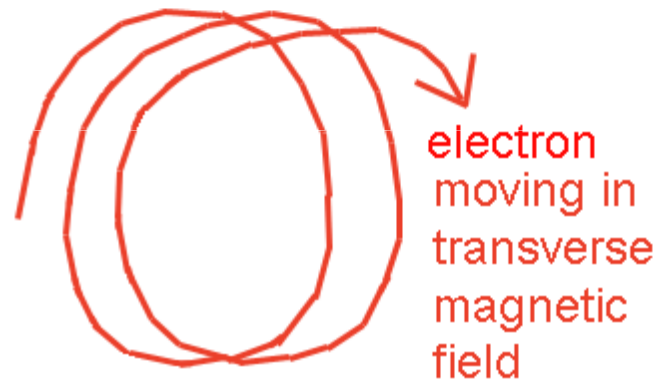


# WALL CONFINEMENT TECHNIQUE by magnetic gradient inversion

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

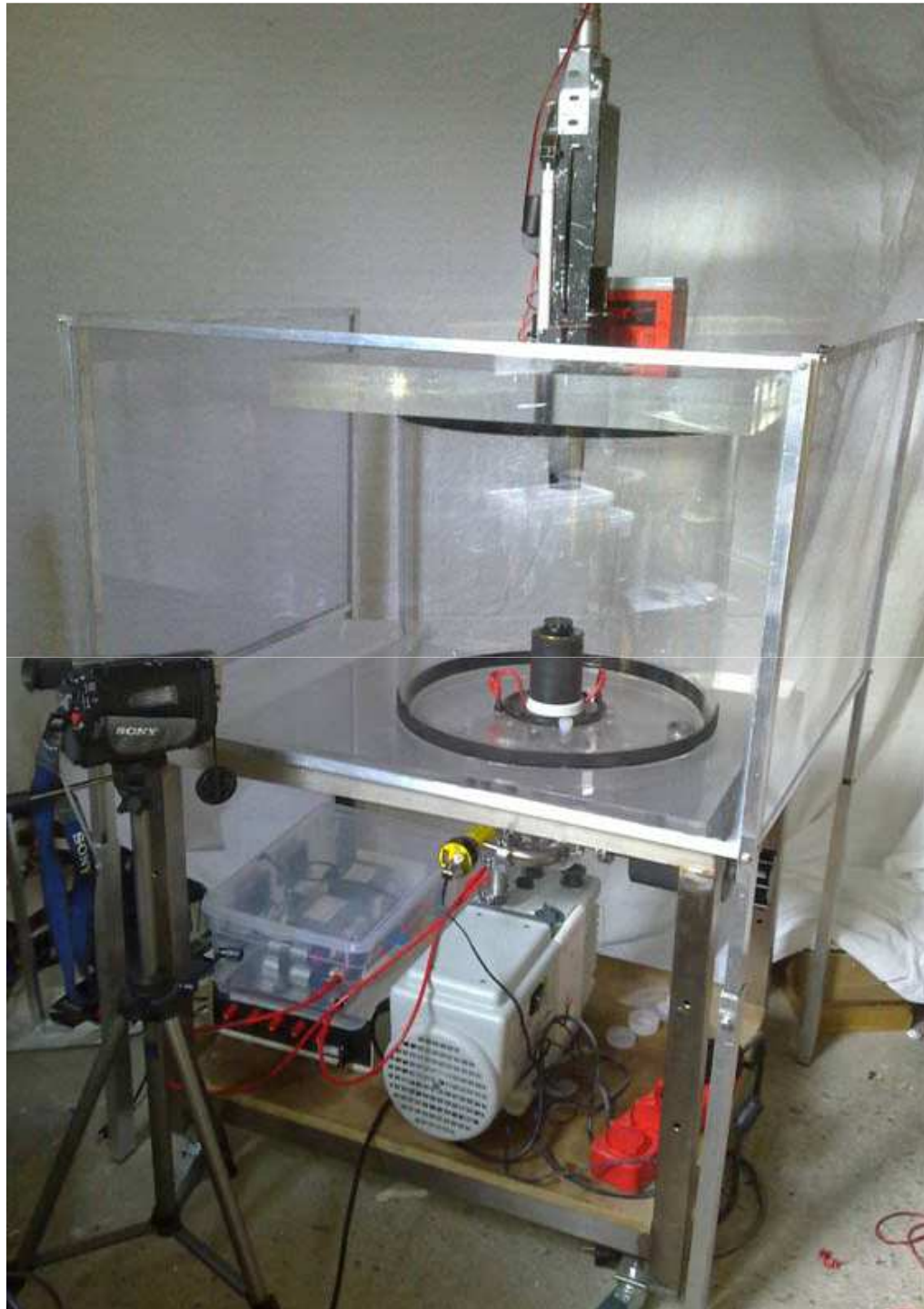
$$\sigma \approx \sigma_s \begin{bmatrix} \frac{1}{\beta^2} & \frac{-1}{\beta} \\ \frac{1}{\beta} & \frac{1}{\beta^2} \end{bmatrix}$$

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

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

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.



