

NUCLEATION DANS LES PLASMAS à PRESSION ATMOSPHERIQUE

E. Bourgeois, N. Jidenko et JP Borra

Equipe Décharges Electriques et Aérosols du LPGP
CNRS-UPS, F-91405 Orsay; SUPELEC, plateau de Moulon, F-91192 Gif/Yvette

PROBLEMATIQUE

INTERET des PLASMAS pour la NUCLEATION
→ nano-particules aux propriétés contrôlées

PARAMETRES de REGULATION PLASMA

$C_{spéc}, d \rightarrow E/DF \rightarrow$ flux de vapeur /DF
et gradient local de T
- F, V, S, Q \rightarrow Nb de DF/s/cm² et densité de Puissance (W/m²) $\rightarrow T, t$

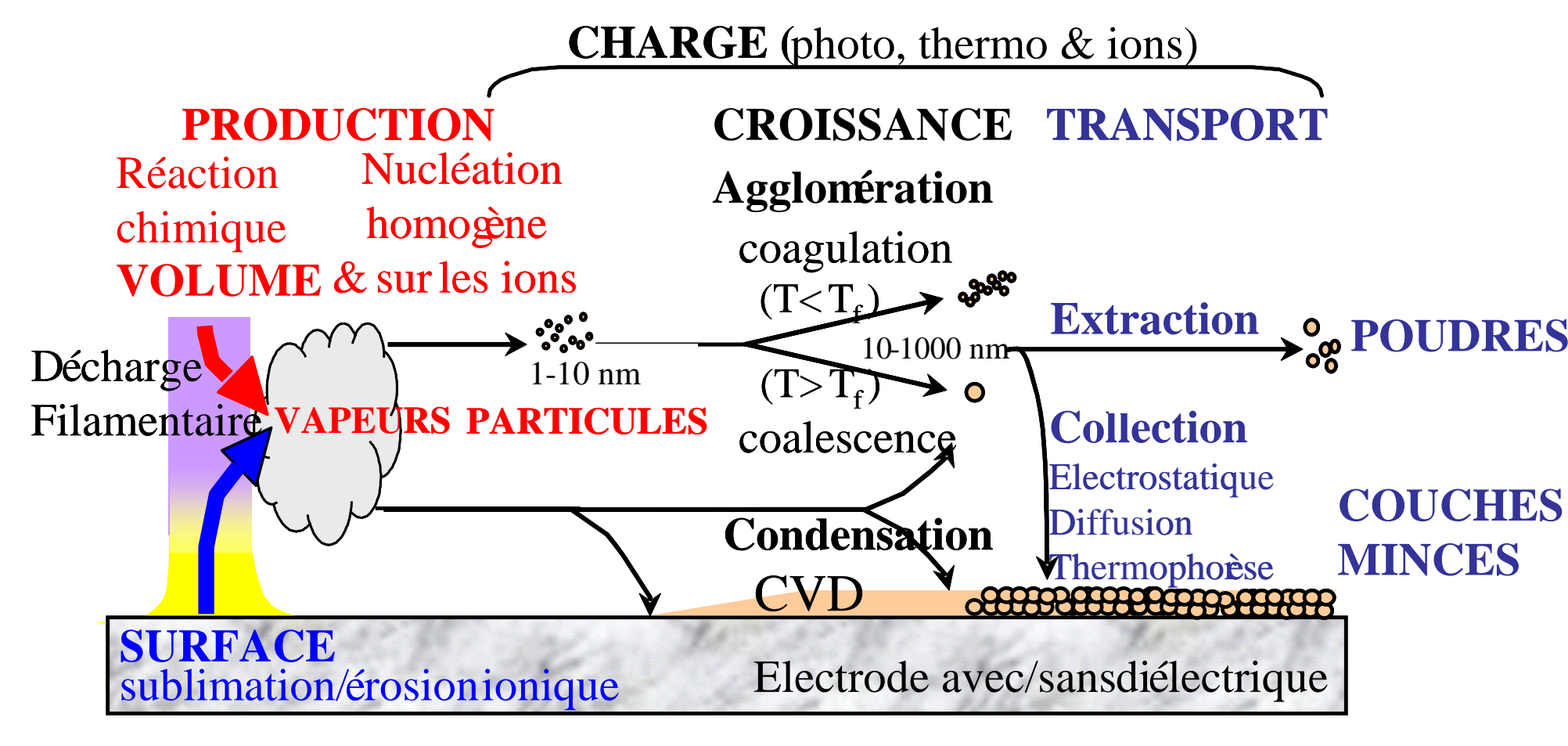
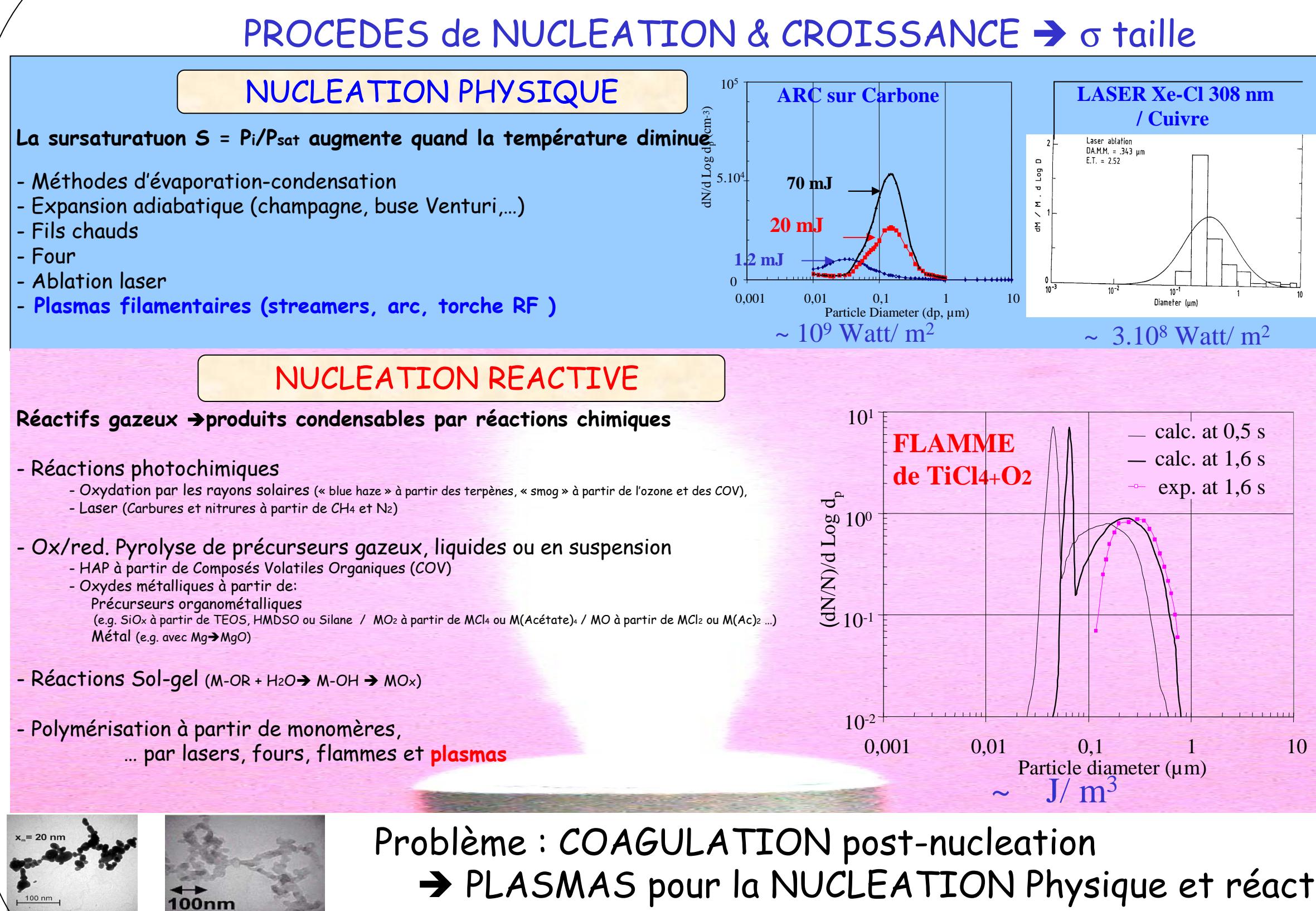
Caractérisation des produits
→ Mécanismes et Optimisation

