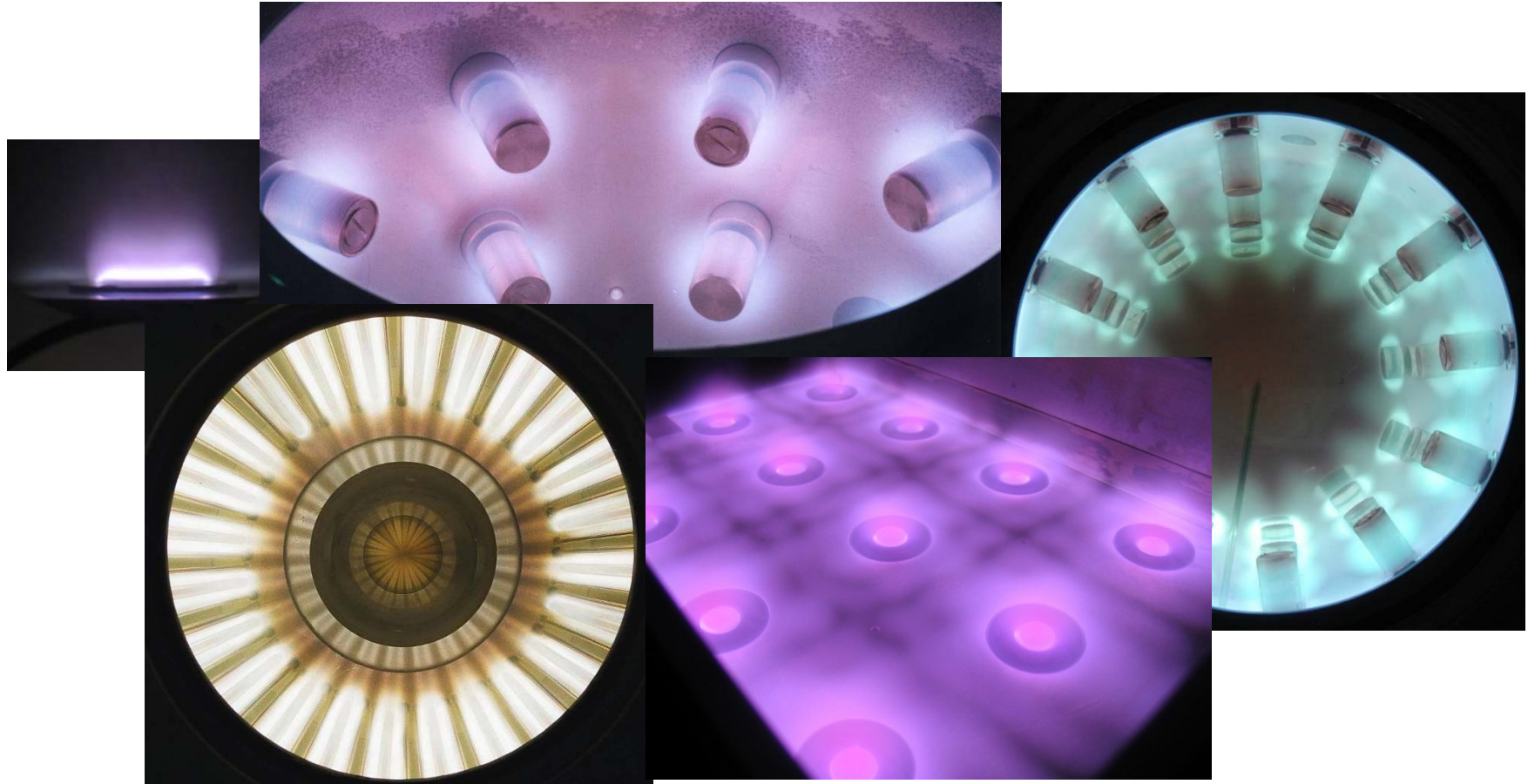


Technologies plasma

Extension d'échelle



LPSC
Groupe Plasmas-Matériaux-Nanostructures
A. Lacoste, S. Béchu, A. Bès

❑ **Flexibilité technologique**

- **Géométrie en fonction de l'application** (0D, 1D, 2D, 3D)
- **Uniformité procédé** \Leftarrow uniformité E appliqué, écoulement gaz
- **Extension d'échelle** \Leftarrow uniformité E appliqué

❑ **Flexibilité en termes de procédés**

- **Séparation des fonctions** (flux et énergie des espèces plasma)

