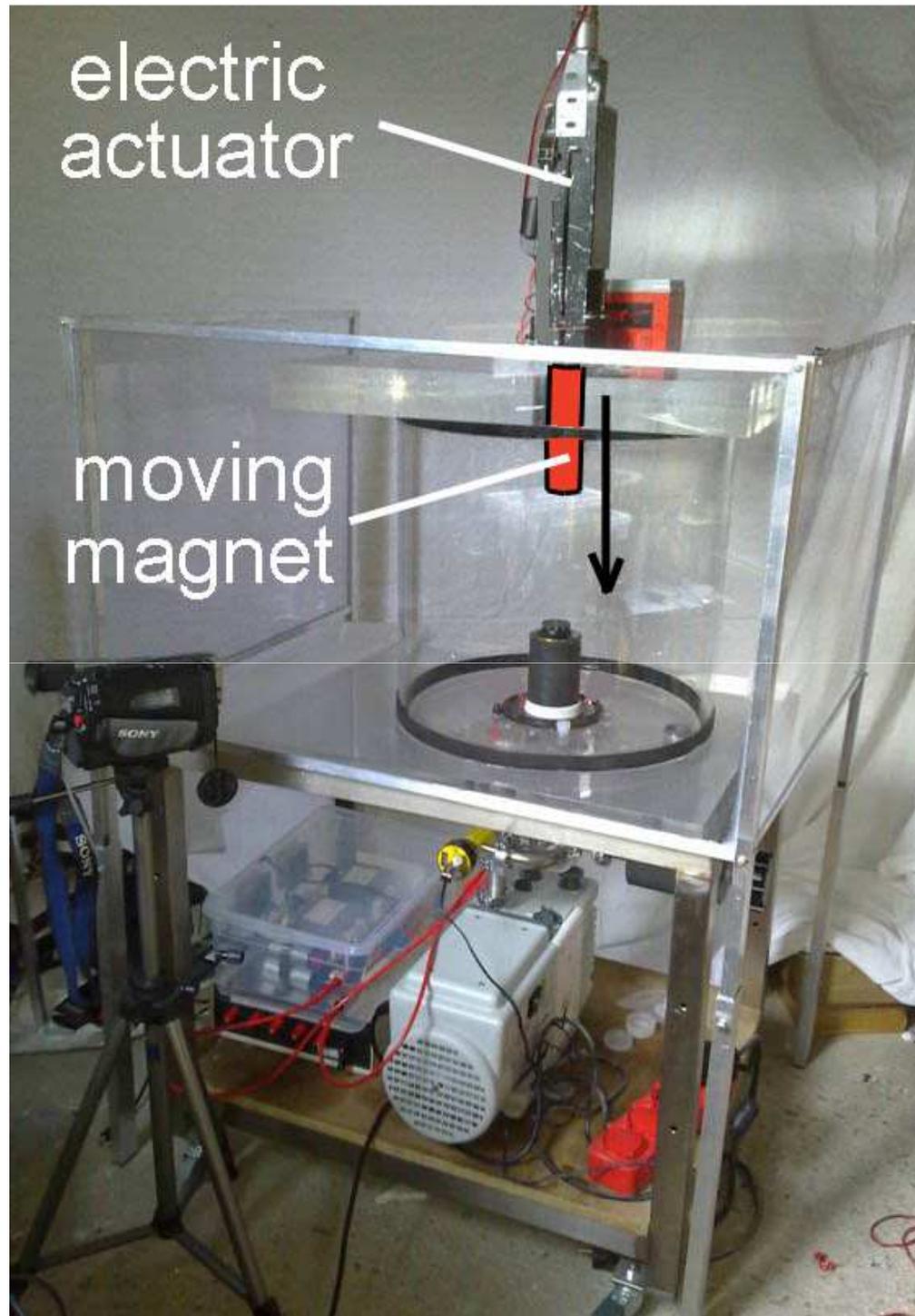


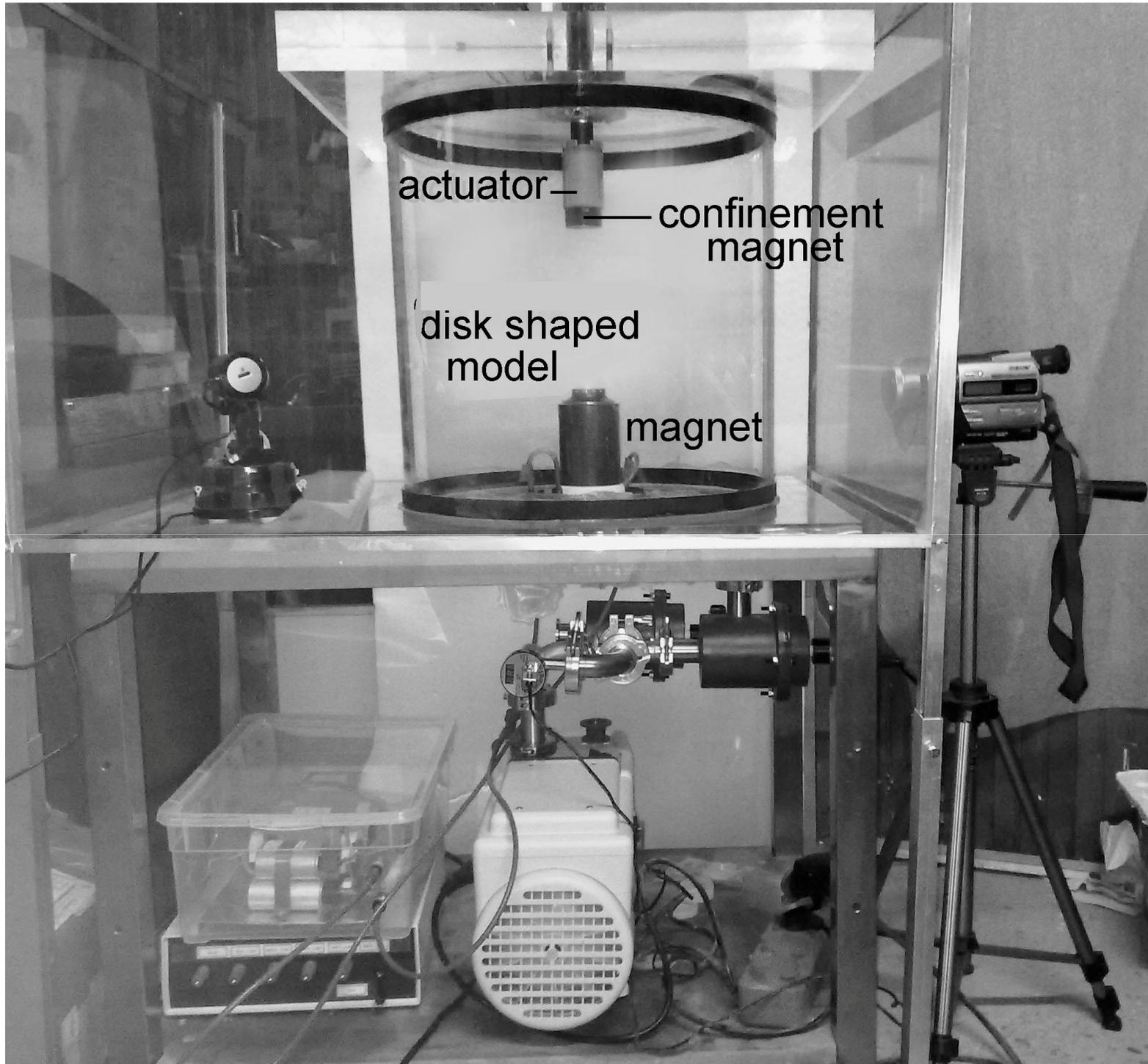


model



electric
supply





actuator—

— confinement
magnet

disk shaped
model

magnet

Ces recherches s'inscrivent dans un programme d'études de machines volantes discoïdales, agissant sur l'air ambiant à l'aide de forces de Lorentz

Ces travaux ont fait l'objet de nombreuses publications dont, plus récemment :

- Colloque de l'UAPPC de Vilnius, 2008 (3 communications)
- Colloque de l'AIAA de Brème, 2008, sur l'aérodynamique hypersonique

Vous pouvez télécharger ces communications aux adresses ci- après :

MHD hypersonic flow control for aerospace applications

http://www.mhdprospects.com/pdf/MHD_hypersonic_flow_control_for_aerospace_applications_AIAA2009

Non equilibrium plasma instabilities

http://www.mhdprospects.com/pdf/non_equilibrium_plasma_instabilities_eappc2008.pdf

Wall confinement technique by magnetic gradient inversion. Accelerators combining
induction effect and pulsed ionization. Applications.