PROPRIETES des nano-PARTICULES

N_p et d_p particule I
Structure cristalline
 C° d'Agglomération ($T_p, Q_p, C_p(Q_p)$ et $t_{transit}(Q_p)$)

APPLICATIONS

Nano-matériaux aux propriétés structurales et/ou fonctionnelles selon taille



PROPRIETES des nano-Particules (taille, structure crist. des I et agglomérats)
selon { - Energie des DF α Flux de vapeurs $\rightarrow J_{nucléation} \rightarrow N_p$
- Gradient THERMIQUE /DF \rightarrow Structure cristalline
- Débit $\alpha 1/C_p, \tau_{coag}$ et J_p (W/m²) $\alpha T \rightarrow$ taille et structure agglomérats } des réacteurs à Décharges Filamentaires

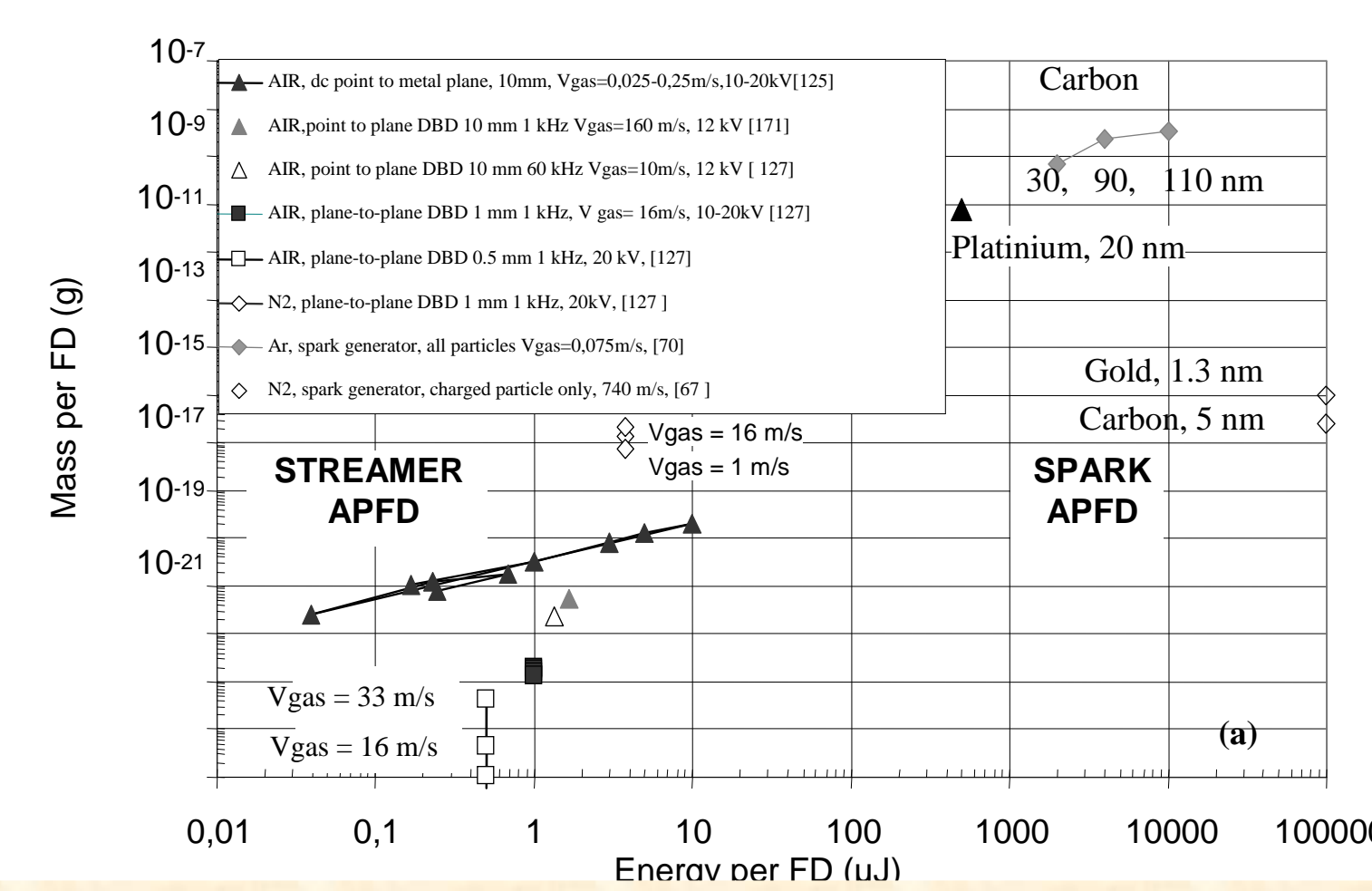
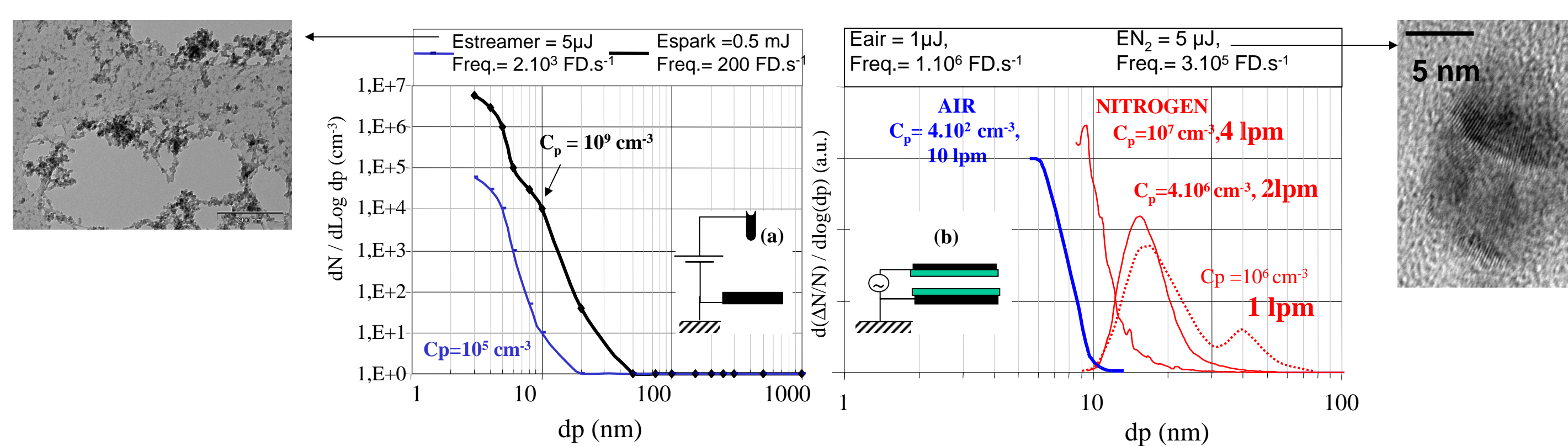
NUCLEATION PHYSIQUE