❑ **Flexibilité en termes de domaine opératoire**

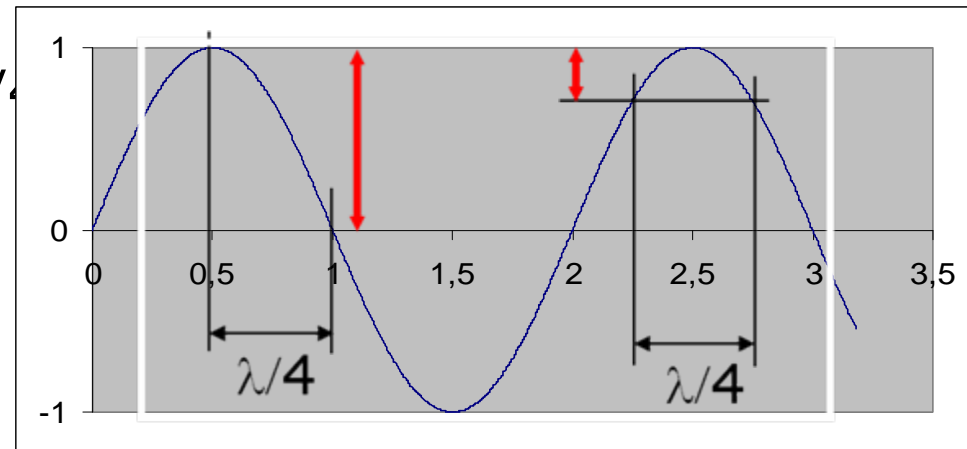
- **Plasma haute densité et Domaine de pression étendu**
 - ✓ Procédés basse pression (forte assistance ionique) : PAPVD, PAS, PBII
 - ✓ Procédés pression intermédiaire (à grande vitesse) : PACVD
 - ✓ Procédés duplex ou séquentiels : PACVD + PAS

❑ **Fiabilité, Robustesse, Maintenance**

Exigences : uniformité plasma / procédé

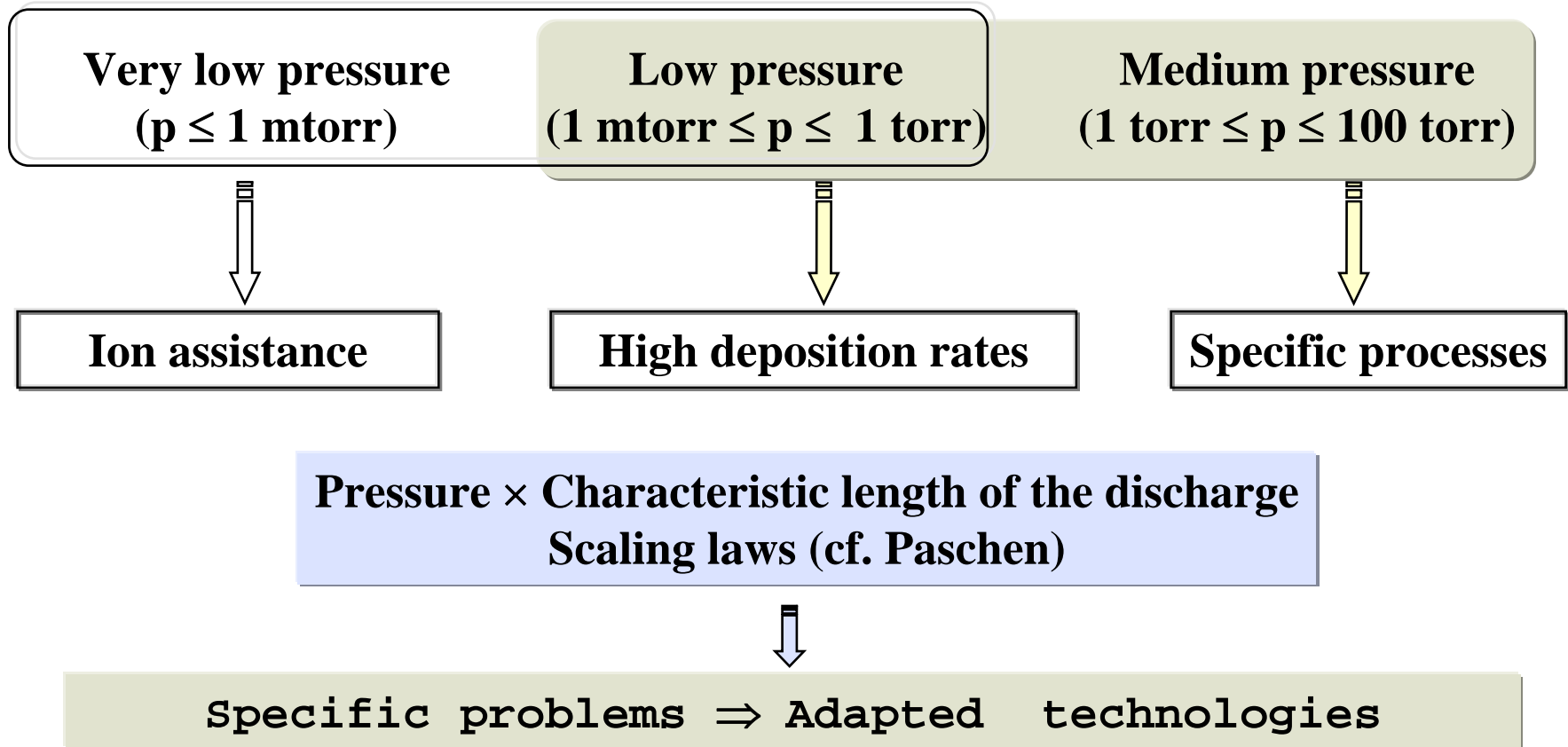
Problématique : application de champ électrique uniforme sur grandes dimensions

- DC \Rightarrow DC and DC pulsé (magnétron), DBD
- RF (CCP, ICP) \Rightarrow
non-uniformité pour $L \cong \lambda/4$