http://www.mhdprospects.com/pdf/wall_confinement_technique_eappc2008.pdf

MHD flow-control for hypersonic flight

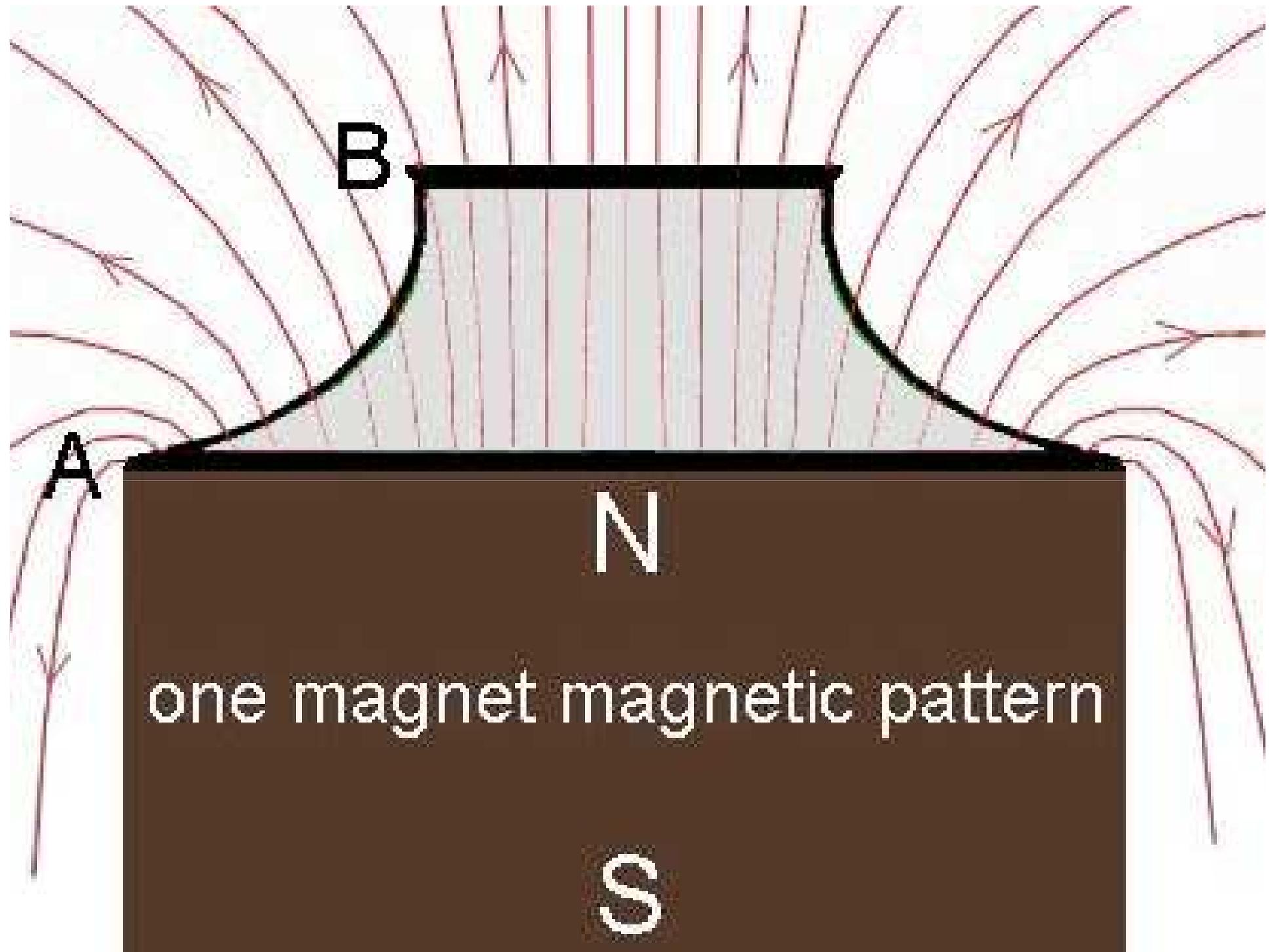
http://www.mhdprospects.com/pdf/mhd_controlled_hypersonic_flight_eappc2008.pdf

Dans ces aérodynes, le champ magnétique est produit par un système de plusieurs solénoïdes, que nous remplacerons par des aimants permanent.

Dans le montage ci-après nous voulons faire circuler un courant de A à B, au voisinage de la paroi de cet engin disc-shaped. Mais l'inhomogénéité du champ magnétique va immédiatement créer un problème.

La décharge va s'établir de manière à minimiser la résistance électrique du plasma. Et pour ce faire elle aura tendance à migrer vers les régions où la conductivité électrique est la plus grande.

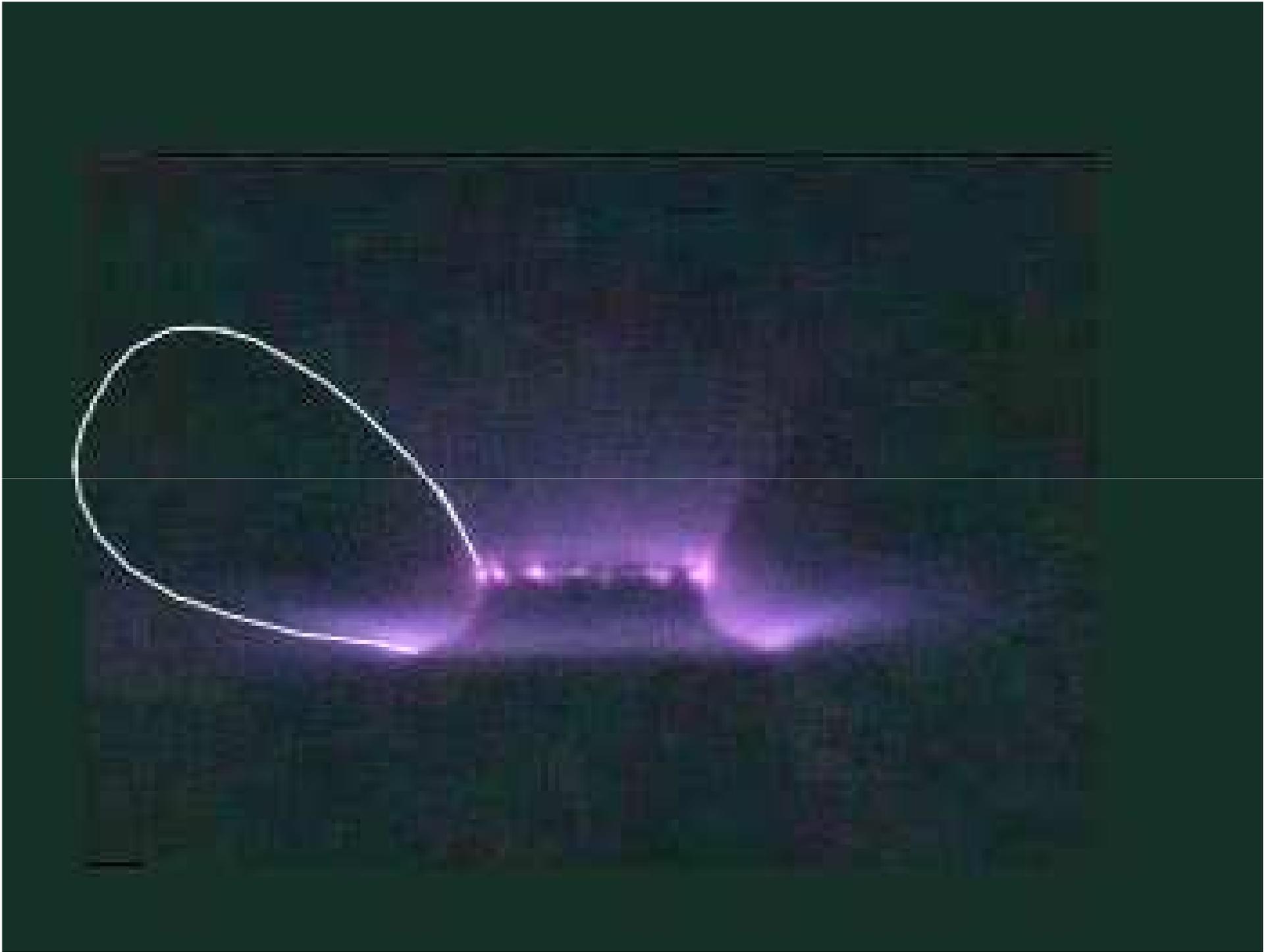
Donc, en régime de paramètre de Hall fort, là où le champ magnétique est plus faible.



Donc, loin de la paroi.

Et nous obtenons ceci :





Pour obtenir une décharge axisymétrique on a recours à une électrode supérieure segmentée

glow discharge

segmented electrodes

magnet



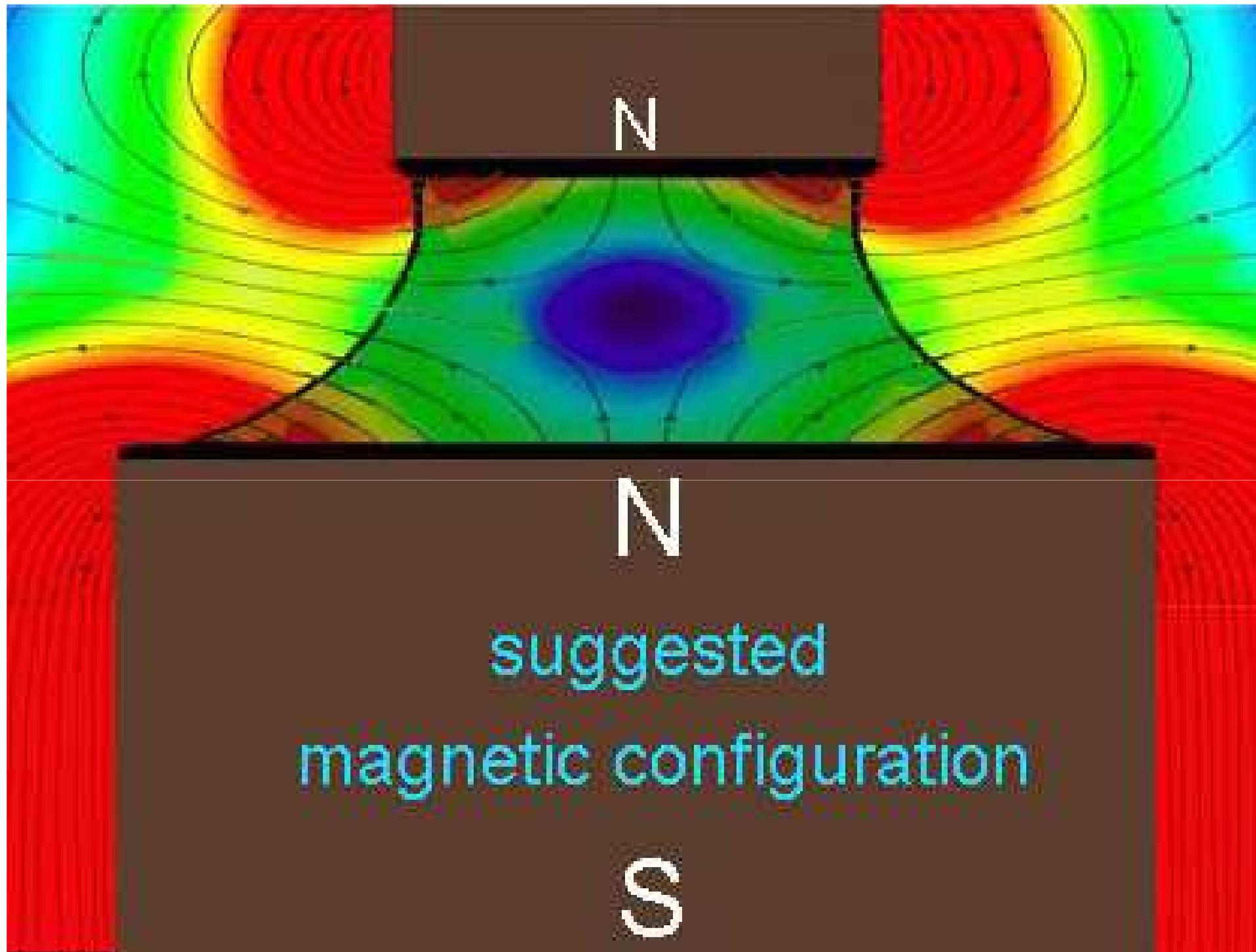
Comment réussir à plaquer la
décharge contre la paroi ?