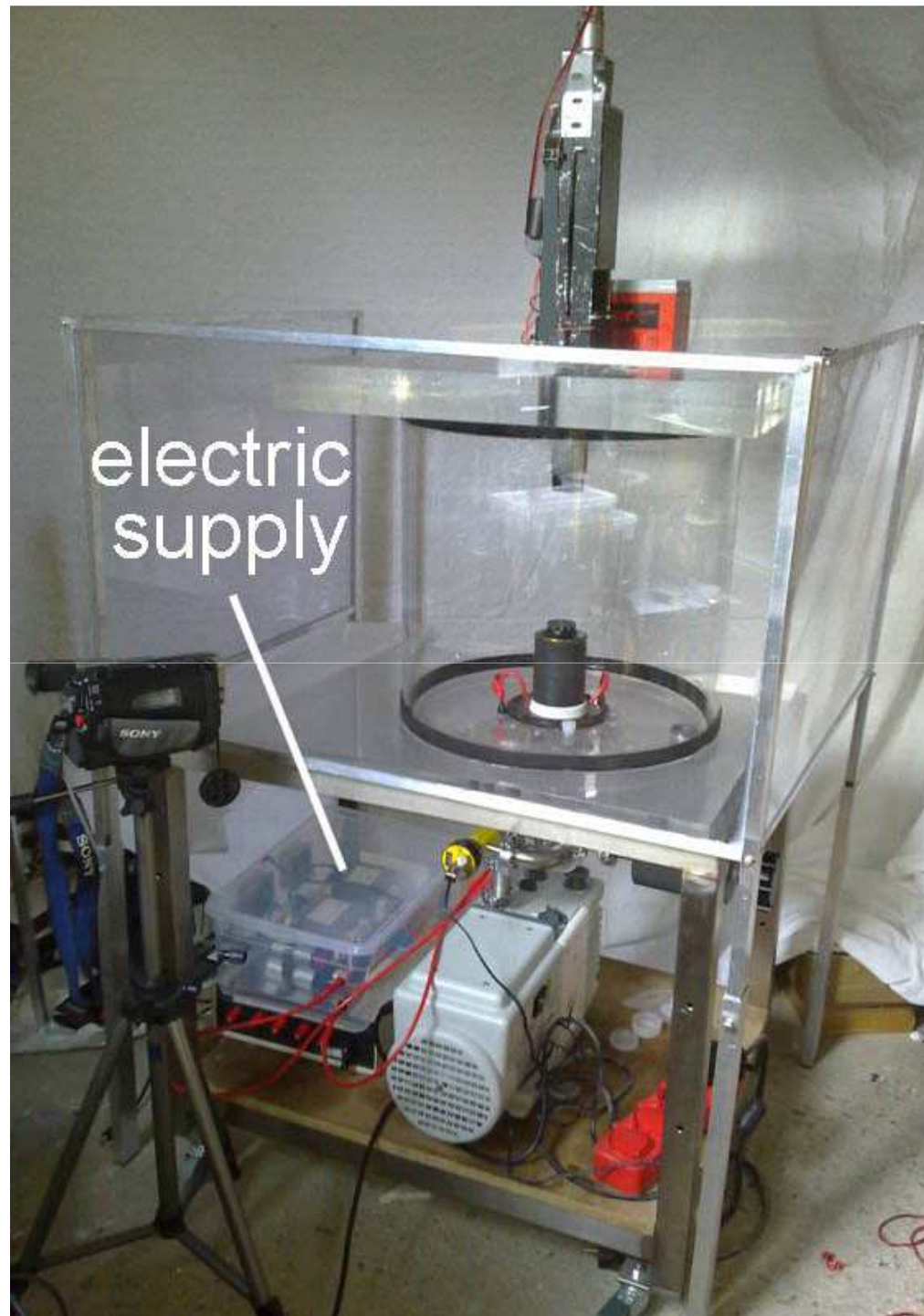




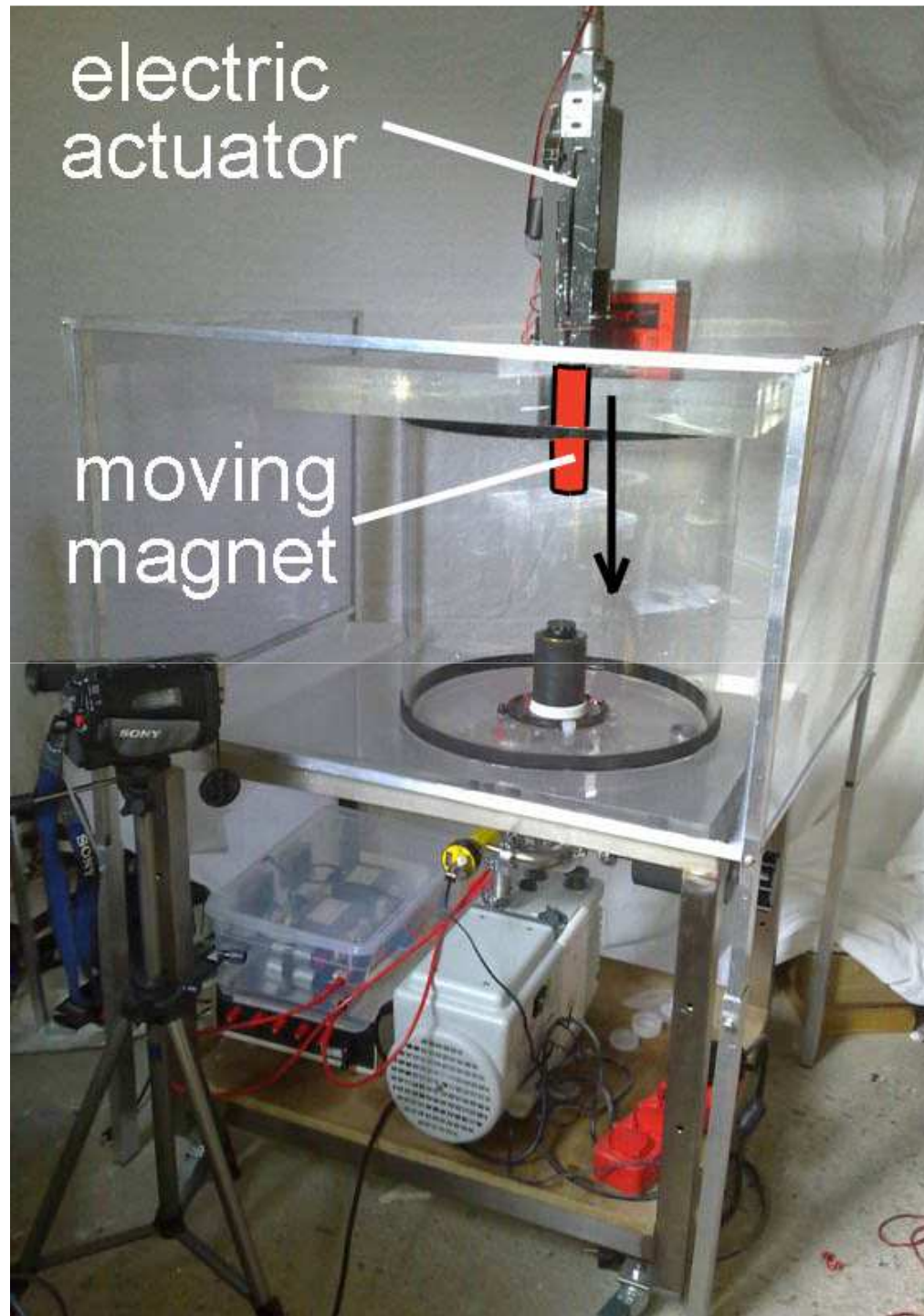


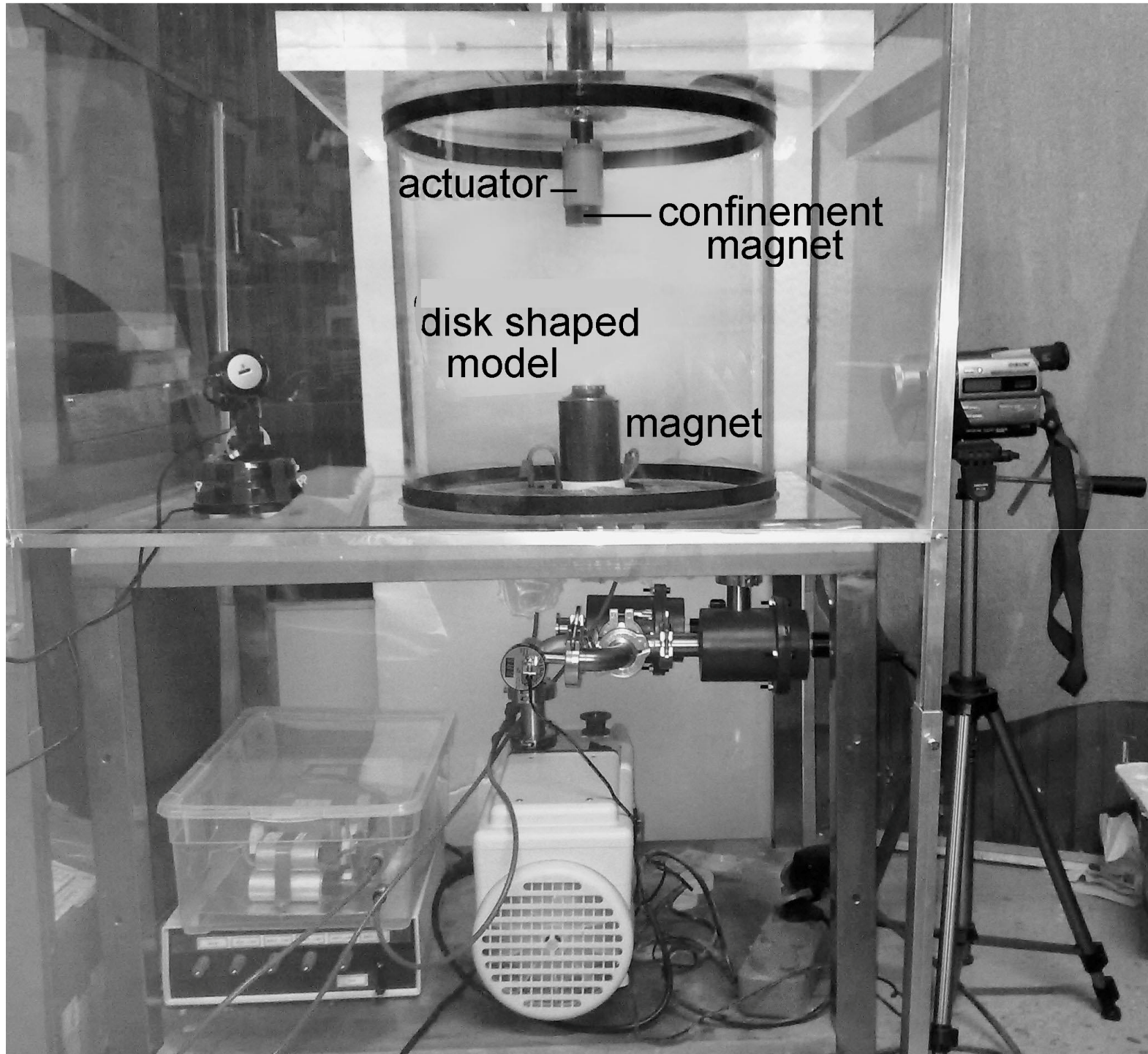
model





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](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](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](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](http://www.mhdprospects.com/pdf/mhd_controlled_hypersonic_flight_eappc2008.pdf)

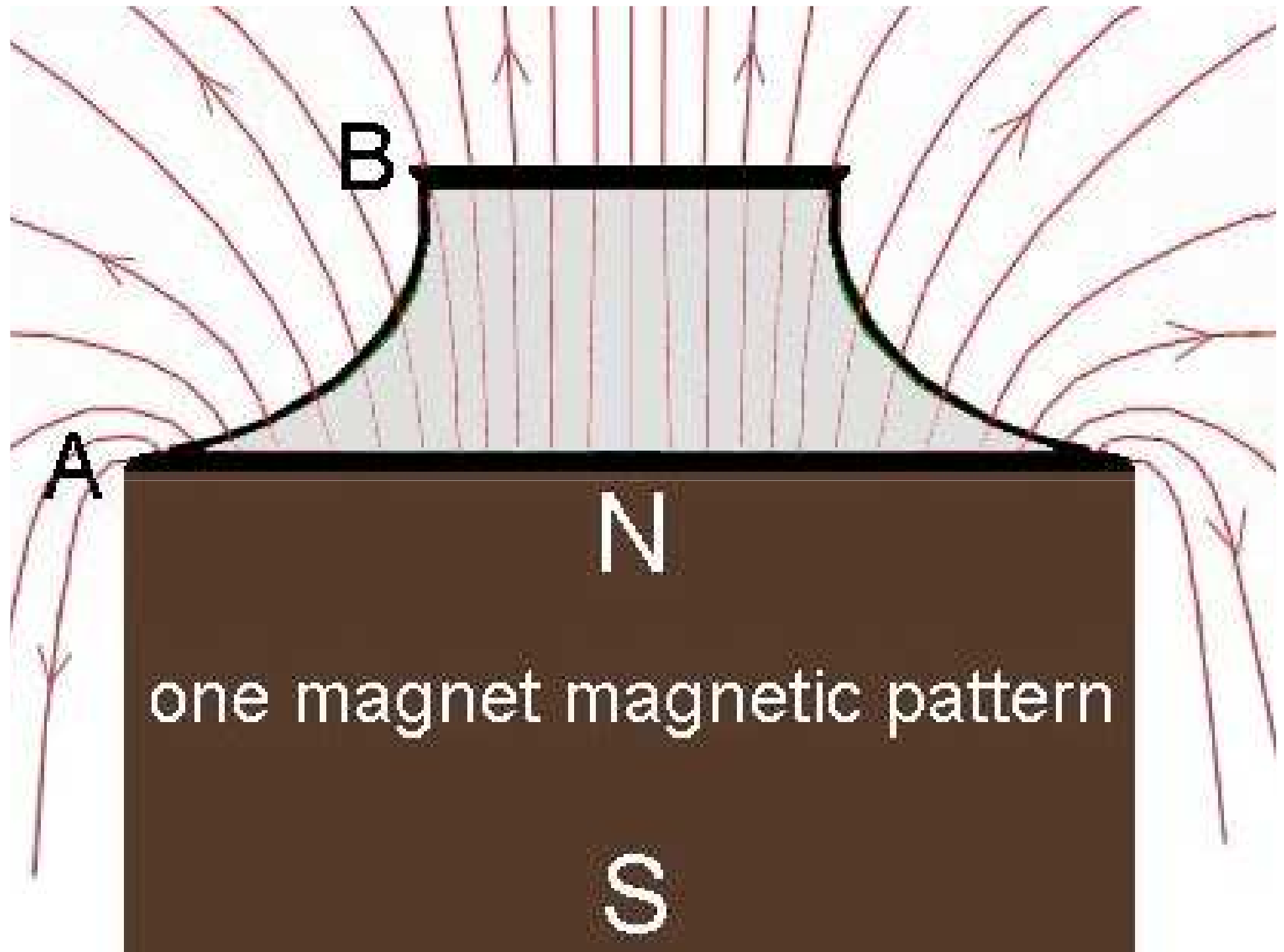
Dans ces aérodynes, le champ magnétique est produit par un système de plusieurs solénoïdes, que nous remplacerons par des aimants permanent.