- 1) ORIGINE des VAPEURS = CATHODE [Production (kg/filament) $\alpha 1/\Delta H_{vaporisation}$]
- 2) Flux de VAPEUR α Energie par DF et Nombre de df/s/cm² \rightarrow taille
- 3) MATURATION \rightarrow COAGULATION

par interaction Décharge Filamentaire-surface

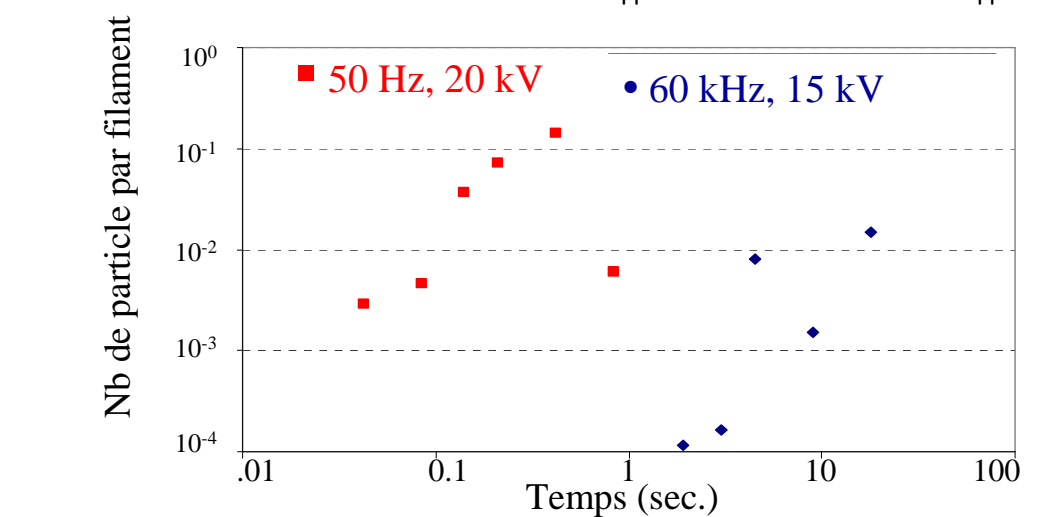
selon Energie/Décharge Filamentaire et nature du plan