Nous allons faire en sorte que le champ magnétique soit minimal au voisinage de cette paroi.

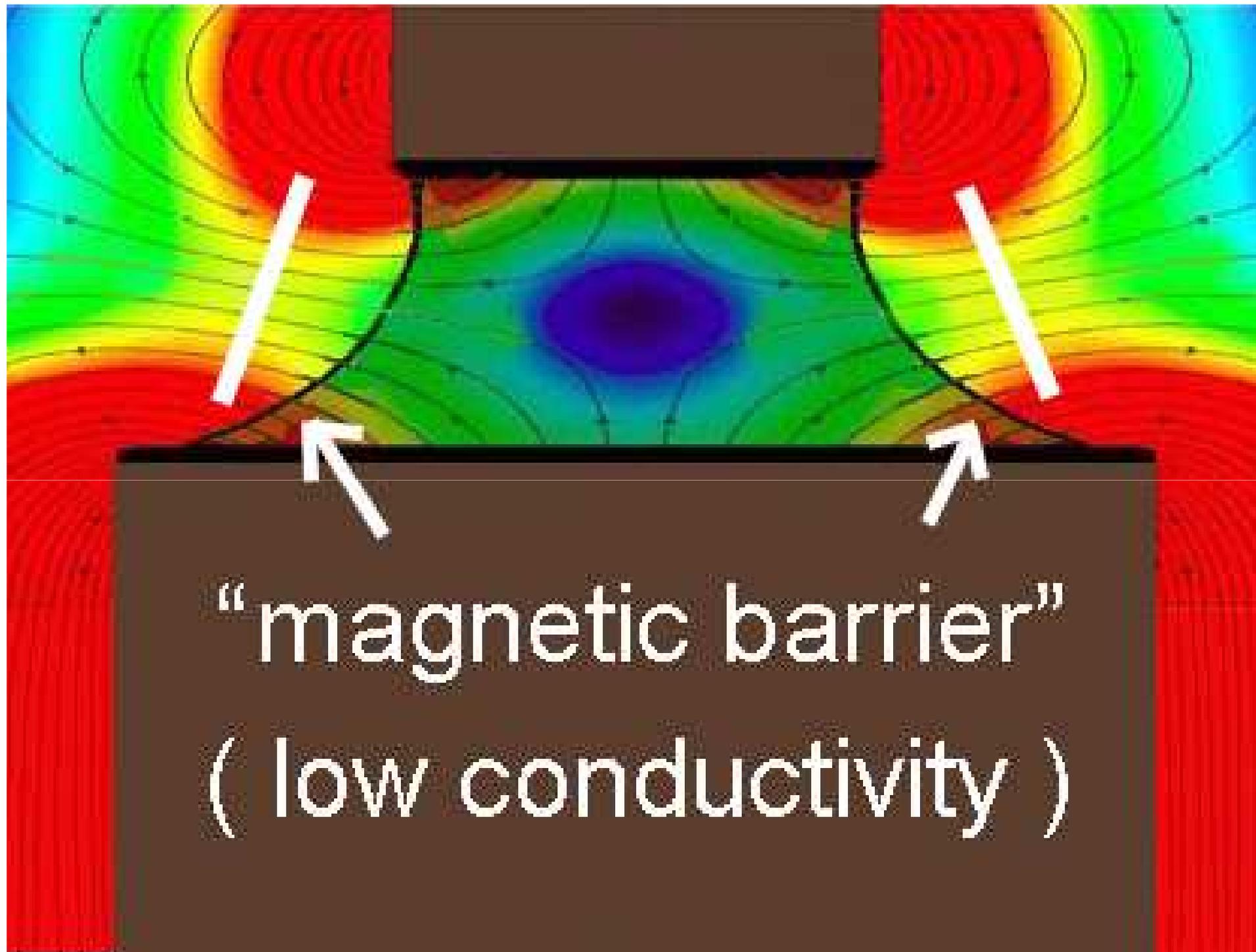
Donc qu'elle se présente, en régime d'effet Hall élevé, comme une région de conductivité électrique plus élevée qu'à distance

Avec des solénoïdes, nous aurions
recours à un « solénoïde de
confinement », que nous
remplacerons ici par un second
aimant permanent

Voici le champ magnétique obtenu
avec ces deux aimants, de polarités
opposées.

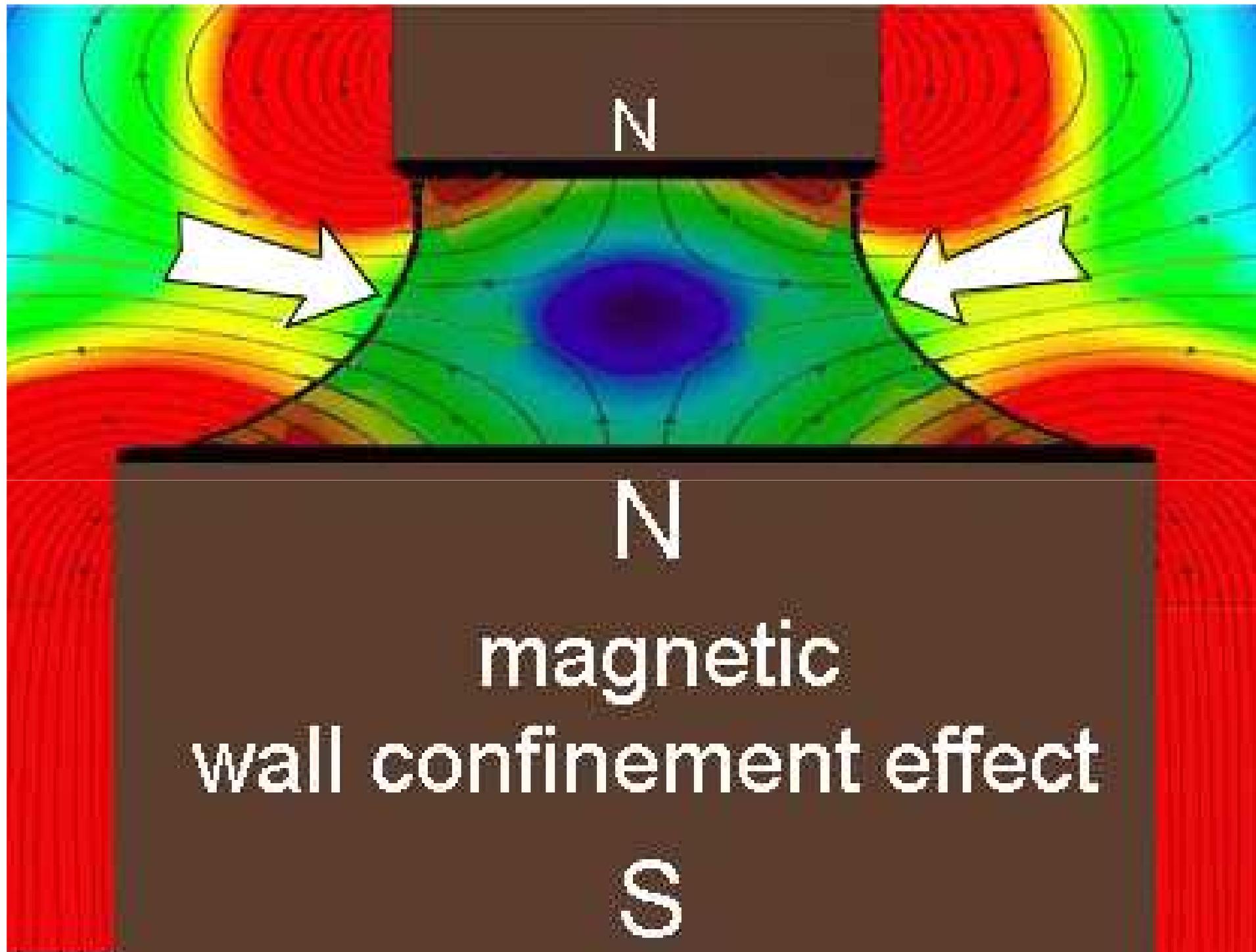


Le champ est maximal sur un tronc
de cône (blanc), se comportant
comme une barrière magnétique,
une zone de plus faible
conductivité électrique