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.

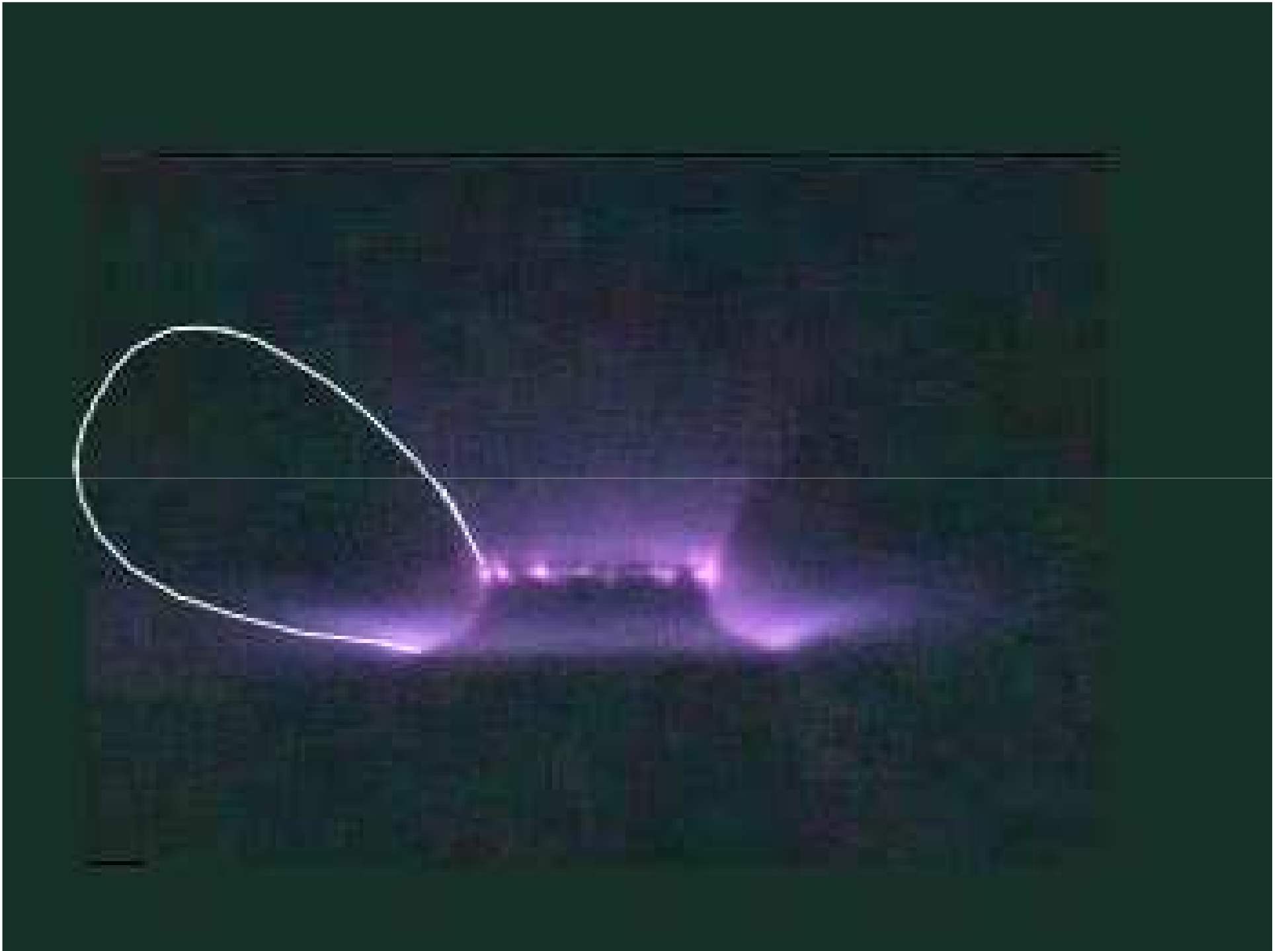
Donc, en régime de paramètre de Hall fort, là où le champ magnétique est plus faible.



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





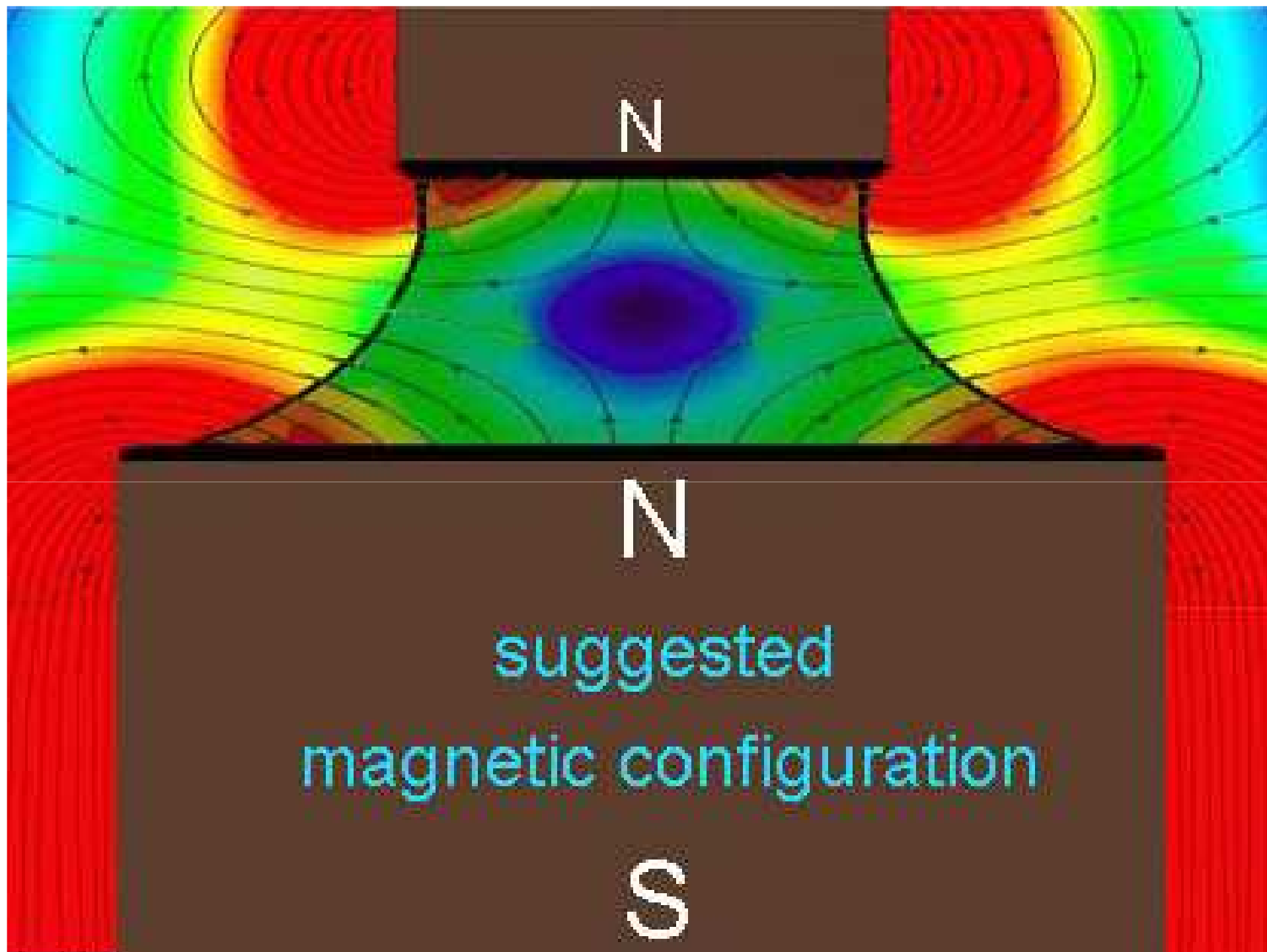
Comment réussir à plaquer la  
décharge contre la paroi ?

