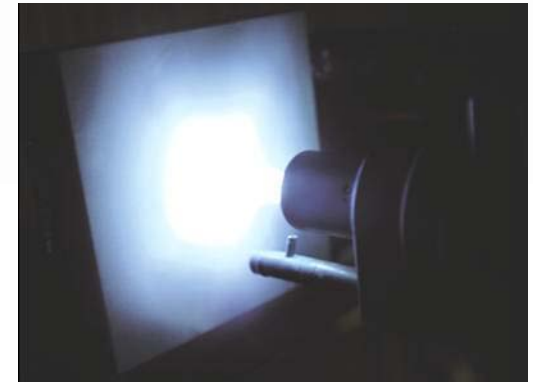
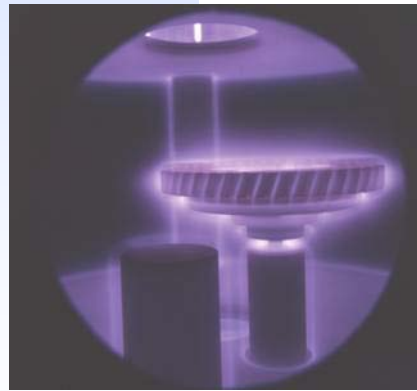




# LERMPS



# Université de Technologie de Belfort Montbéliard

2

AAE – 17 mars 2010



# LERMPS

(Laboratoire d'Etudes et de Recherches sur les Matériaux, les Procédés et les Surfaces)

3

AAE – 17 mars 2017



Une plateforme « projection thermique »  
à Sévenans



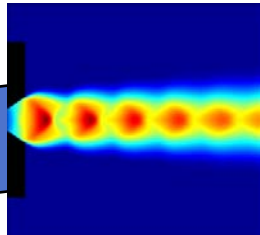
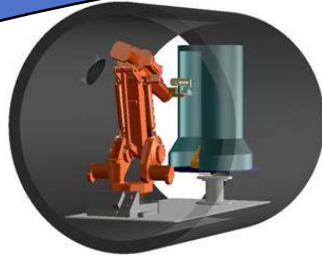
Une plateforme « dépôts en phase vapeur »  
à Montbéliard