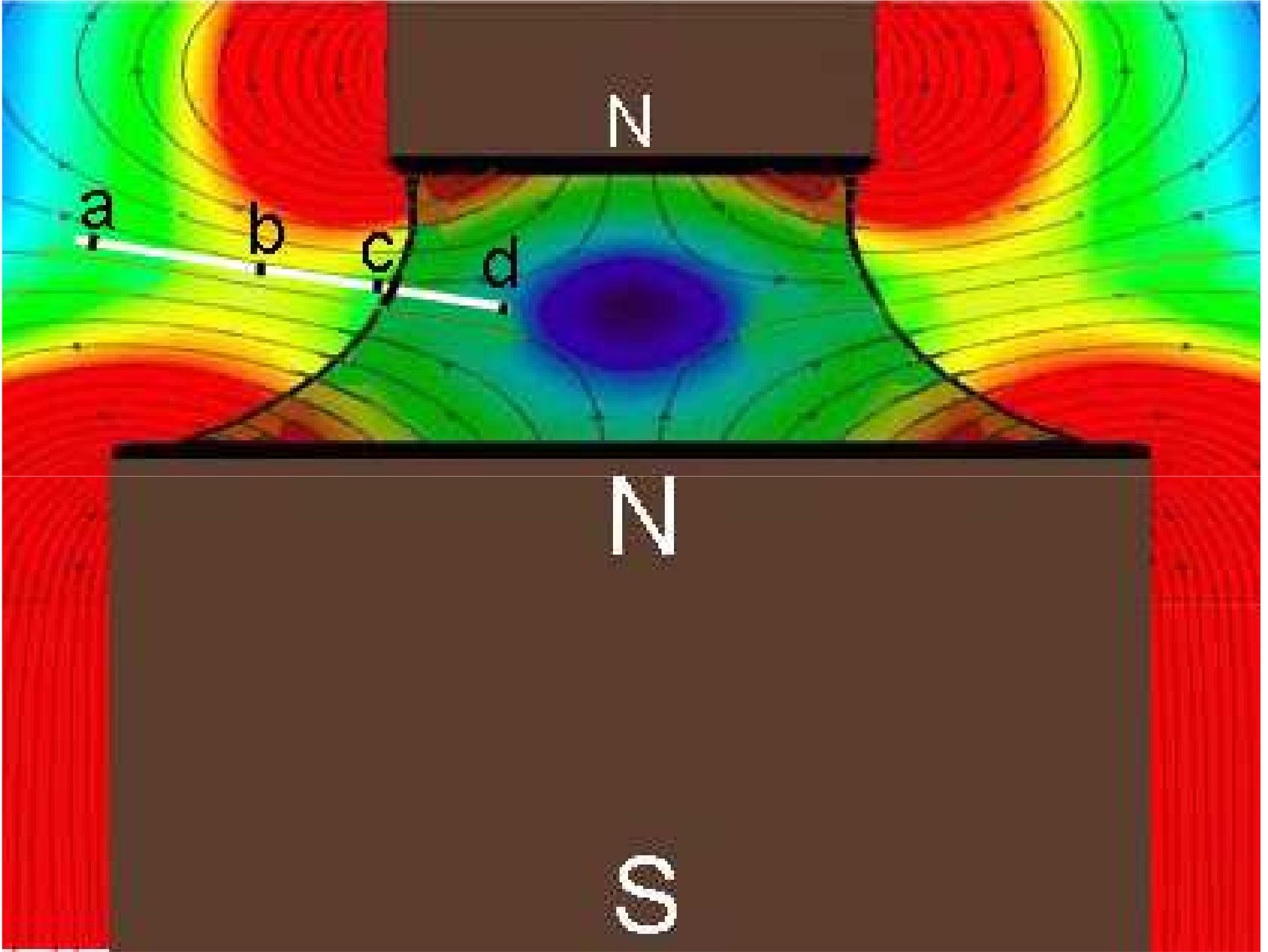


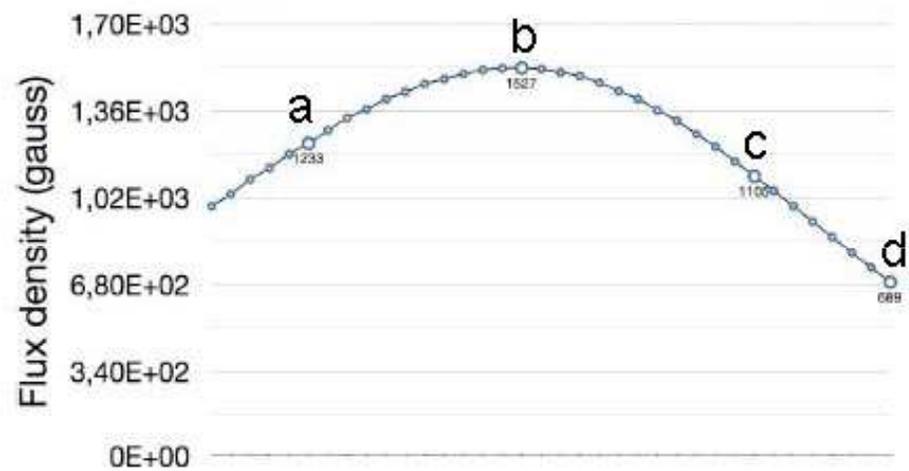
“magnetic barrier”
(low conductivity)

Ce qui tendra à plaquer la
décharge contre la paroi.

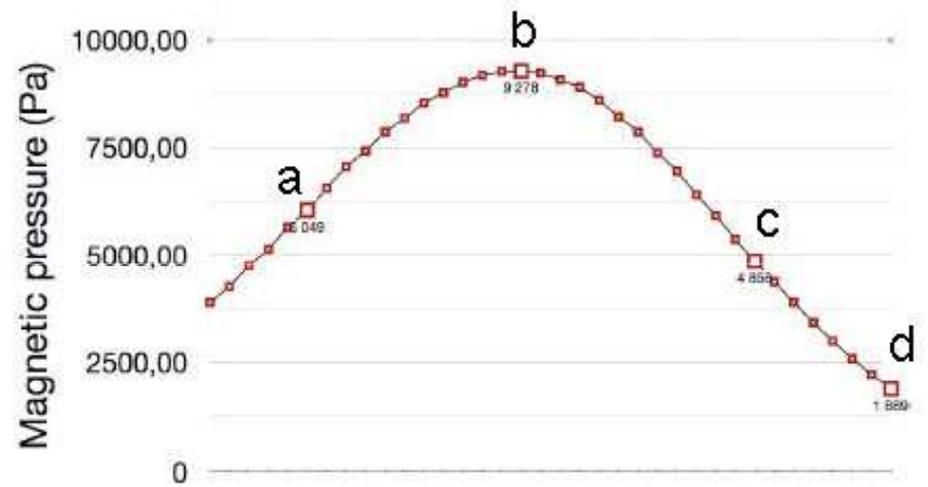


Calculons la valeur du champ B en
quelques points





FLUX DENSITY MAGNITUDE

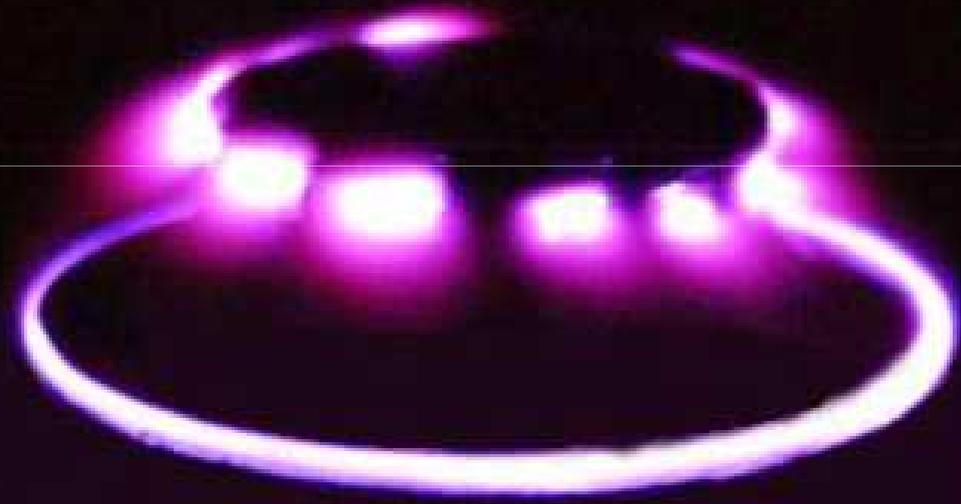


MAGNETIC PRESSURE MAGNITUDE

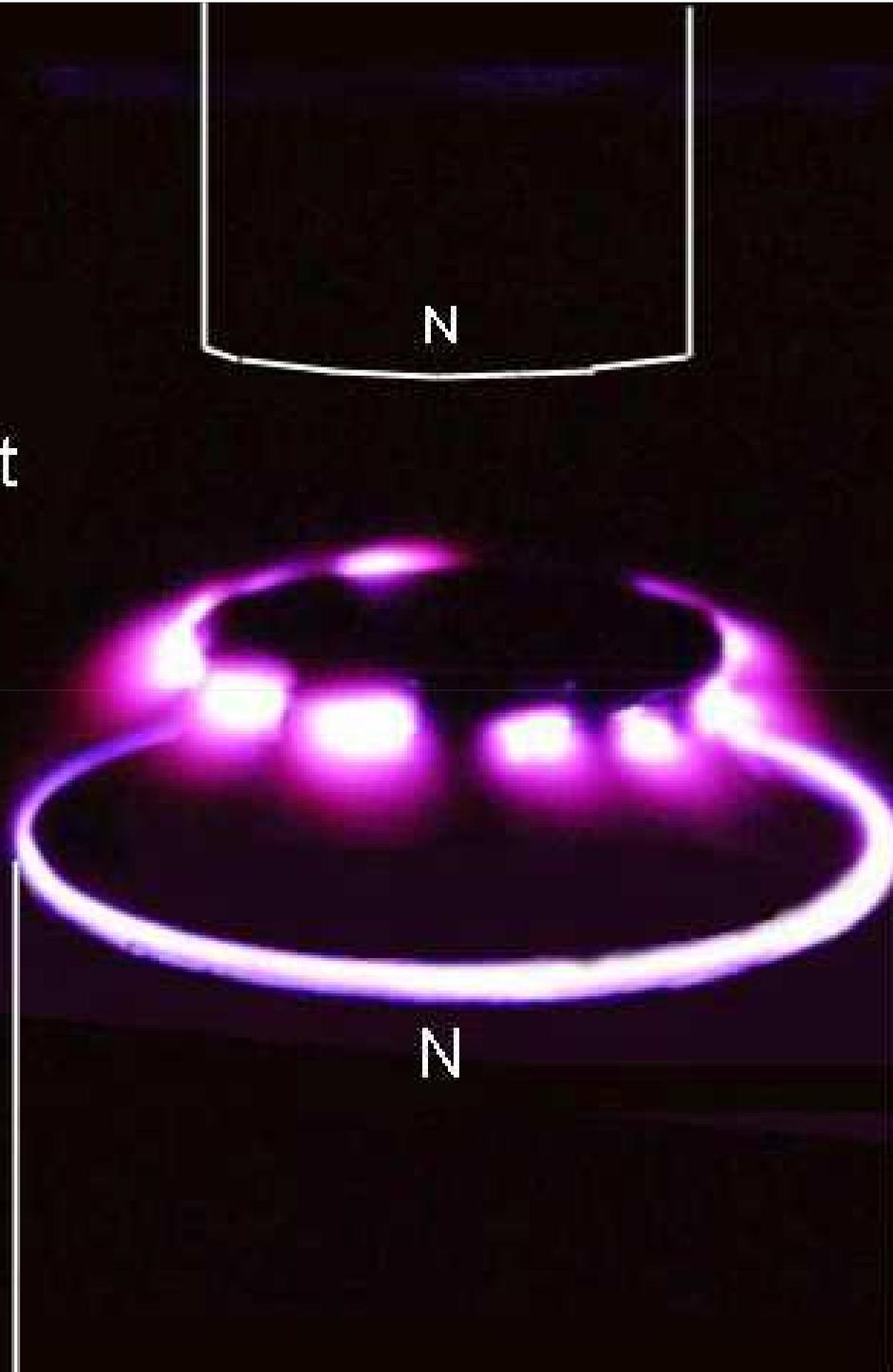
Ce champ est bien minimal en c, à la paroi, et croit jusqu'à son maximum en b, au delà de celle-ci. La conductivité électrique est donc maximale à la paroi, chemin que la décharge aura tendance à suivre.