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

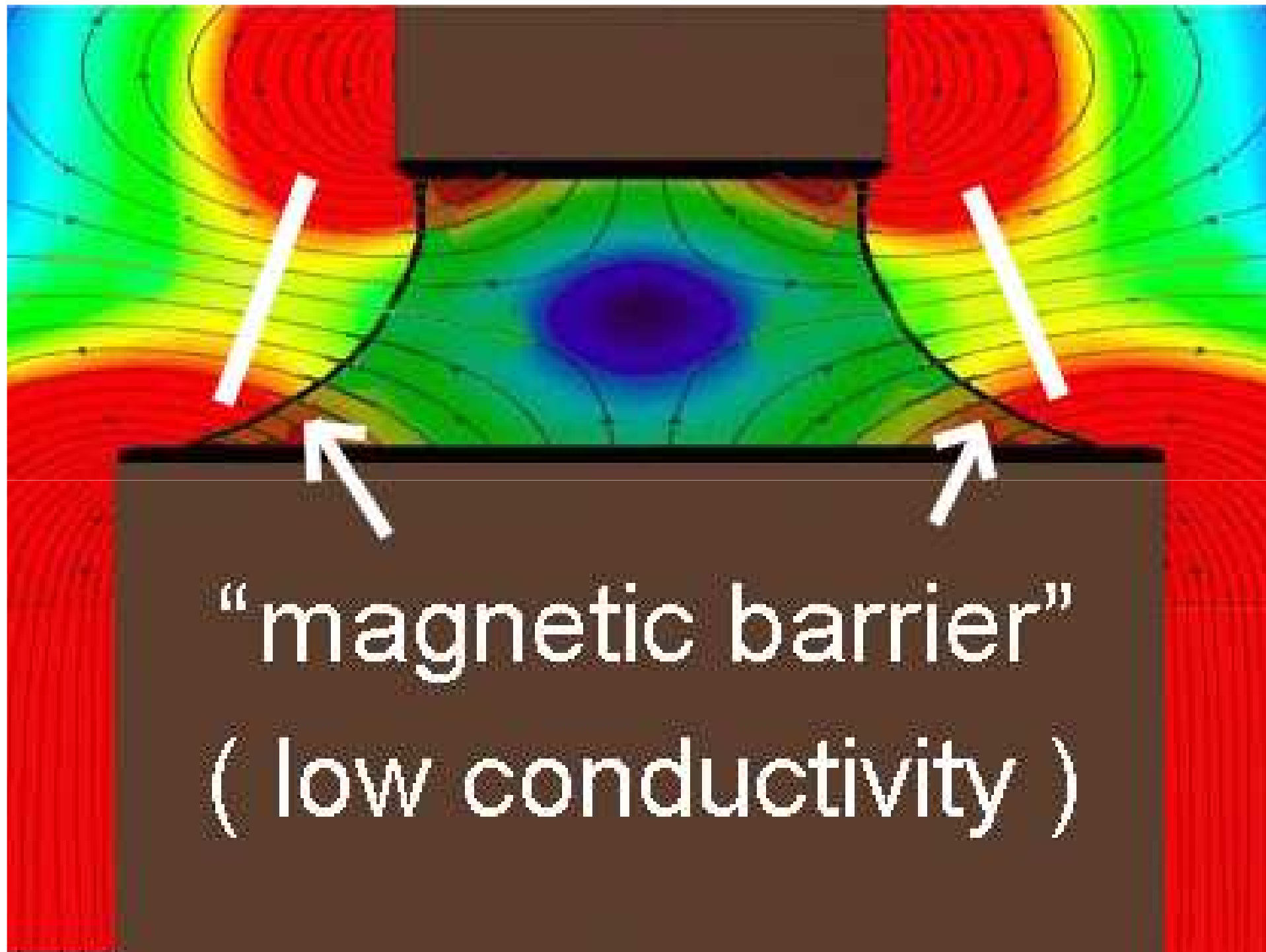
Donc qu'elle se présente, en régime d'effet Hall élevé, comme une région de conductivité électrique plus élevée qu'à distance

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.



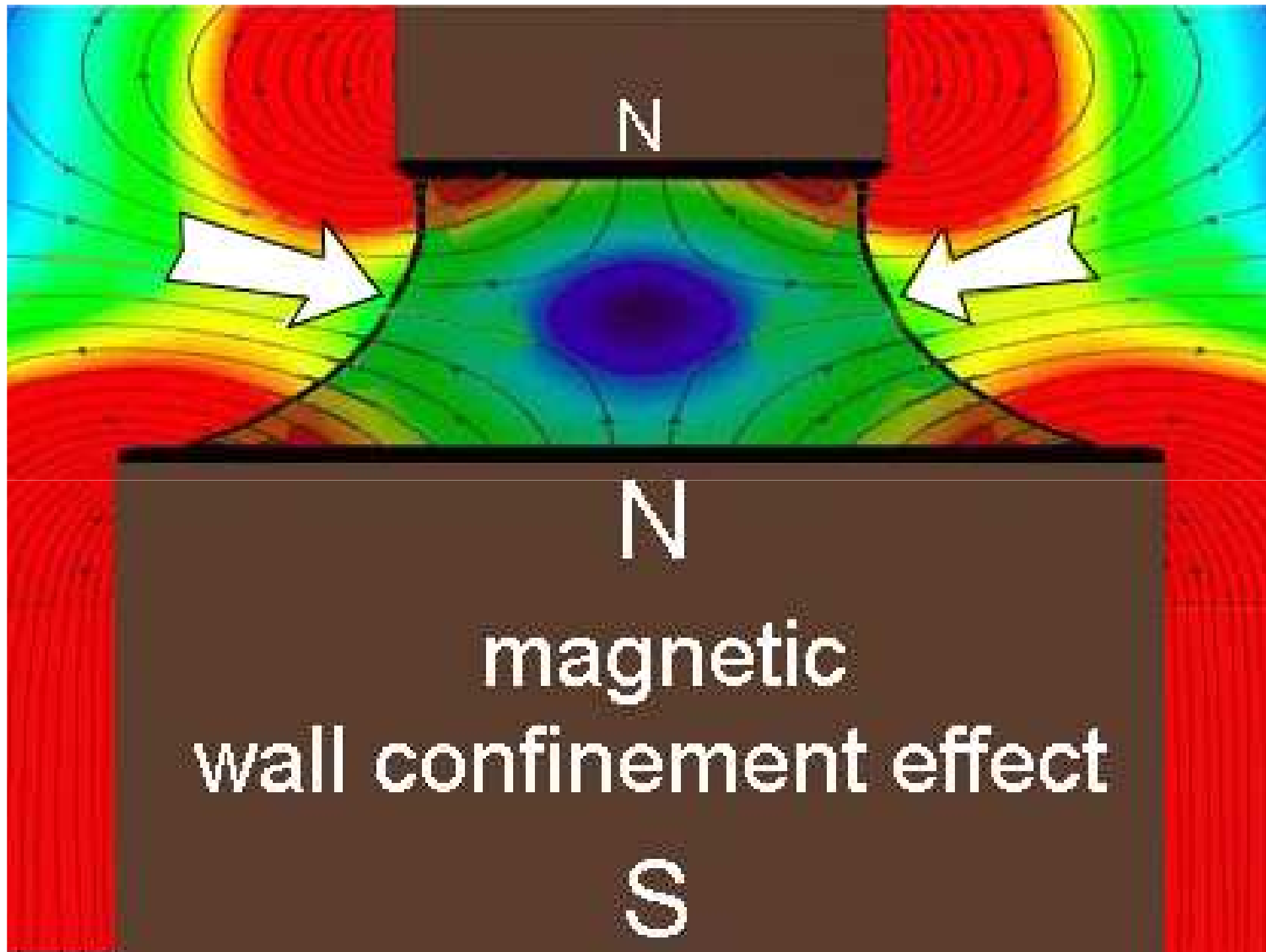
Le champ est maximal sur un tronc  
de cône (blanc), se comportant  
comme une barrière magnétique,  
une zone de plus faible  
conductivité électrique



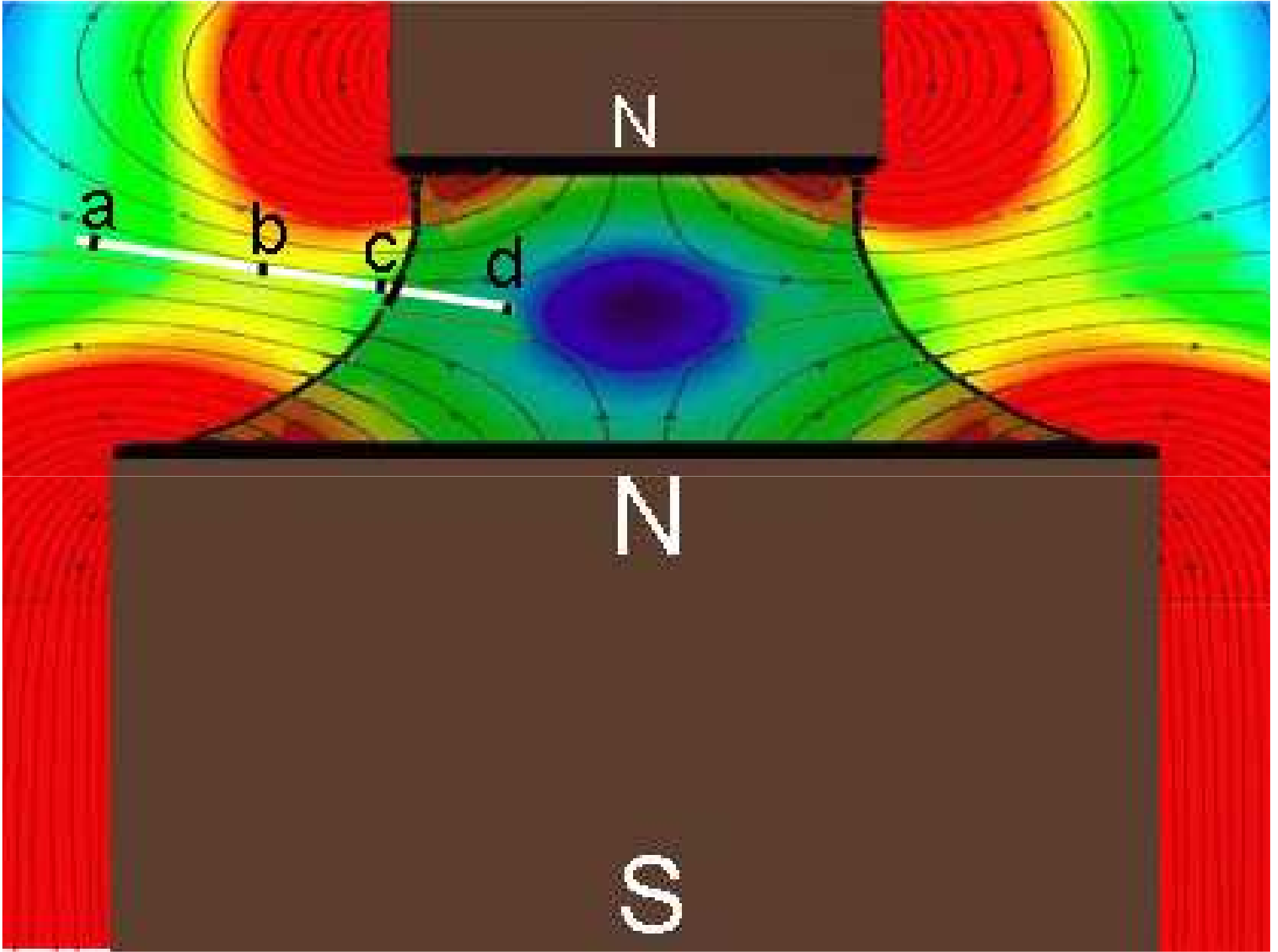
“magnetic barrier”  
( low conductivity )