selon le temps de maturation

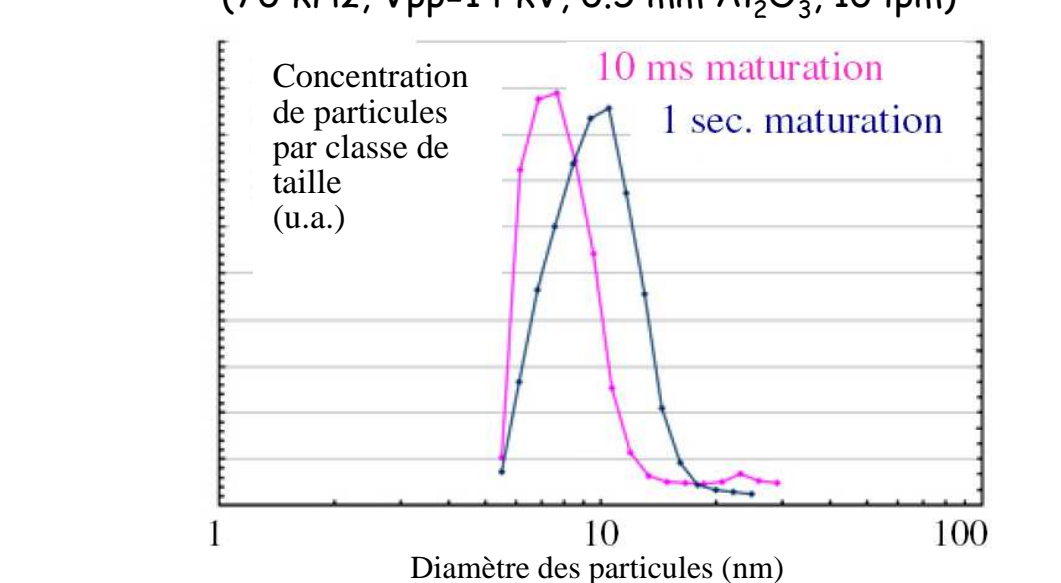


- Production locale de vapeur / DF
1) Flux α énergie/DF
2) Composition α surface,
3) Str. α gradient thermique local
... et
Croissance post-production
 \rightarrow taille finale selon
4) $\tau_{transit}$ et C_p α débit
5) $\beta_{coagulation} \alpha T \alpha P_{tot}$ (W)

Nombre de particules par filament, pour différents temps de maturation en post-décharge comptés à 60 kHz ($V_{pp}=15$ kV) et 50 Hz ($V_{pp}=20$ kV)



Nombre de particules d'Al₂O₃ selon le temps de maturation (70 kHz, $V_{pp}=14$ kV, 0.5 mm Al₂O₃, 10 lpm)