Dans notre expérience nous
pouvons descendre
progressivement l'aimant de
confinement.

Ci-après, une situation
intermédiaire où la décharge
commence à se rapprocher de la
paroi



the top magnet
descent starts
the confining
process

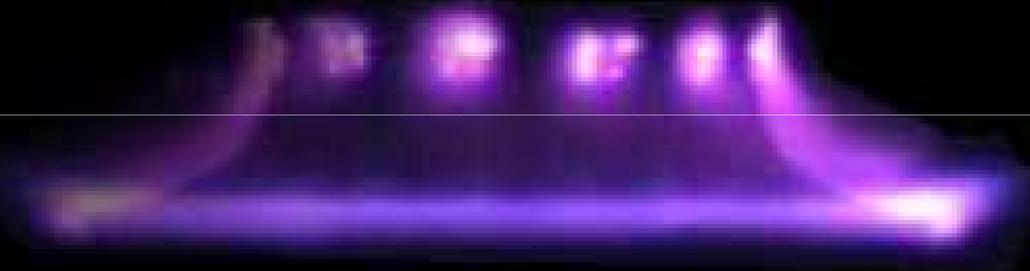


Maintenant nous descendons
complètement l'aimant de
confinement et nous obtenons le
résultat souhaité

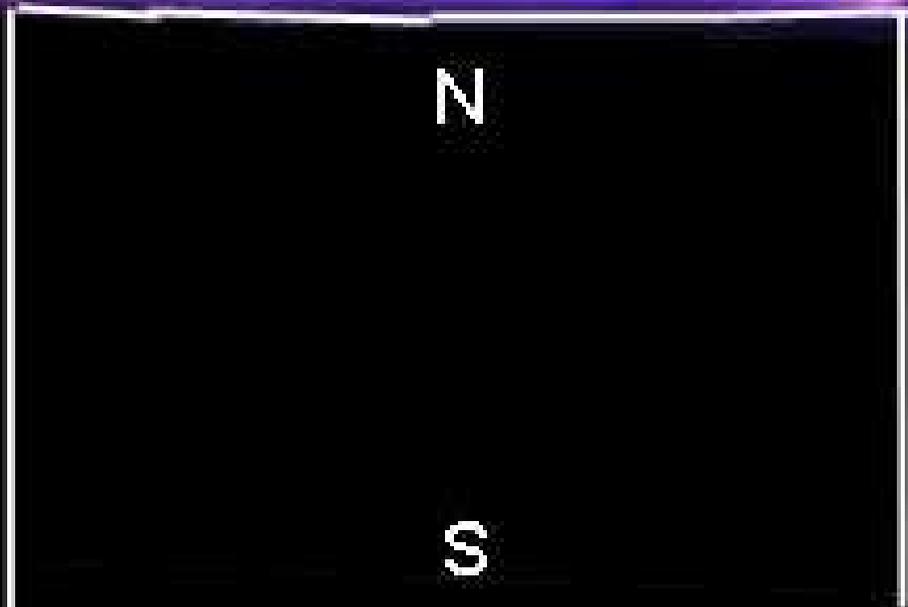
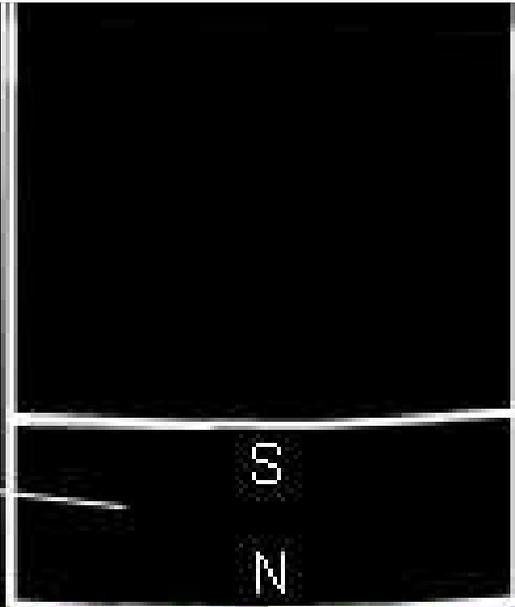


fully confined glow discharge

Vue de profil :