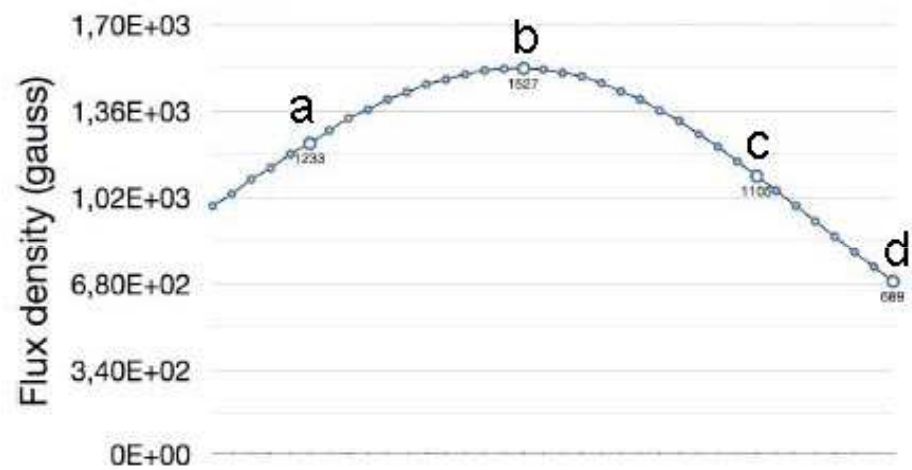
Ce qui tendra à plaquer la  
décharge contre la paroi.



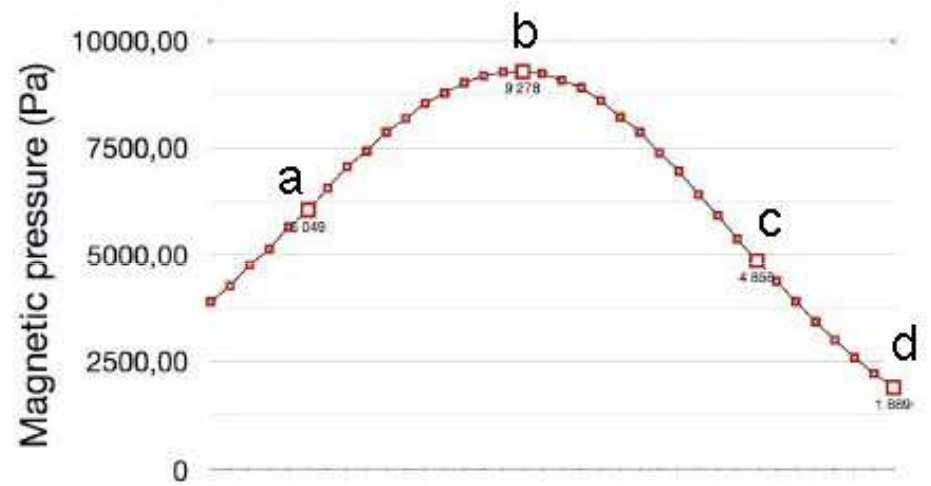


Calculons la valeur du champ B en  
quelques points





**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.

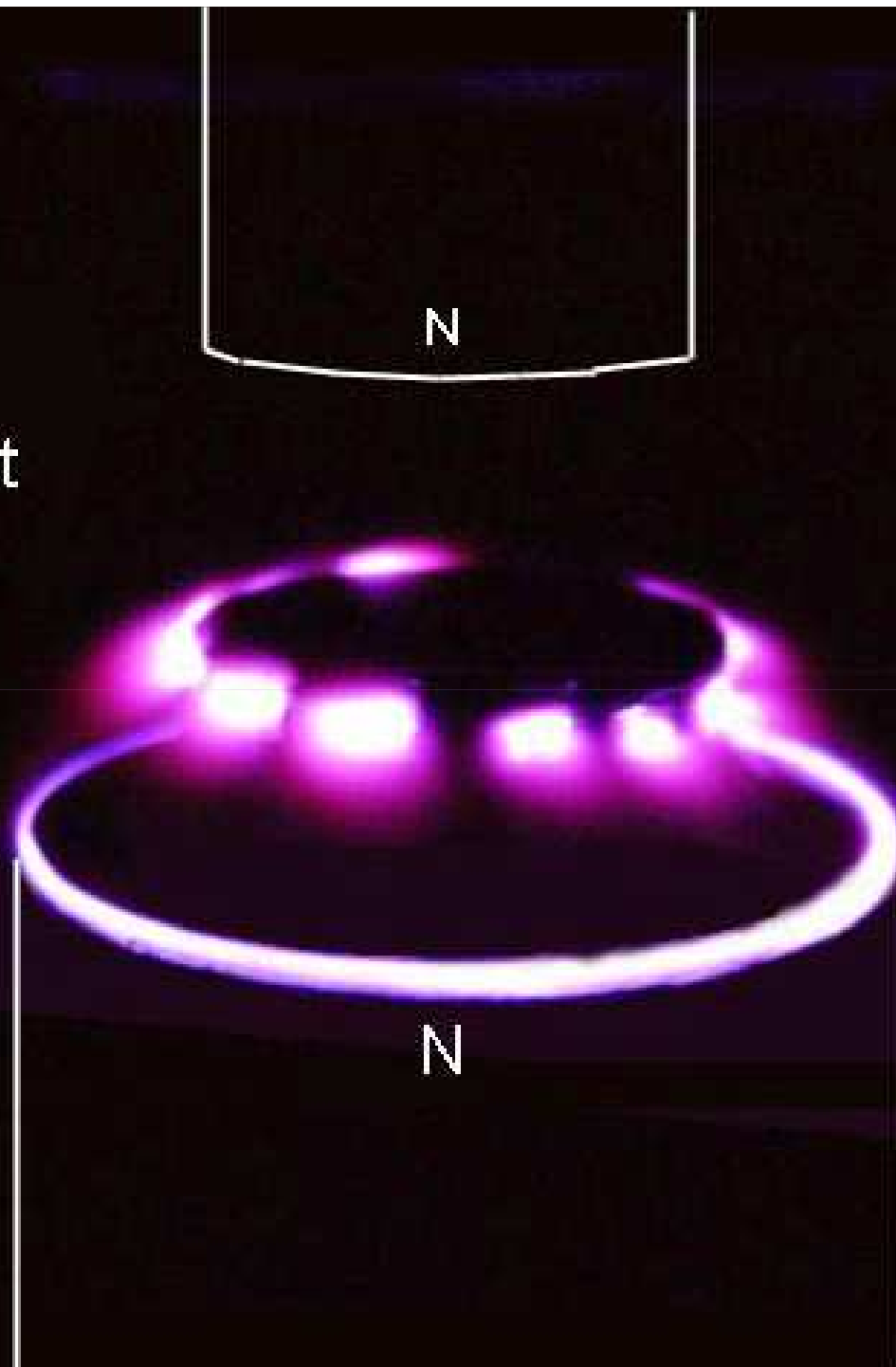
Dans notre expérience nous  
pouvons descendre  
progressivement l'aimant de  
confinement.

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

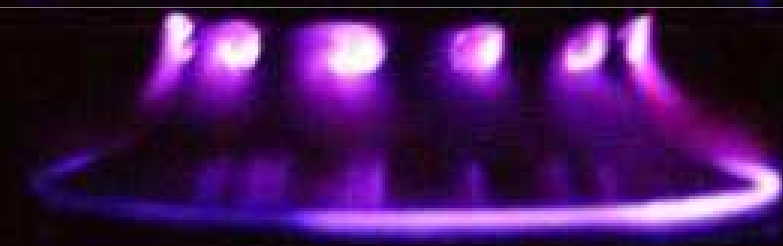




the top magnet  
descent starts  
the confining  
process

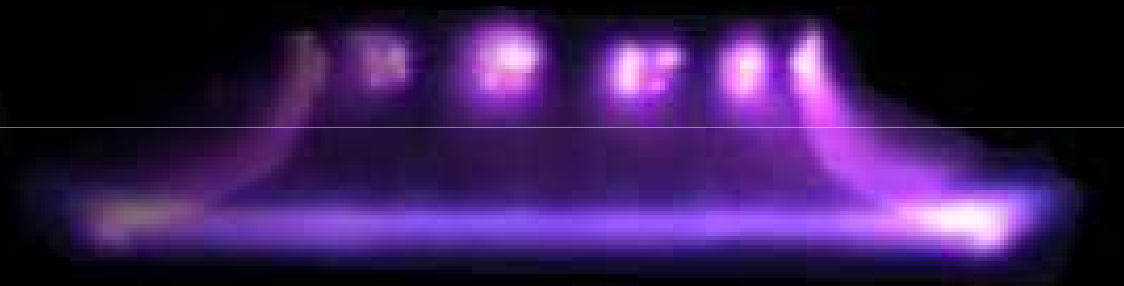


Maintenant nous descendons  
complètement l'aimant de  
confinement et nous obtenons le  
résultat souhaité