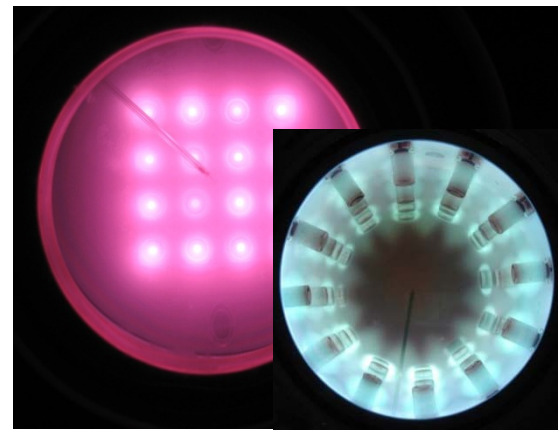
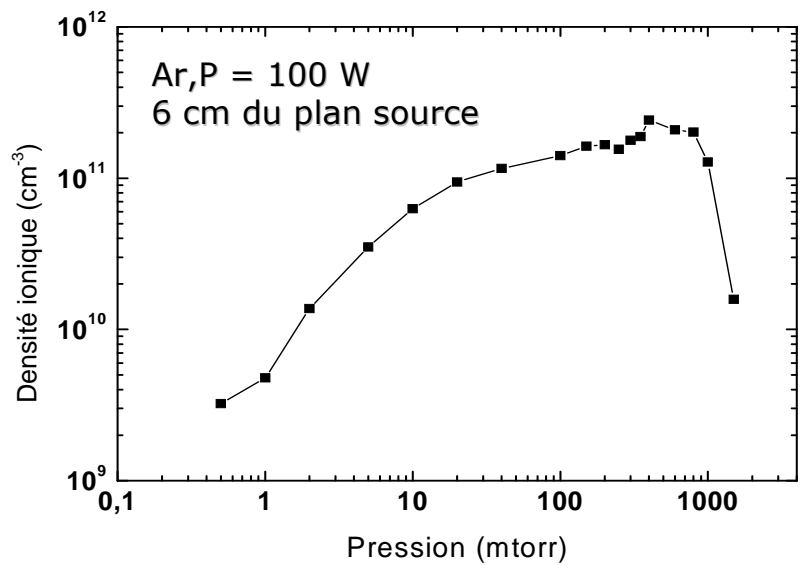
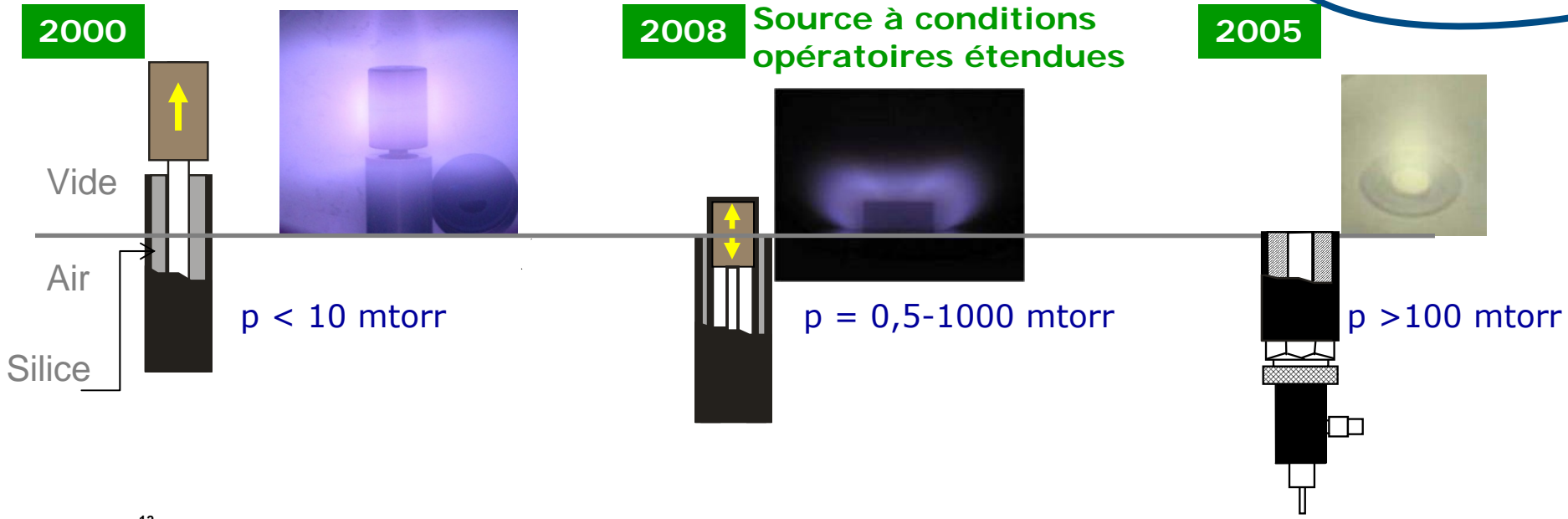
- MW solutions possibles
 - $L \gg \lambda$
 - $E \times \Lambda = f(p \times \Lambda) \Rightarrow$ minimum of $E \times \Lambda$
 - Distribution des sources micro-onde (antennes)