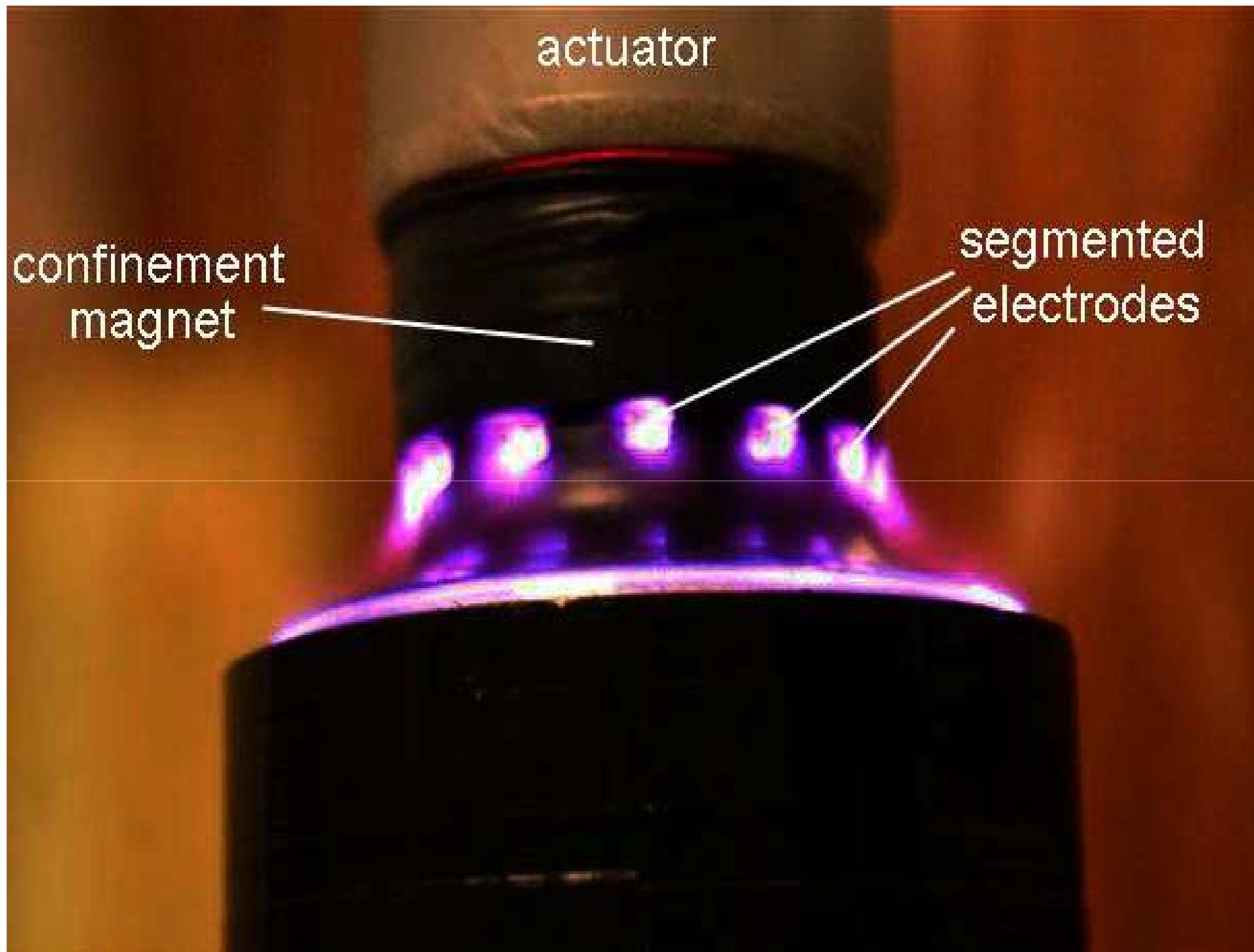
confinement
magnet



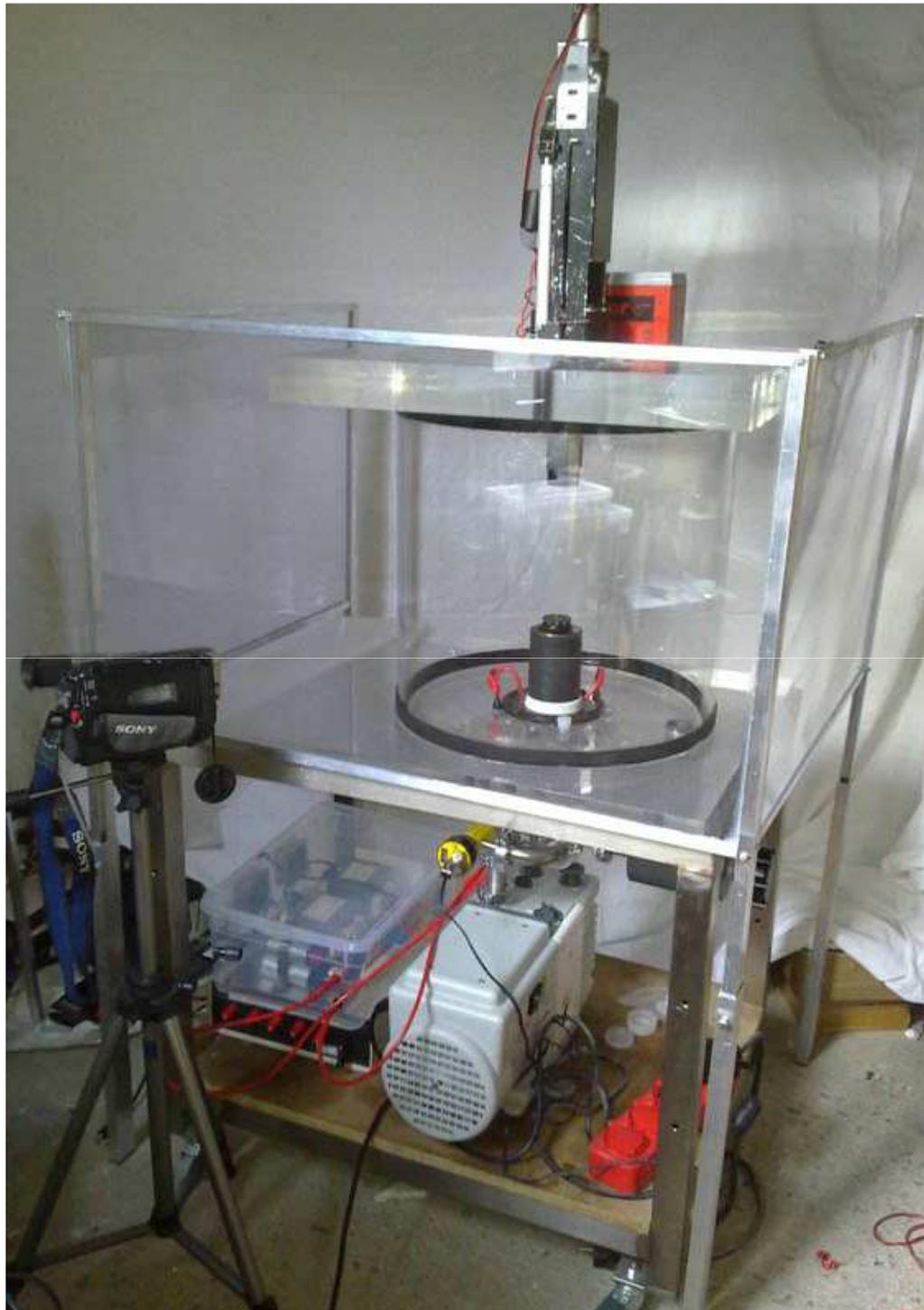
actuator

confinement
magnet

segmented
electrodes



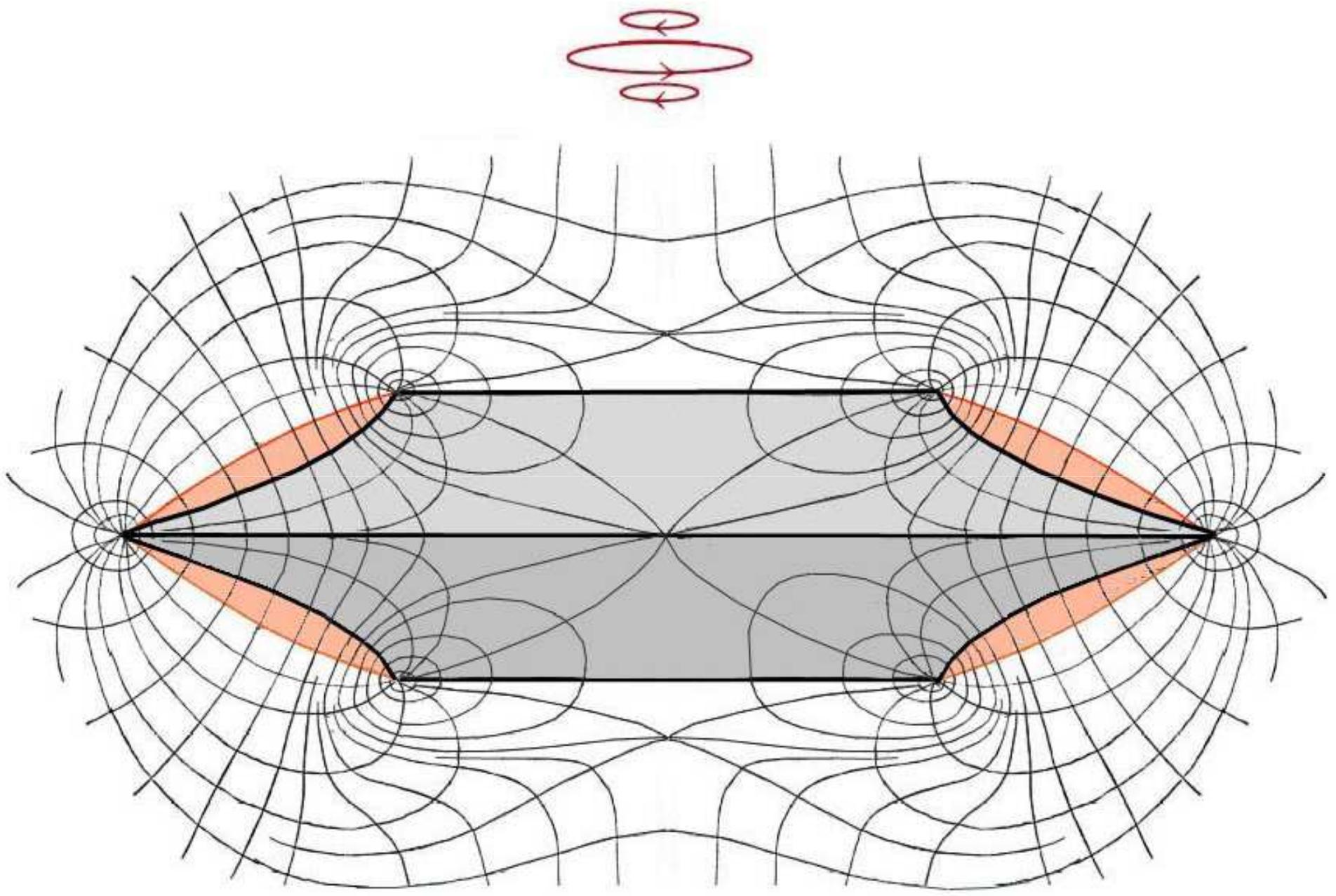
Revoyant l'allure de notre banc
d'essai, nous apercevons à sa
partie supérieure l'actuator qui
permet d'assurer la descente de
l'aimant de confinement



Nous référant aux communication
de Vilnius (2008) et de Brème
(2009), l'aérodynne MHD à
induction a la force de deux
saucers appliquées l'une contre
l'autre

Le champ magnétique (alternatif)
est produit par un système
comportant trois solénoïdes. Un
solénoïde principal, équatorial, et
deux solénoïdes de confinement,
plus petits

La variation du champ B produit un champ induit qui va créer un plasma, lequel se localisera dans les régoins teintes en rose