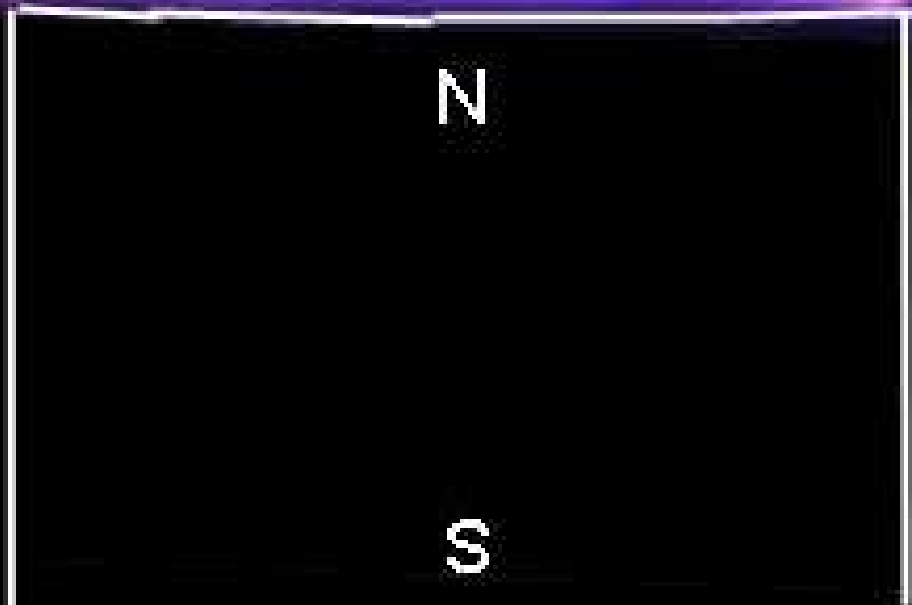
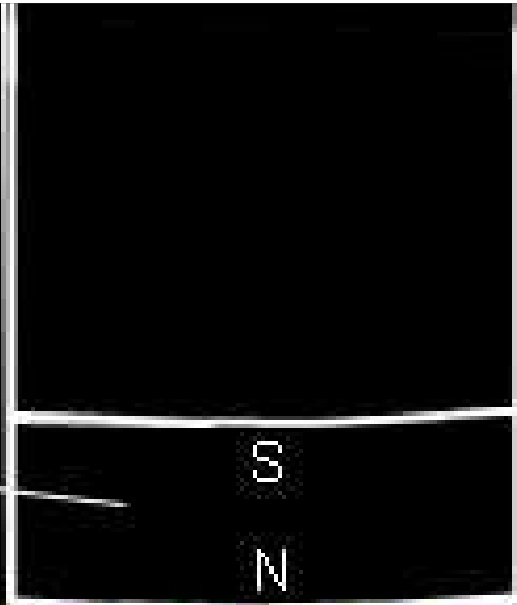


fully confined glow discharge

Vue de profil :



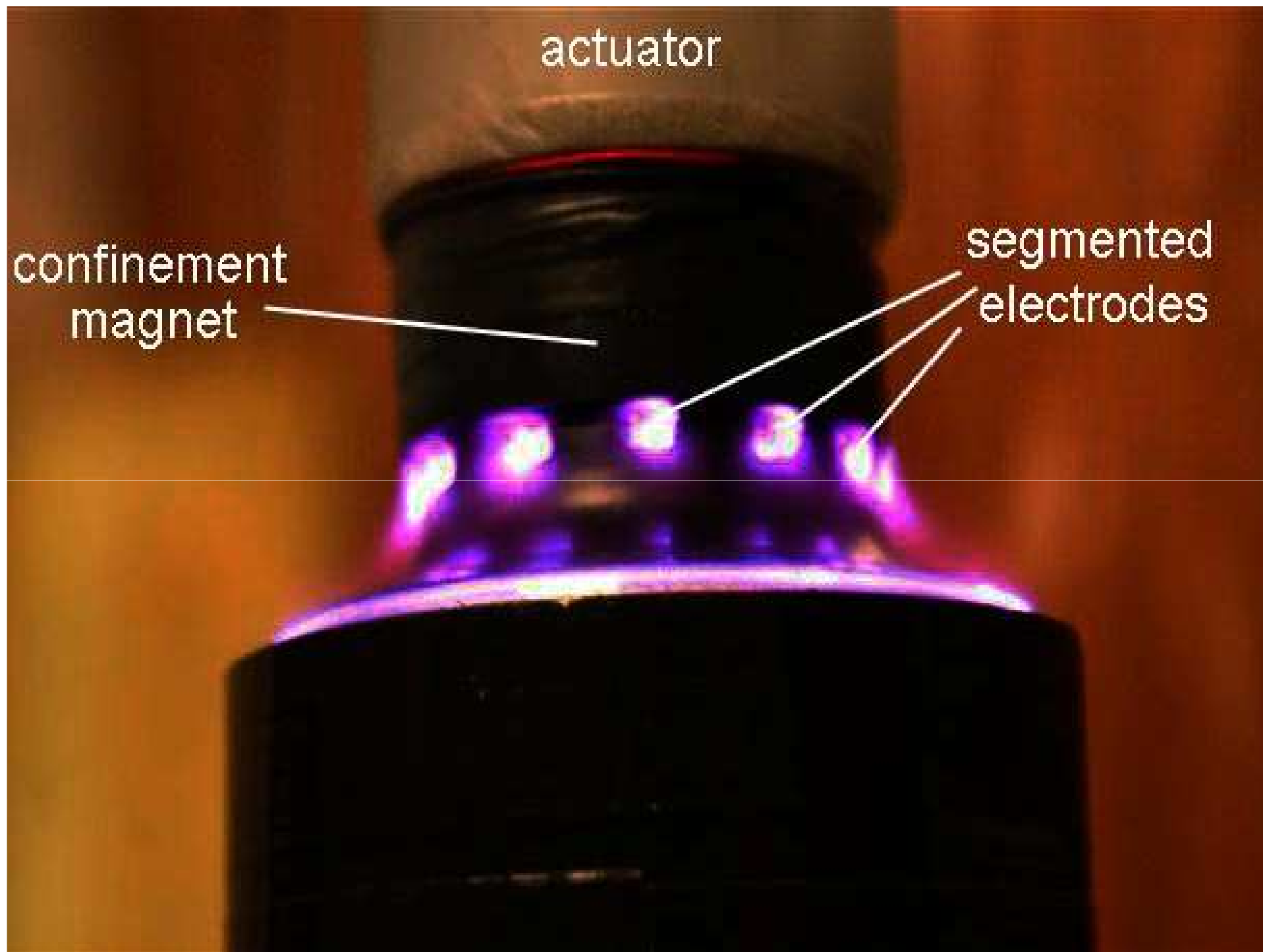
confinement  
magnet



actuator

confinement  
magnet

segmented  
electrodes



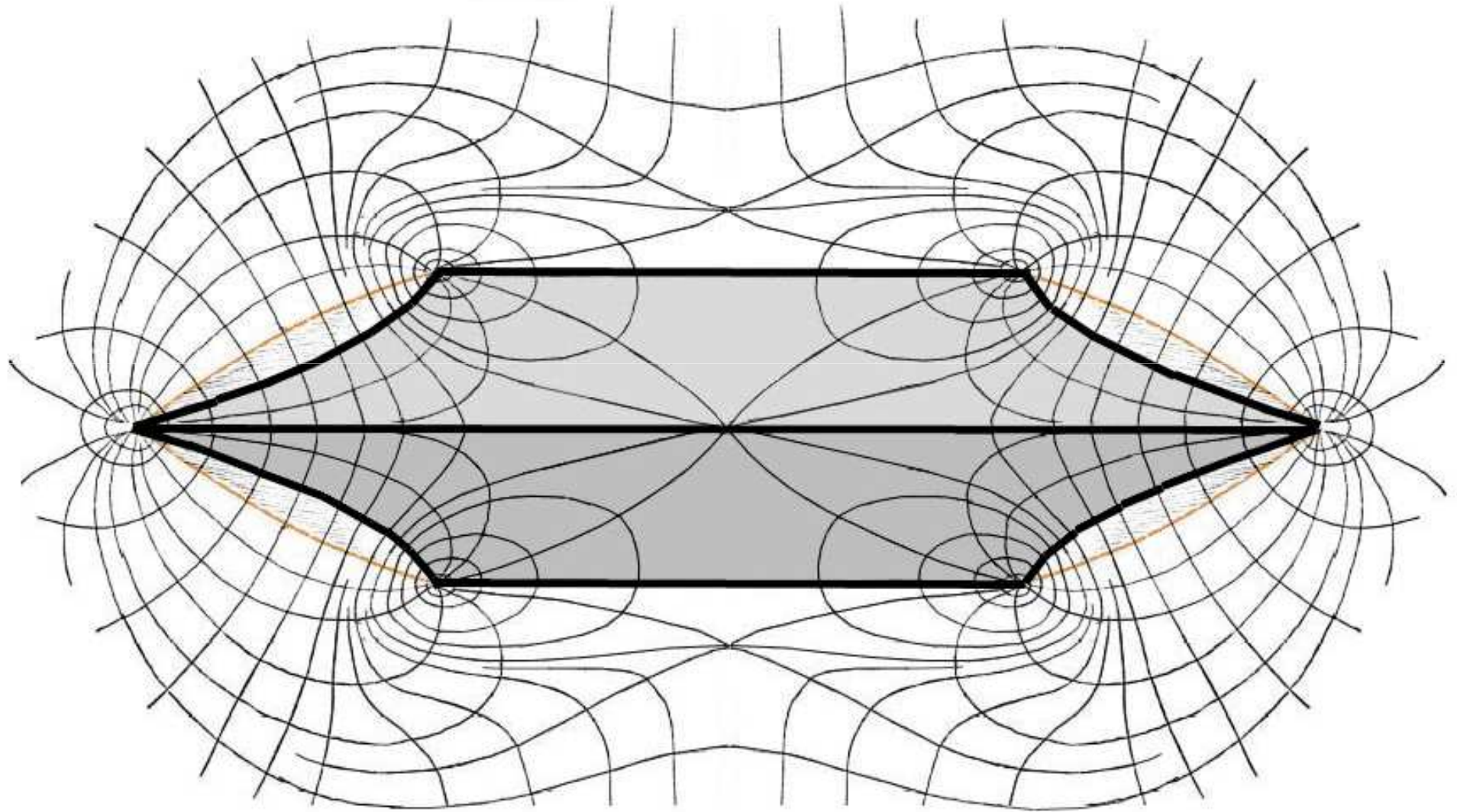
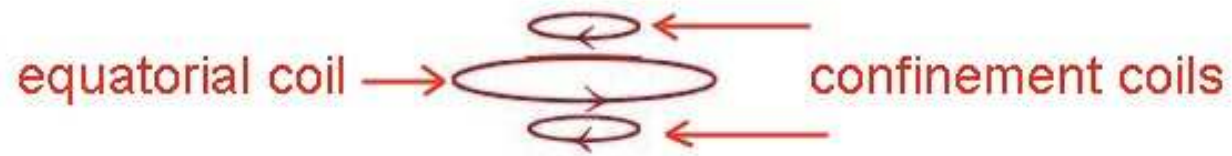
Revoyant l'allure de notre banc  
d'essai, nous apercevons à sa  
partie supérieure l'actuator qui  
permet d'assurer la descente de  
l'aimant de confinement