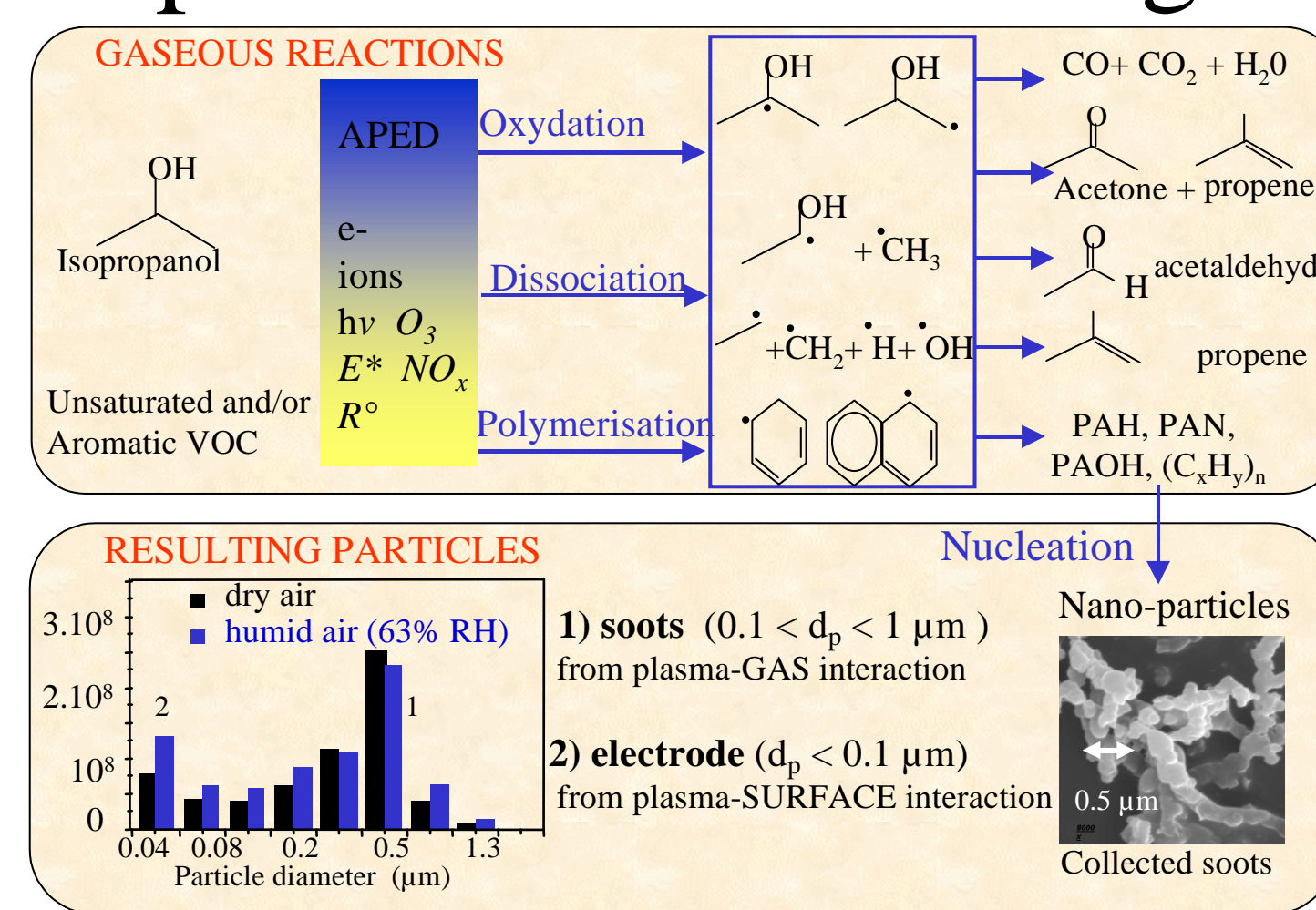
\forall Géométrie et polarité de décharge filamentaire, Interaction FILAMENT-SURFACE \rightarrow VAPEURS d'ELECTRODE \rightarrow NANO-PART. de NATURE, STRUCTURE et TAILLE CONTROLEES selon
1) nature du plan, Energie/DF \rightarrow production/filament et $J_{nucléation}$
2) densité de puissance (W/m²) et débit $\rightarrow C_p, T$ et τ_{coag} en post-décharge
mais MECANISME = Erosion ionique ou sublimation au pied de filament ?

Borra JP (2005) Nucleation and aerosol processing in Atmospheric Pressure Electrical Discharges: powders production, coatings and filtration, J. Phys.D.