Technologies Plasma micro-onde

Sources plasma élémentaires

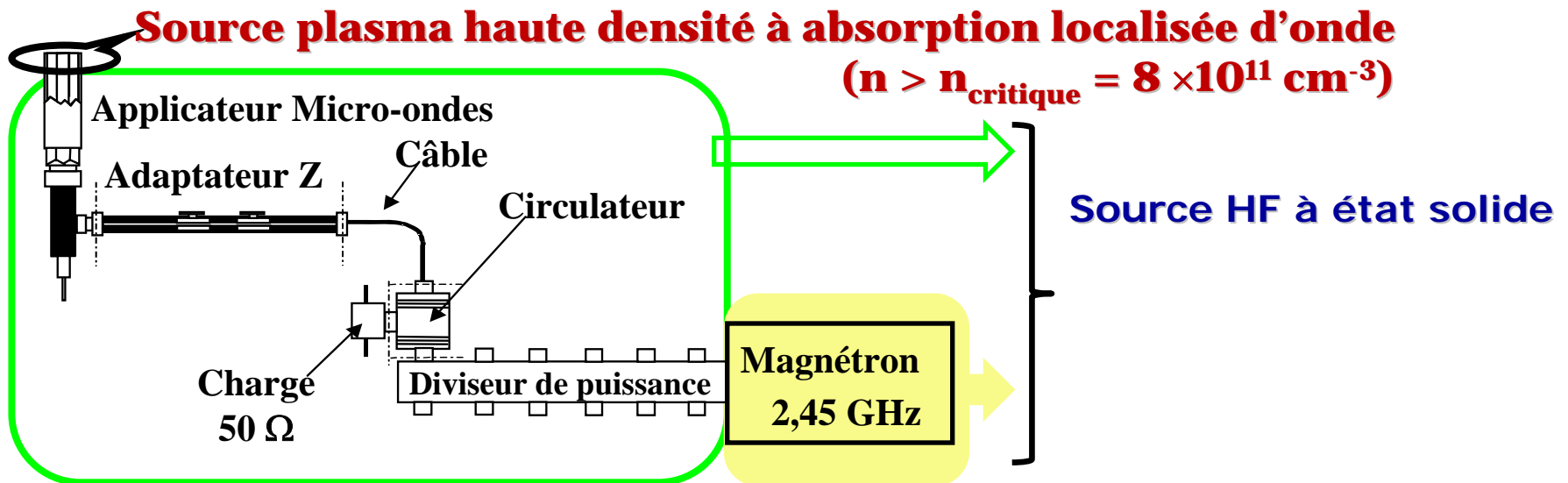


Implémentation de sources élémentaires sur réacteurs plasma par distribution 2D, 3D

□ Sources plasma élémentaires



- Large domaine opératoire (0,5 – 1000 mtorr)
- Haute densité
- Haute puissance (10-150 W/source)
- Appicateur micro-ondes (transformateur d'impédance)



Technologies Plasma micro-onde

Sources plasma élémentaires/configuration 2D

- Domaine du torr (mbar, 100 Pa)
- Densité plasma $n = 10^{12}$ à 10^{13} cm $^{-3}$

- **Séparation des fonctions**

- Production plasma / Paramètres procédé

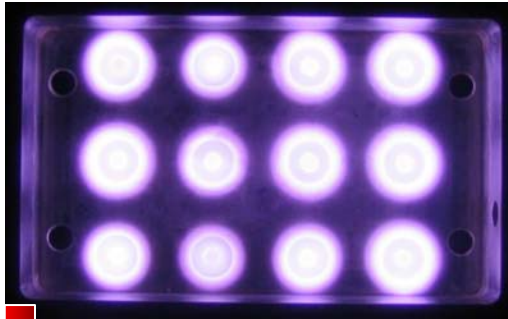
- **Extension d'échelle**

- Pas de couplage EM entre sources
- Uniformité du plasma (3,5 %) pour $h > 20$ mm

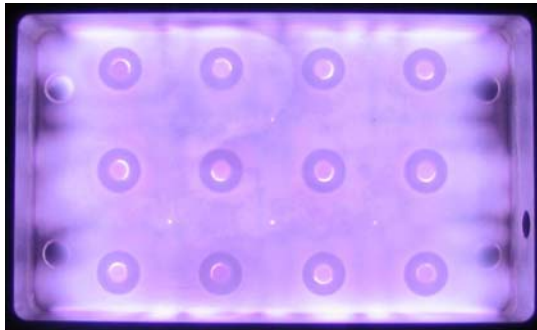
- **Procédés haute densité**

- Pas de limitation liée à la propagation d'ondes (absorption localisée de l'onde)

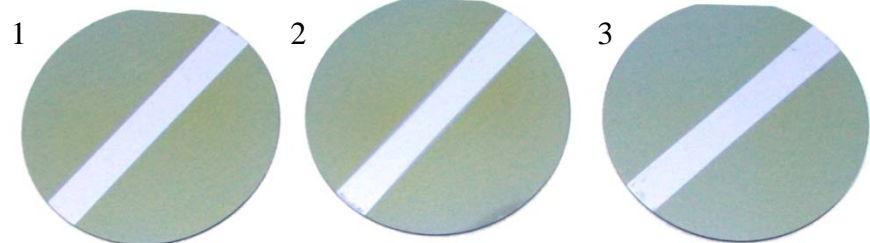
- **Procédés pression intermédiaire \Rightarrow Procédés PACVD à grande vitesse (Dépôt SiOCH 1-2 μ m/min)**



Plasma localisé (500 W)