Orange : confinement regions

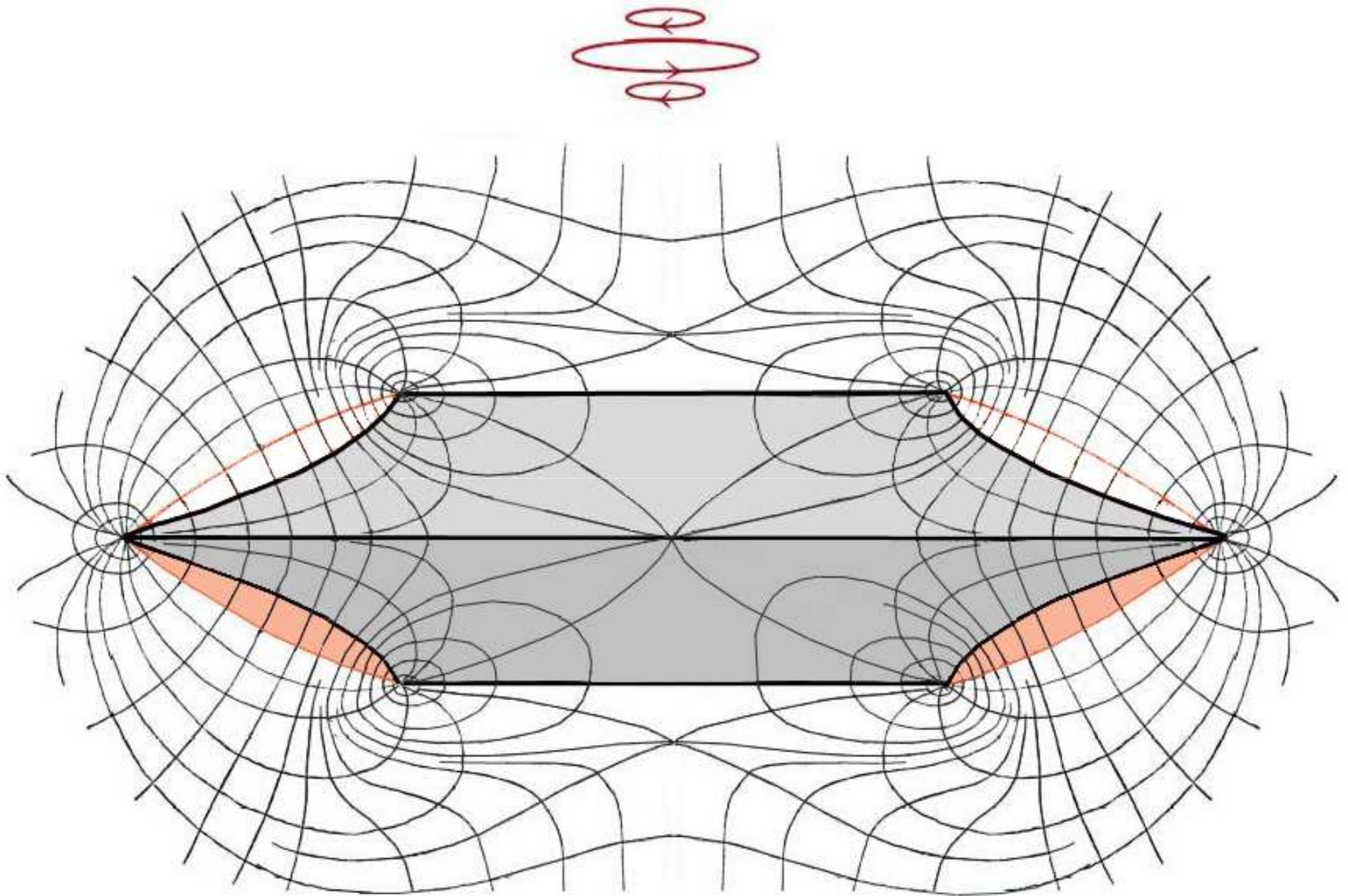
Comme expliqué dans les publications citées, la combinaison instantanées $J \times B$ du courant induit et du champ magnétique inducteur produit des forces radiales

Alternativement centrifuges et
centripètes

Si on ne fait rien, on ne fera que
« secouer le gaz radialement ».

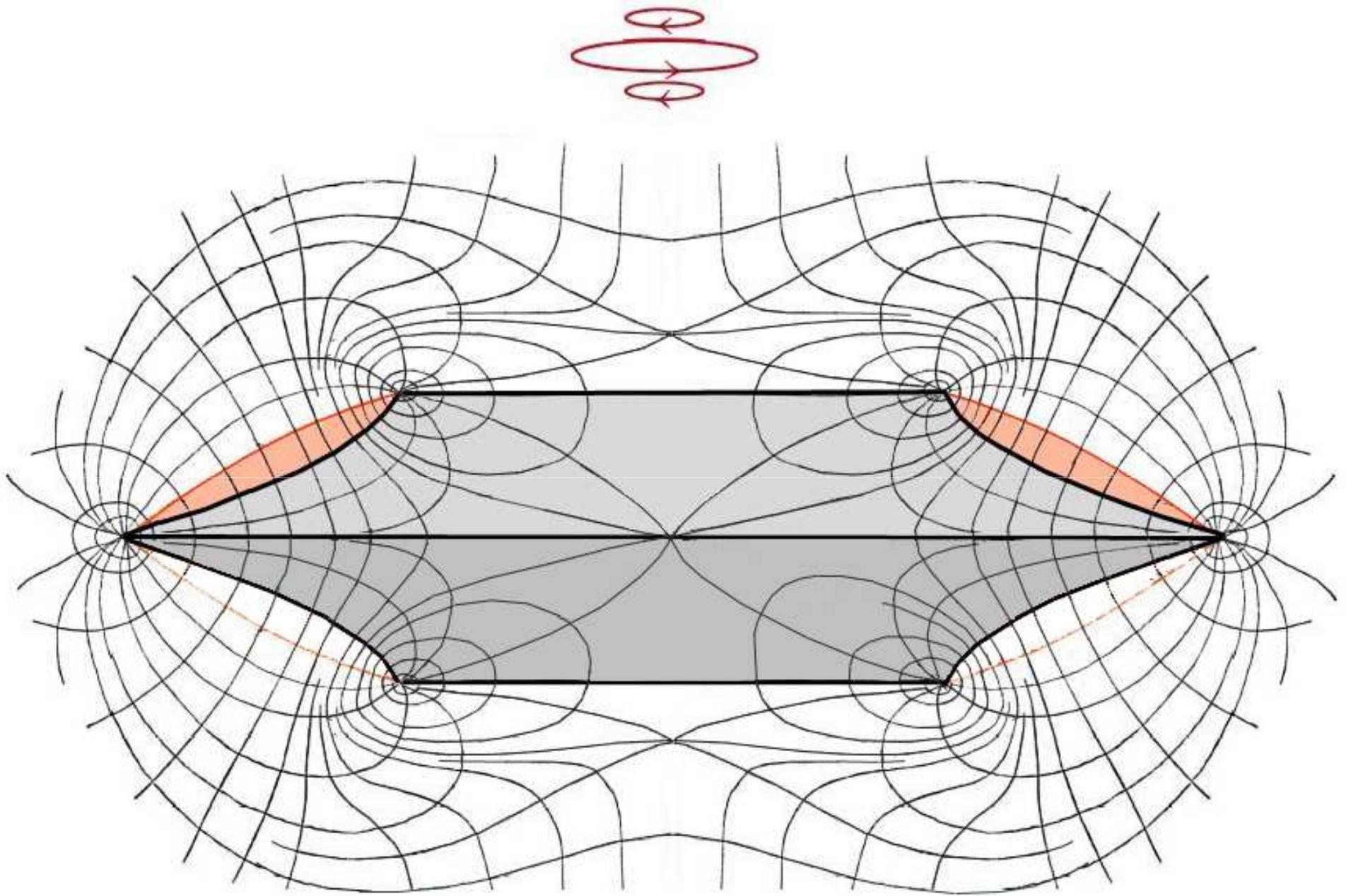
Mais on peut moduler la
conductivité en introduisant un
système d'ionisateurs pariétaux.

Quand le champ électromoteur sera centripète, on ionisera à la partie inférieure :



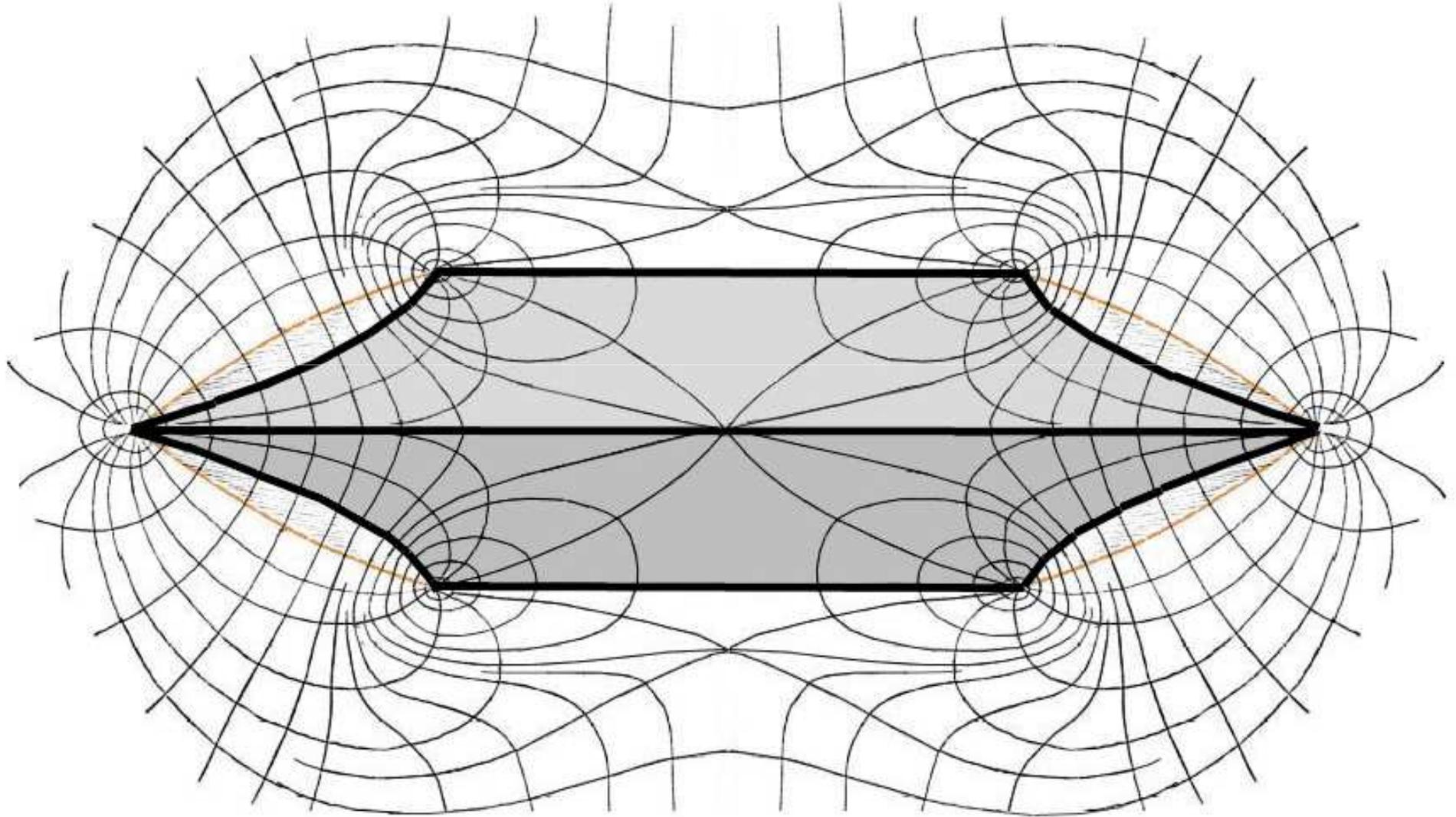
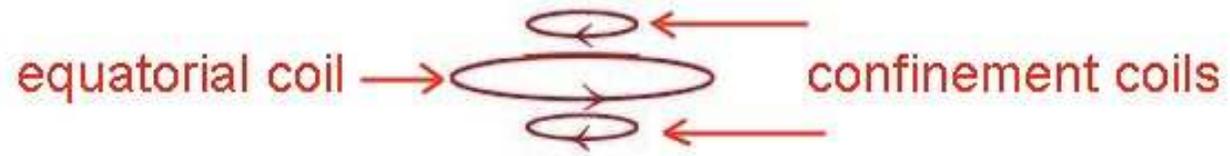
ionization controlled by wall emitters, synchronized with B field