NUCLEATION REACTIVE de PRECURSEURS GAZEUX avec ELECTRO-COLLECTION

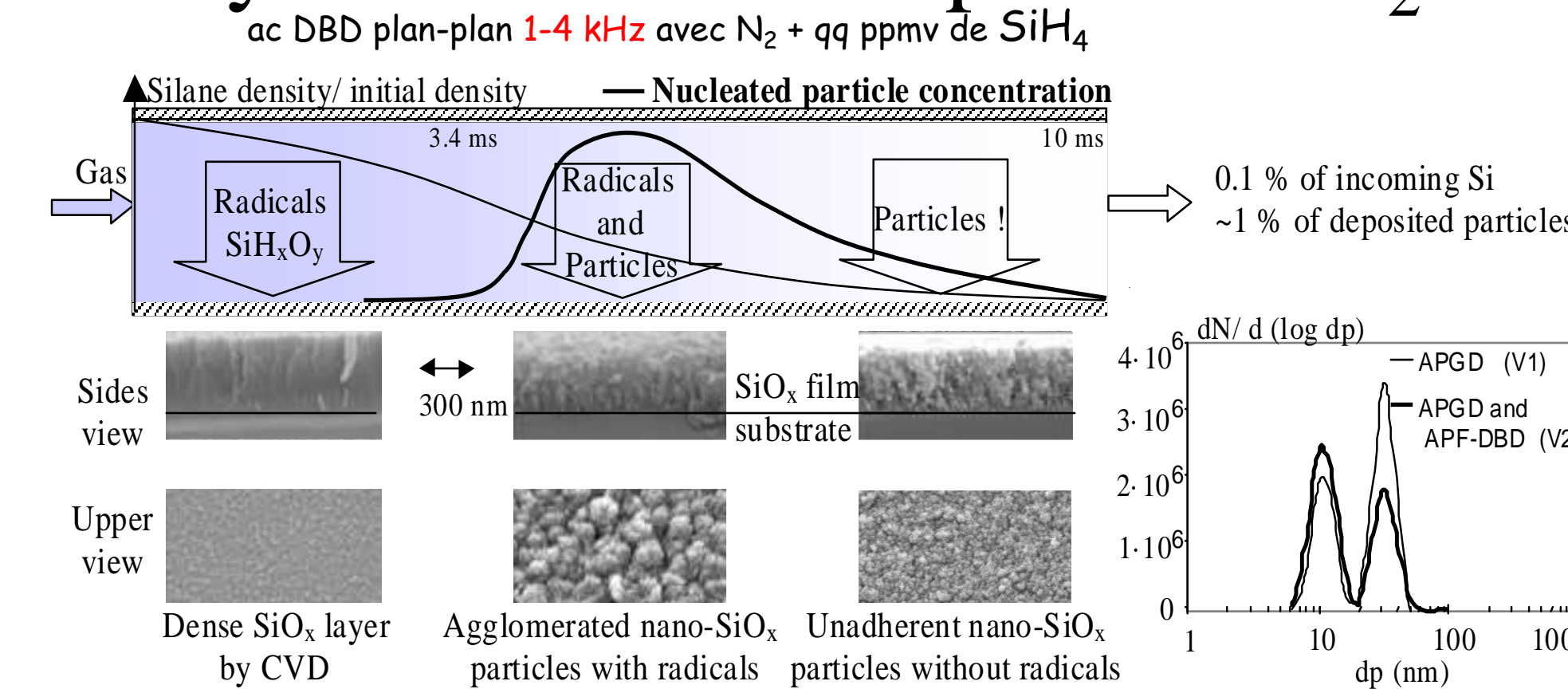
1- Dépollution d'effluents gazeux

- Nanotubes de Carbone par arc dans CH₄ (~ 1960s)
- Amino-acide par arc dans l'air humide (~ 1970s)
- ac-DBD plan-plan 1-10 kHz dans air+VOC (~ 1980s)



Odic E. et al. 2000: T effects on plasma chemical reaction: Application to VOC removal in Electrical discharge for environmental purposes, ed. E.M Van Veldhuizen NOVA Science Publishers USA, 279-312.