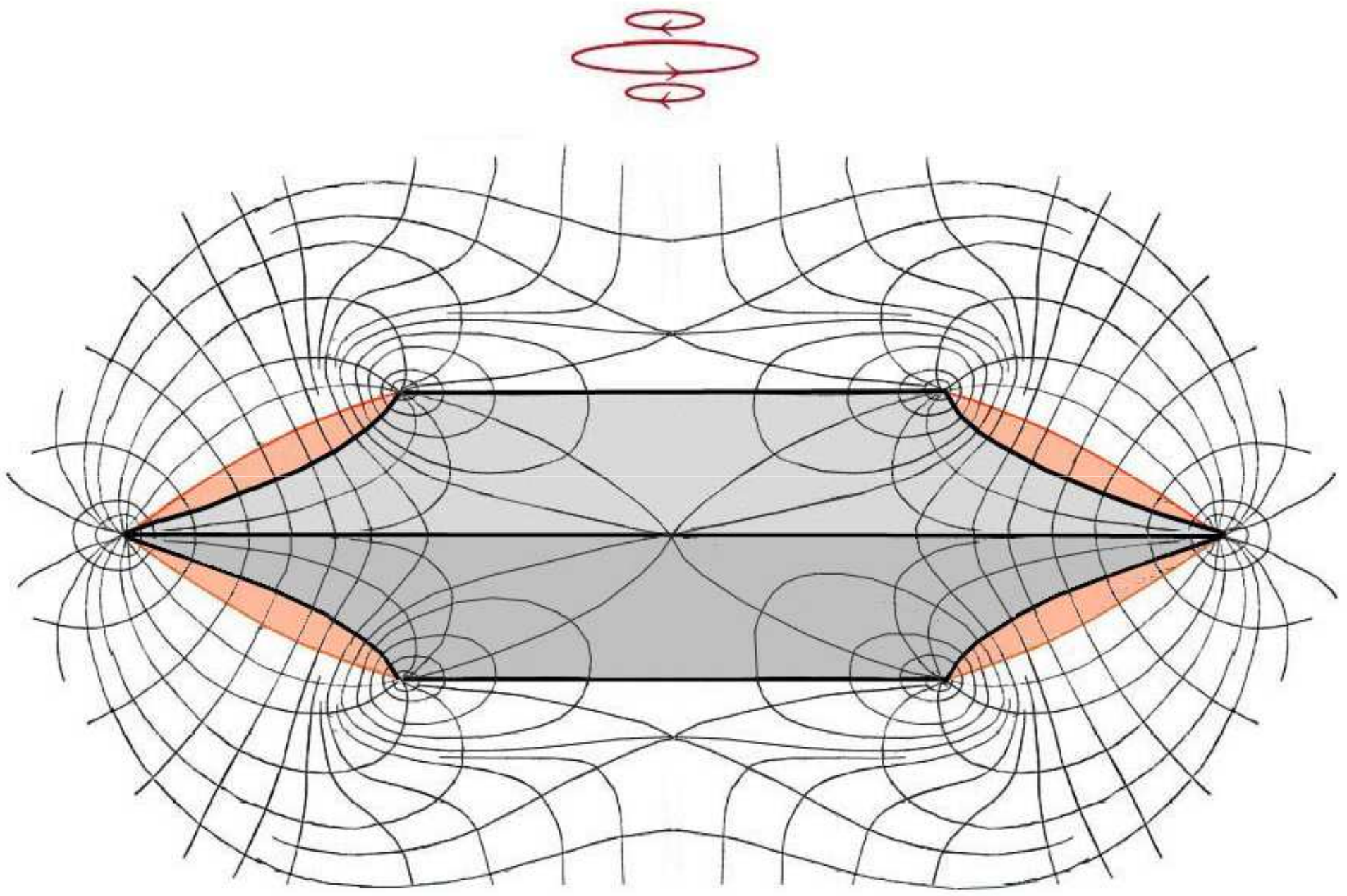
Nous référant aux communication  
de Vilnius (2008) et de Brème  
(2009), l'aérodynne MHD à  
induction a la force de deux  
saucers appliquées l'une contre  
l'autre

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



disk shaped induction MHD aerodyne: magnetic pattern

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

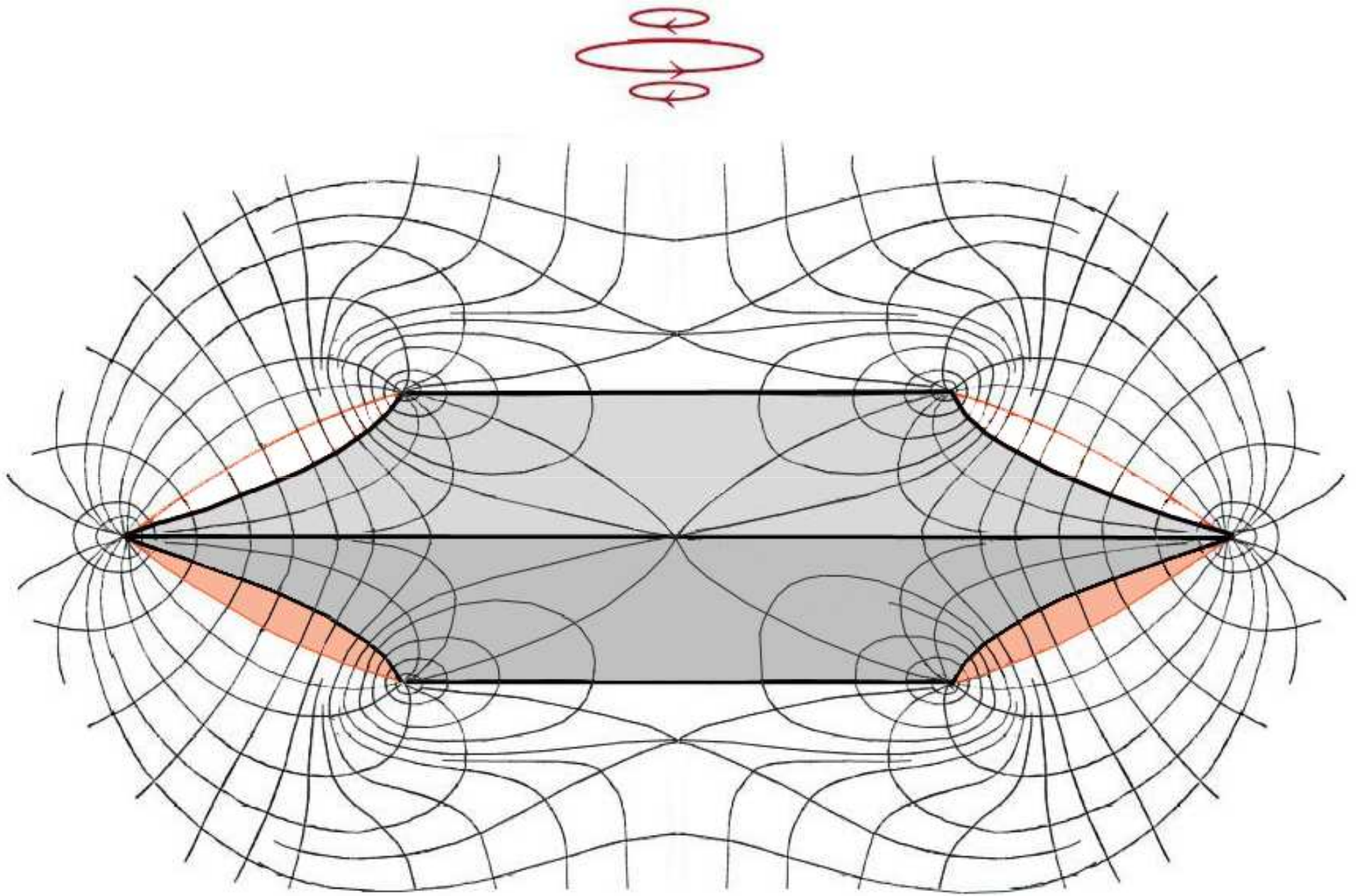
Alternativement centrifuges et  
centripètes