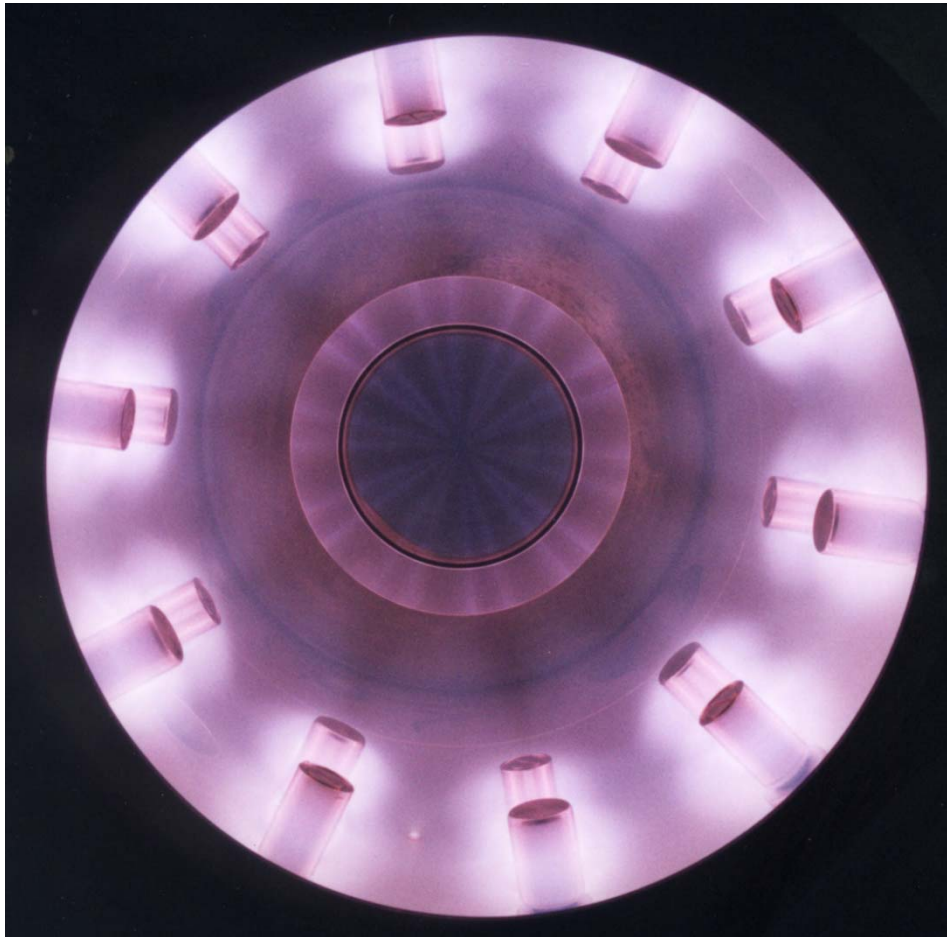
Plasma uniforme (1500 W)



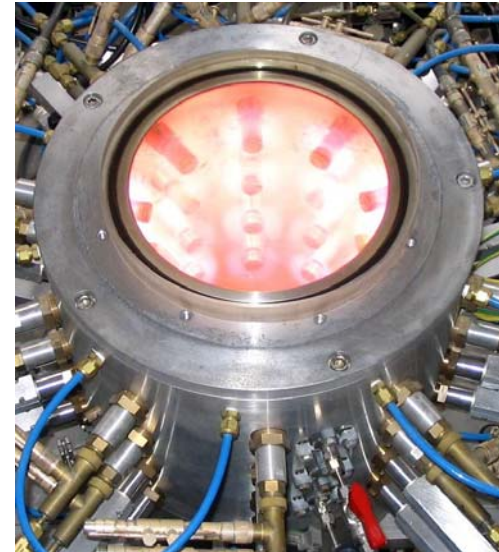
1
 $p_{O_2} = 7,7$ Pa
 $p_{TMS} = 15,3$ Pa
 $P = 800$ W

2
 $p_{O_2} = 7,7$ Pa
 $p_{TMS} = 15,3$ Pa
 $P = 1200$ W

3
 $p_{O_2} = 10$ Pa
 $p_{TMS} = 20$ Pa
 $P = 1000$ W



Plasma d'argon / 0,3 Pa / 120 W par source (2400 W)