2- Dépôt d'oxyde de silicium à partir de N₂/SiH₄/N₂O

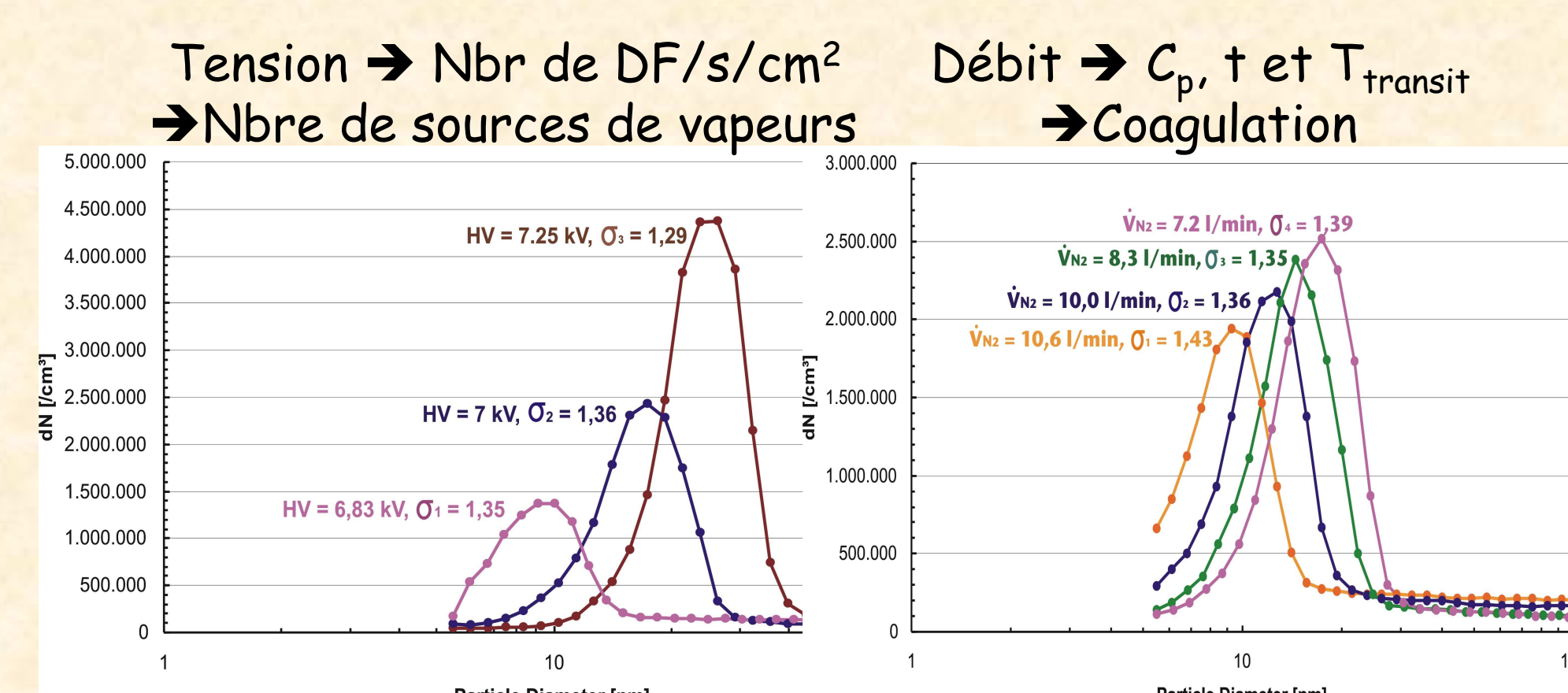


- Nucléation efficace (SiH₄)_g dans les DBD \leftrightarrow (SiO₂)_p
- Dépôt de d_p cst. (20-50nm), \forall conditions de croissance ($C_{précurseur}, P_{plasma}$) \leftrightarrow croissance et charge au delà de (d, μ)_{crit coll.}
- Collection attendue \sim 60-80% \ll évaluation \rightarrow nucléation sur les ions ?

Massines F. et al. 2003 Physics and chemistry of a glow DBD at AP Surf. & Coating Technol. 174-175C 8-14
Jidenko N et al. 2005 Nucleation in air/SiH₄ acDBD for film deposition Surf. & Coat. Techn.

NUCLEATION hétérogène

Production de nano-particules étalons par DBD
DBD (plan-plan 1 mm, 7 kV, 70 kHz)



Mécanismes identifiés
mais BESOIN d'ANALYSES DE COMPOSITION ET STRUCTURE pour valorisation

INTERET des PLASMAS

pour l'ENVIRONNEMENT et les MATERIAUX