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

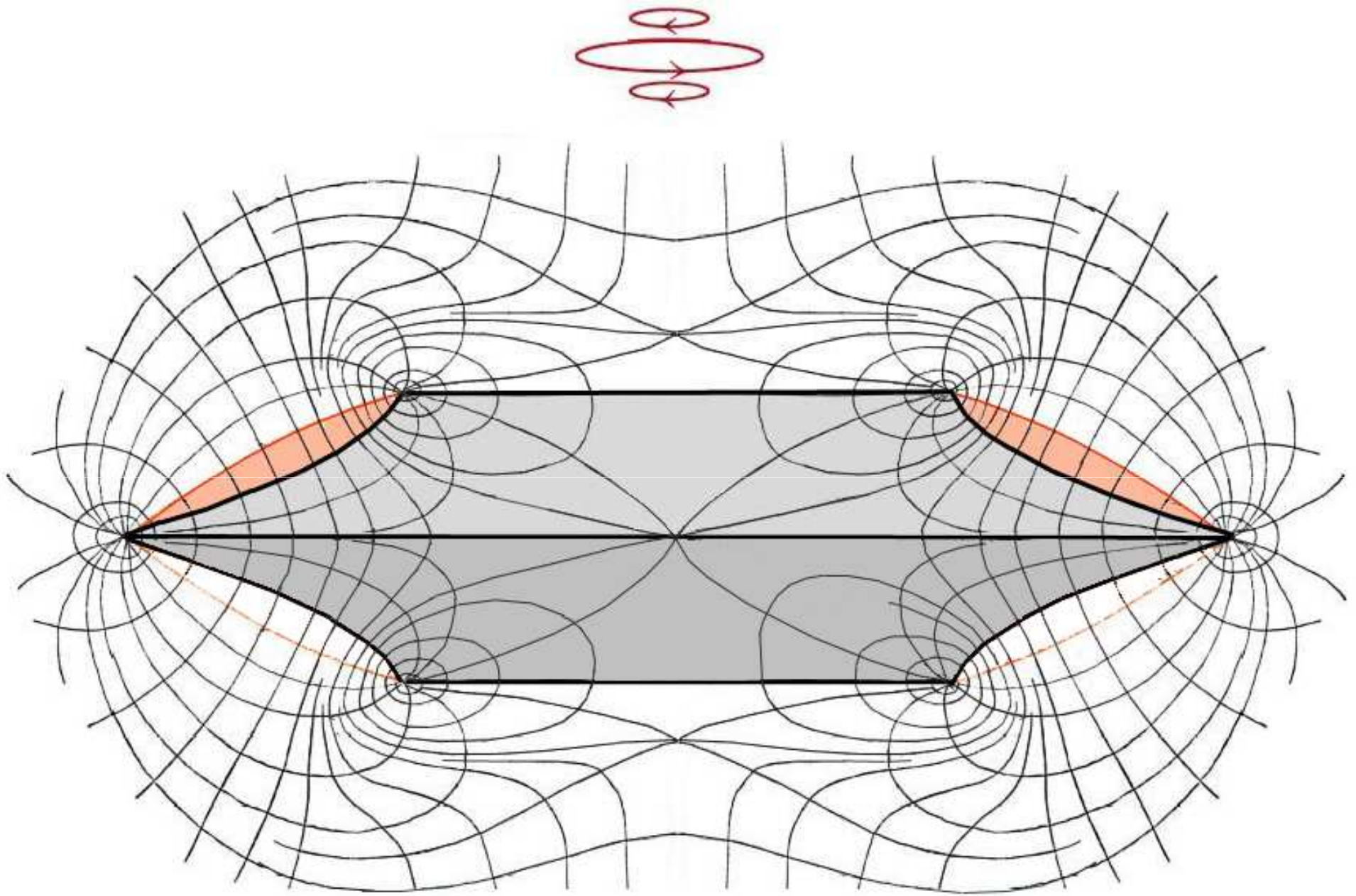
Mais on peut moduler la  
conductivité en introduisant un  
système d'ionisateurs pariétaux.

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 »



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

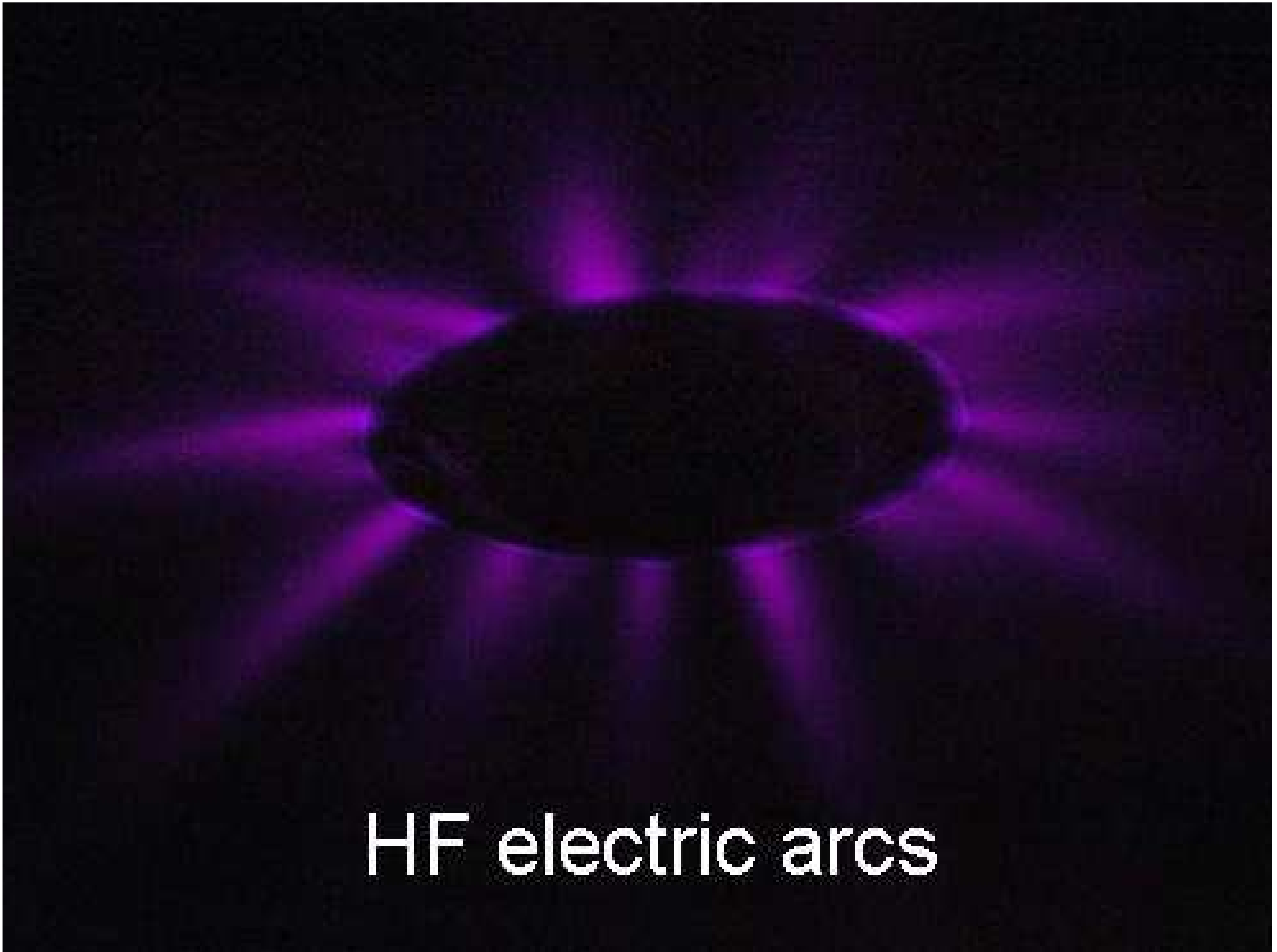
Voici un système utilisant de la HF





HF ionization

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

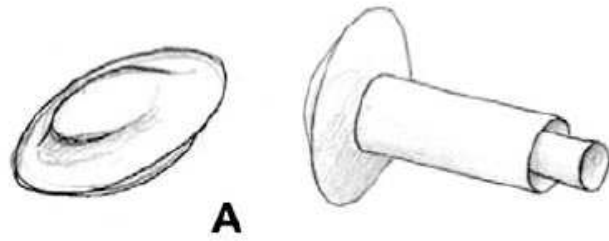


HF electric arcs

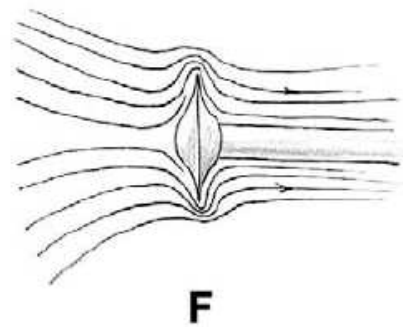
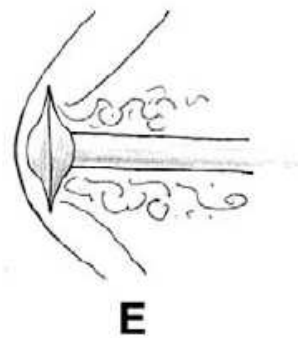
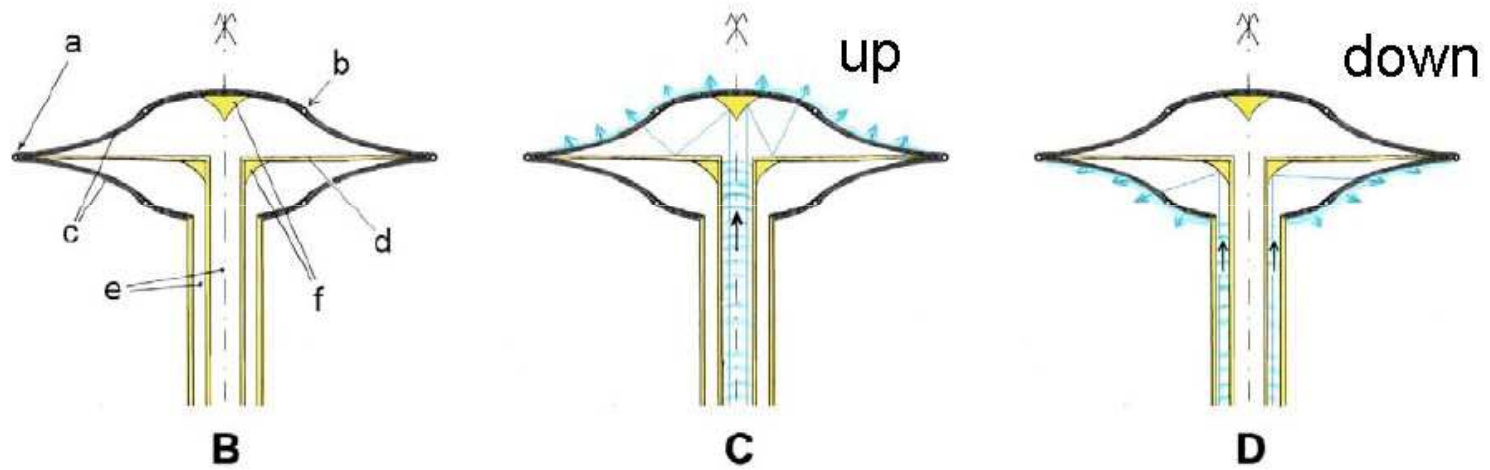
Ci-après un autre système utilisant deux canaux coaxiaux amenant des micro-ondes. Celles-ci sont réfléchies à l'aide de miroirs et créent une ionisation immédiatement au voisinage des parois.

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