- **Séparation des fonctions**

- Production plasma
- Paramètres procédé

- **Extension d'échelle**

- Pas de couplage EM entre sources

- **Procédés haute densité**

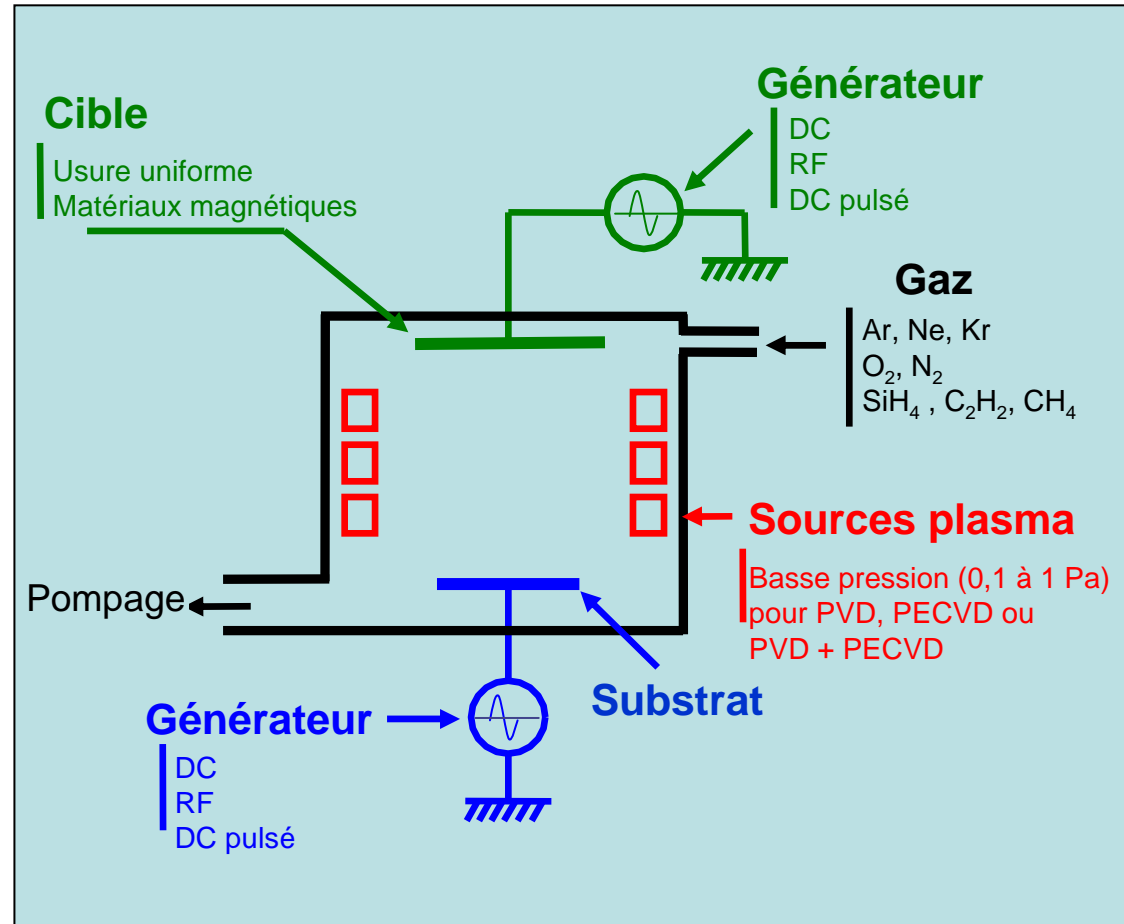
- Pas de limitation liée à la propagation d'ondes

- **Cible / Substrat**

- Simplicité
- Matériaux magnétiques
- Co-pulvérisation
- Usure uniforme des cibles

- **Procédés basse pression**

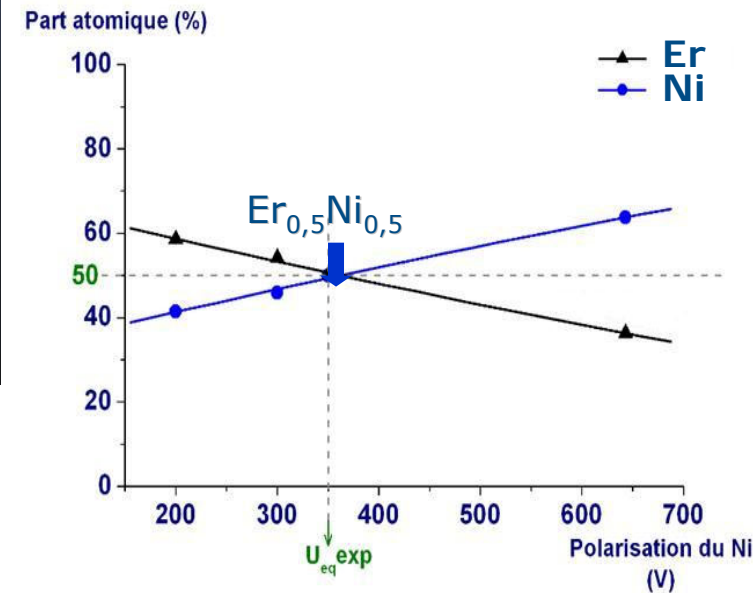
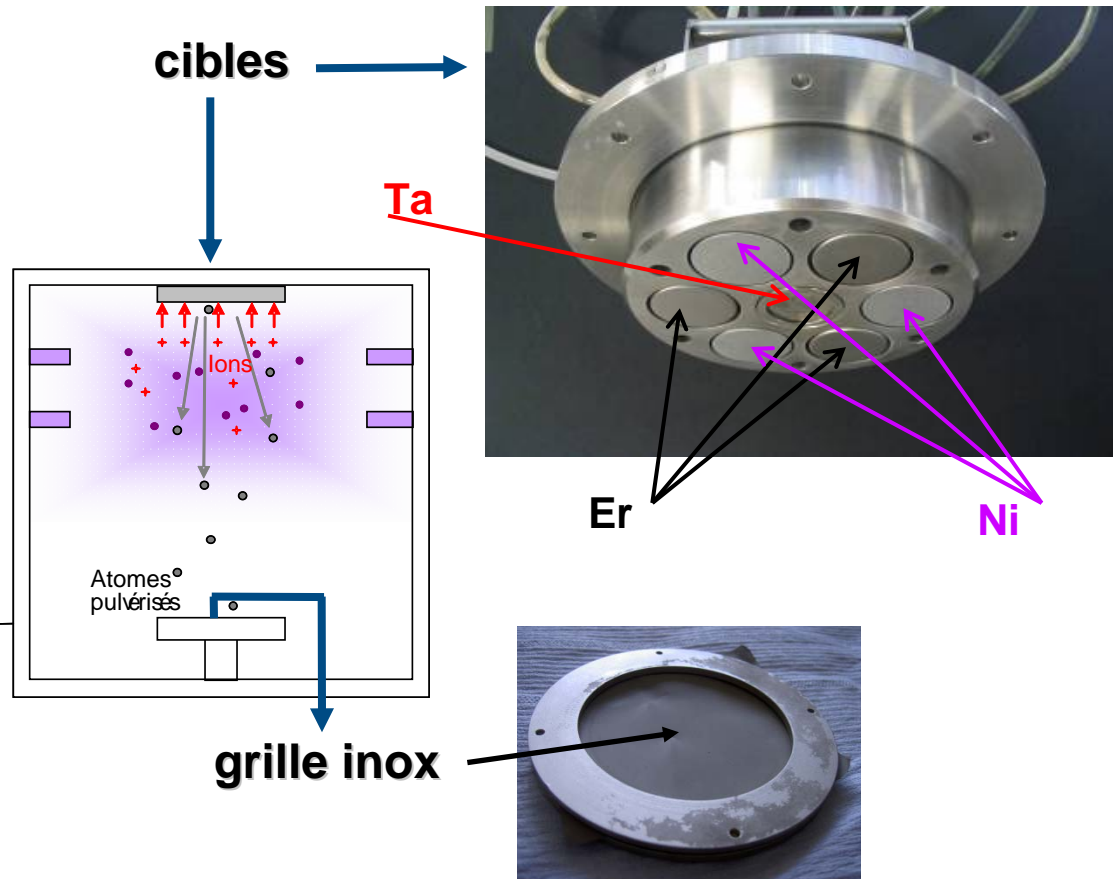
- PAPVD, PAS
- PACVD
- Duplex et/ou séquentiels