Quand il sera centrifuge on
ionisera à la partie supérieure :



ionization controlled by wall emitters, synchronized with B field

Ces forces de Lorentz sont si intenses qu'elles contraignent le gaz à suivre un chemin qui semblerait totalement absurde dans une aérodynamique conventionnelle, « passive »



disk shaped induction MHD aerodyne: magnetic pattern

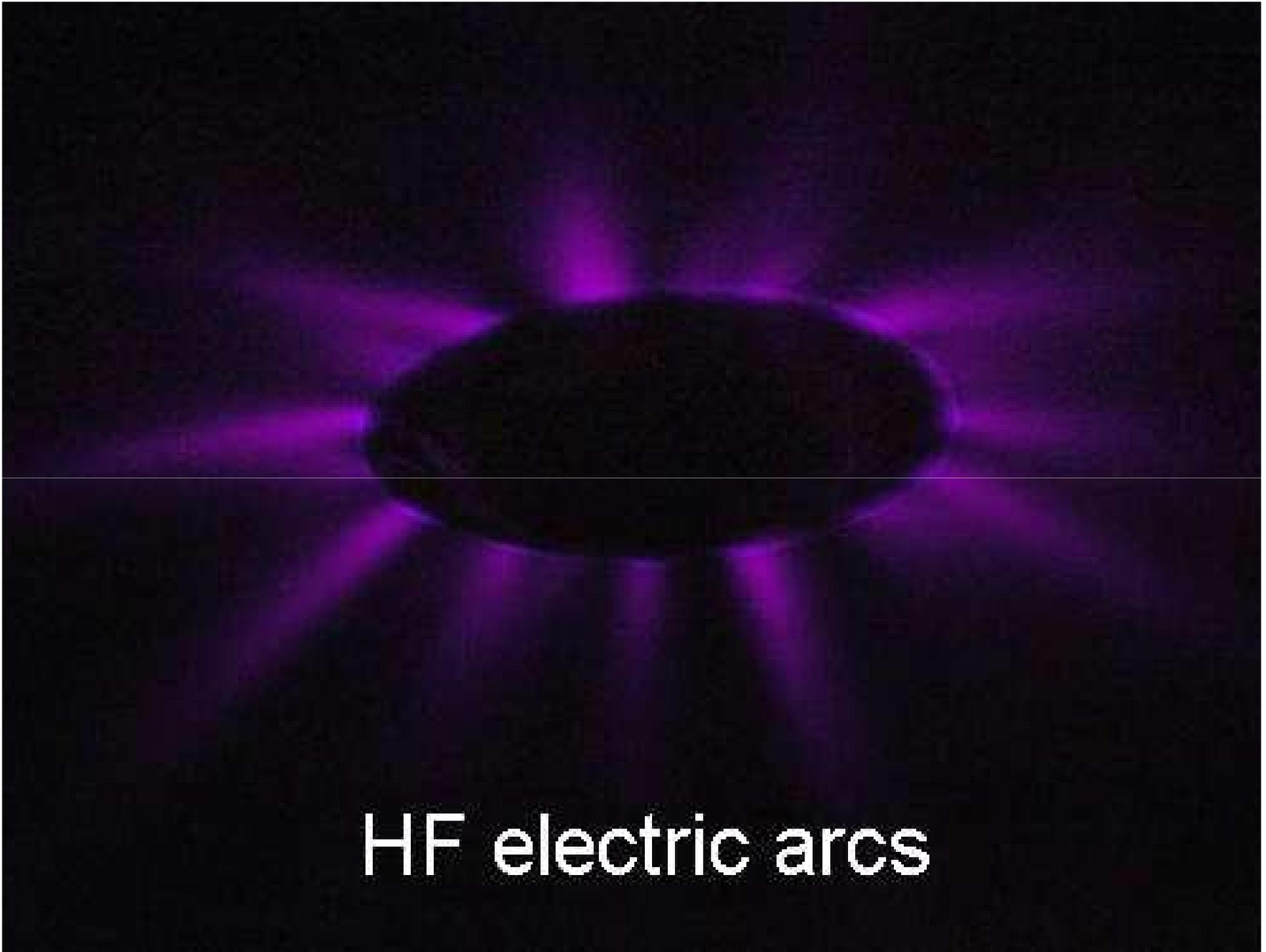
Nous étudions actuellement
différents systèmes de contrôle
d'ionisation à la paroi.

Voici un système utilisant de la HF



HF ionization

Et voici ce qui se passe quand ce champ est trop intense. On obtient des arcs HF :

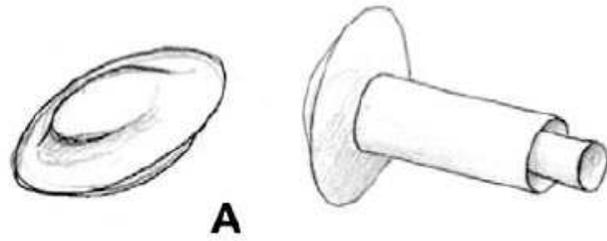


HF electric arcs

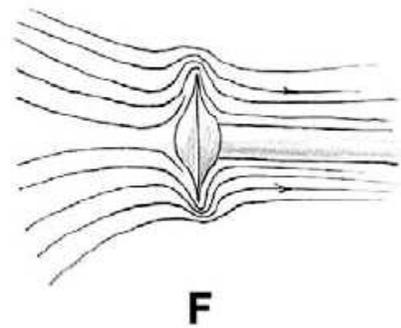
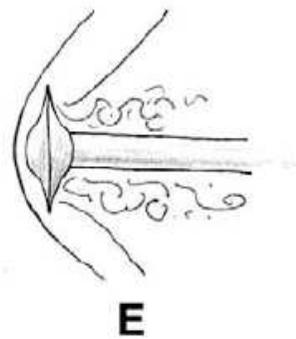
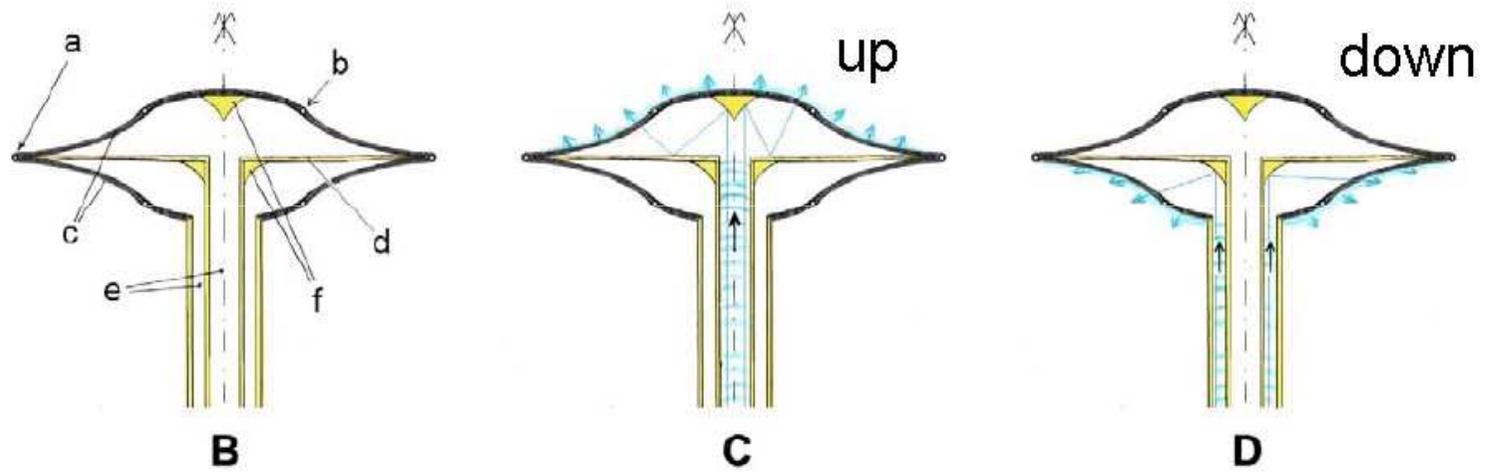
Ci-après un autre système utilisant deux canaux coaxiaux amenant des micro-ondes. Celles-ci sont réfléchies à l'aide de miroirs et créent une ionisation immédiatement au voisinage des parois.

BREMEM 2009

controlled pulsed ionization



two coaxial waveguides



Nous avons donc un programme de recherche bien défini. Avec un entrainement du gaz suffisamment intense les calculs montrent que ces engins doivent pouvoir se mouvoir à vitesse supersonique, ou même hypersonique, selon leur axe

Sans créer d'ondes de choc

Ni de turbulence

Donc silencieusement

On a déjà montré
expérimentalement qu'on pouvait
annihiler la turbulence à l'aide d'un
Lorentz force field

Voici notre programme de
recherche

RESEARCH PROGRAM

wall confinement Done

controlled wall ionization

synchronization with variable B-field

visualize the induced flow in low pressure chamber

Experimentation in low pressure hypersonic wind tunnel (short duration flow)

show the shock waves and turbulent wake cancellation

La suite au prochain congrès de
MHD