Technologies Plasma micro-onde

Sources plasma élémentaires/configuration 3D

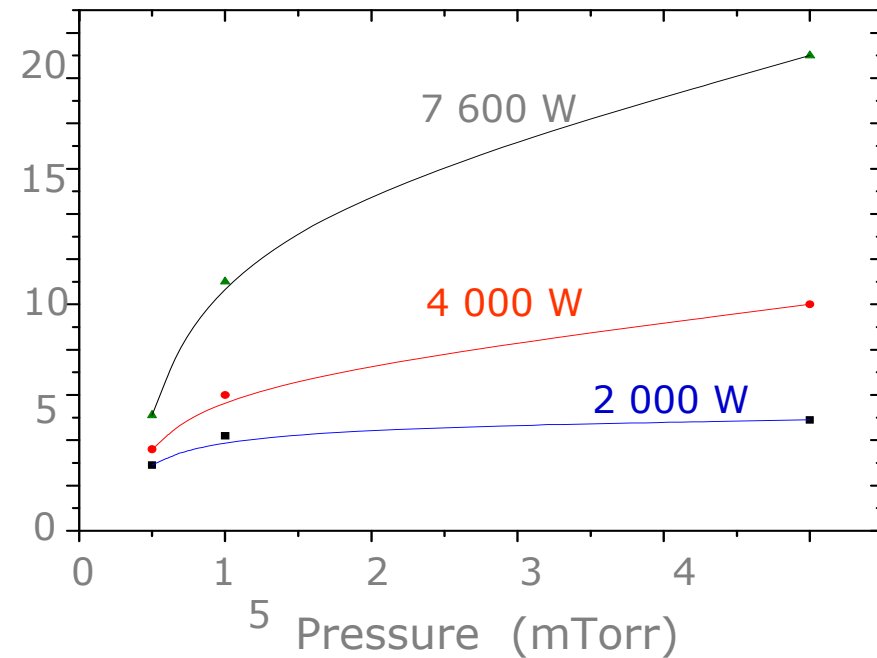
Technologie adaptée au dépôt d'alliages complexes (binaires, ternaires) à stœchiométrie contrôlée



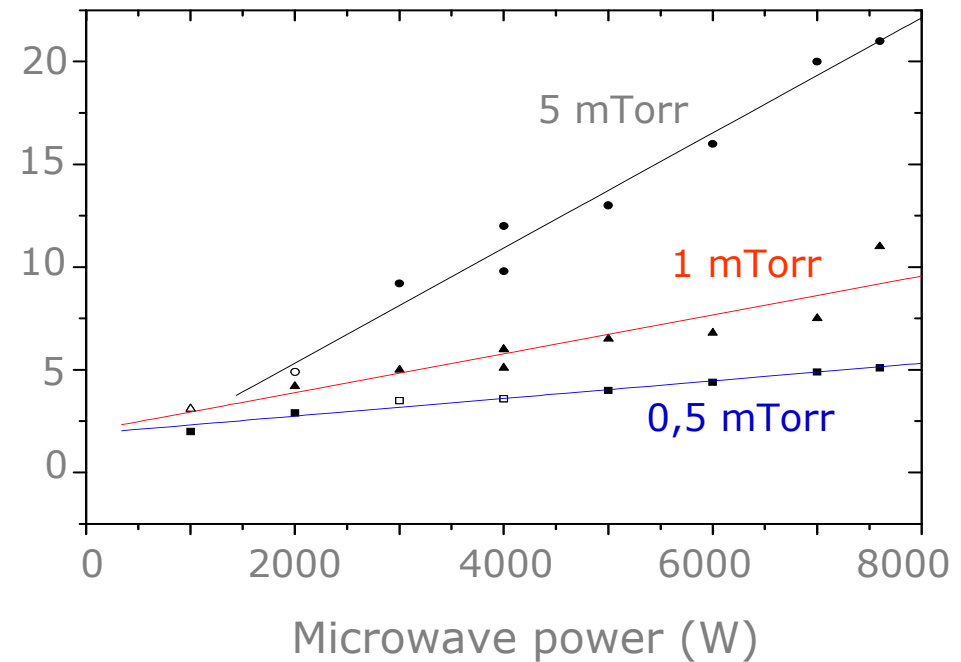
Contrôle de la stœchiométrie des alliages par contrôle de la tension de polarisation

48 sources dipolaires

Ion density n_i ($\times 10^{11}$ cm $^{-3}$)

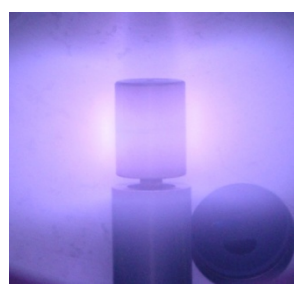
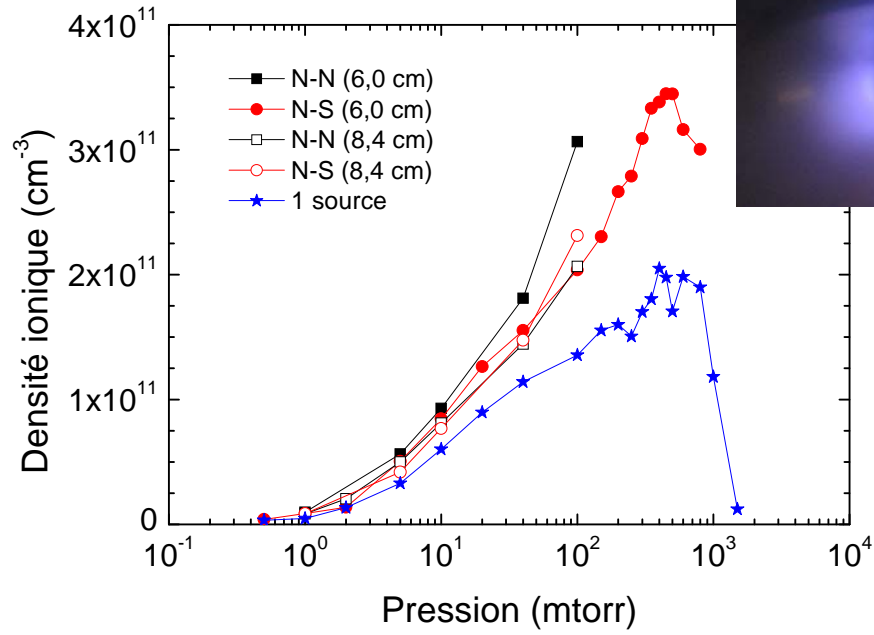
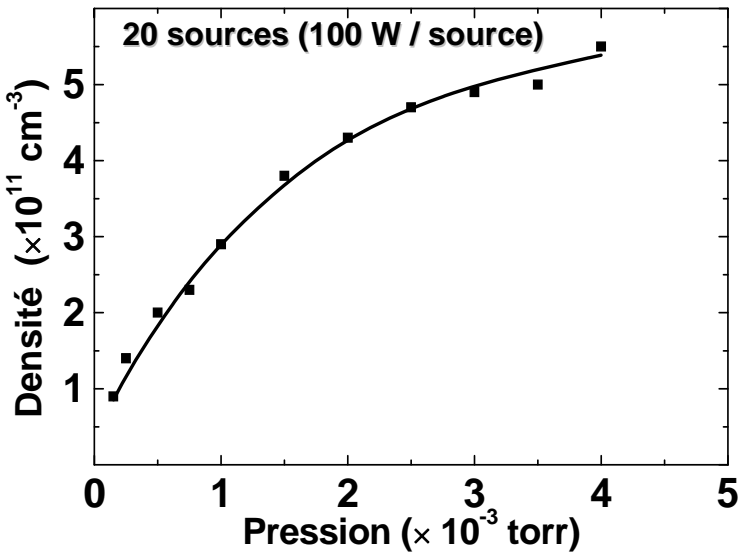


Ion density n_i ($\times 10^{11}$ cm $^{-3}$)



Technologies Plasma micro-onde

Sources plasma élémentaires/Performances



2004



2011



Avantage : dépôt métallique
 Désavantage : direction de diffusion

Avantage : direction de diffusion
 Désavantage : dépôt métallique

□ Flexibilité technologique

- Implémentation de sources élémentaires en fonction de l'application (1D, 2D, 3D)
- Extension d'échelle par multiplication du nombre de sources

□ Flexibilité en termes de procédés

- Séparation des fonctions (flux et énergie des espèces plasma)

□ Flexibilité en termes de domaine opératoire

- Plasma haute densité (haute puissance) et domaine de pression étendu

□ Progrès à faire

- Sources micro-ondes
 - à état solide avec accord d'impédance intégré
- Source unique
 - Pression
 - Procédé (PACVD / PAPVD)