# Plateforme « projection thermique »

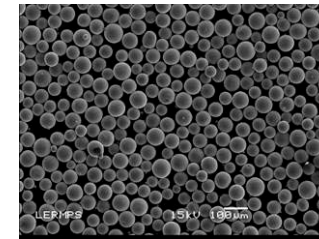
4

AAE – 17 mars 2010

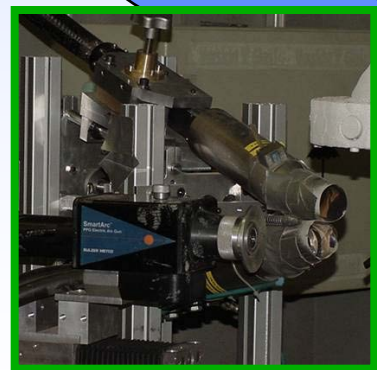
Diagnostic – Modélisation - Robotique



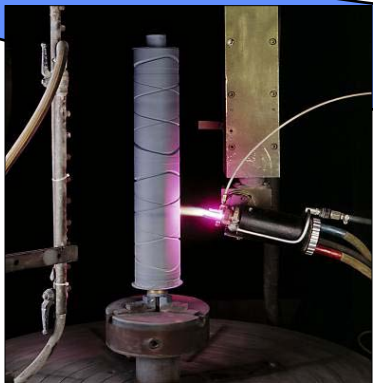
Conception-Elaboration de poudre



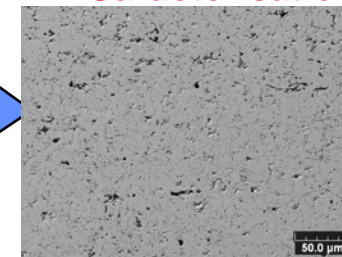
Procédés de projection



LERMPS



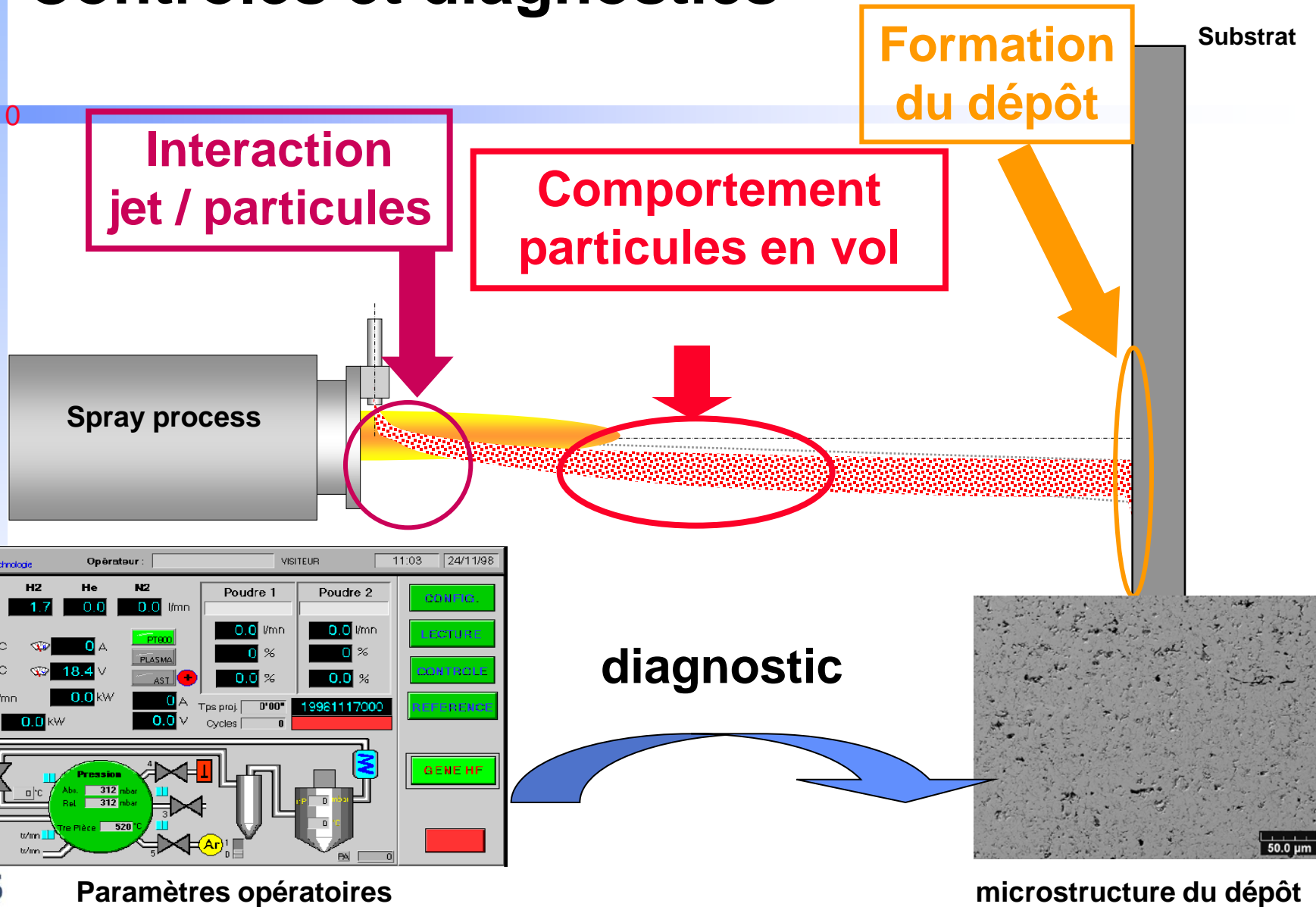
Caractérisation des dépôts



# Contrôles et diagnostics

5

AAE – 17 mars 2010



# Appareils de mesures disponibles au laboratoire

## ➤ Mesures sur les particules

- Particules individuelles  
DPV 2000 (+ CPS 2000)
- Ensemble de particules  
Accuraspray  
Plumespector  
Spraytec

## ➤ Mesures sur le dépôt

- Température du substrat avant dépôt
- Température du dépôt pendant et après projection
- IR mono-wavelength pyromètres , caméra thermique

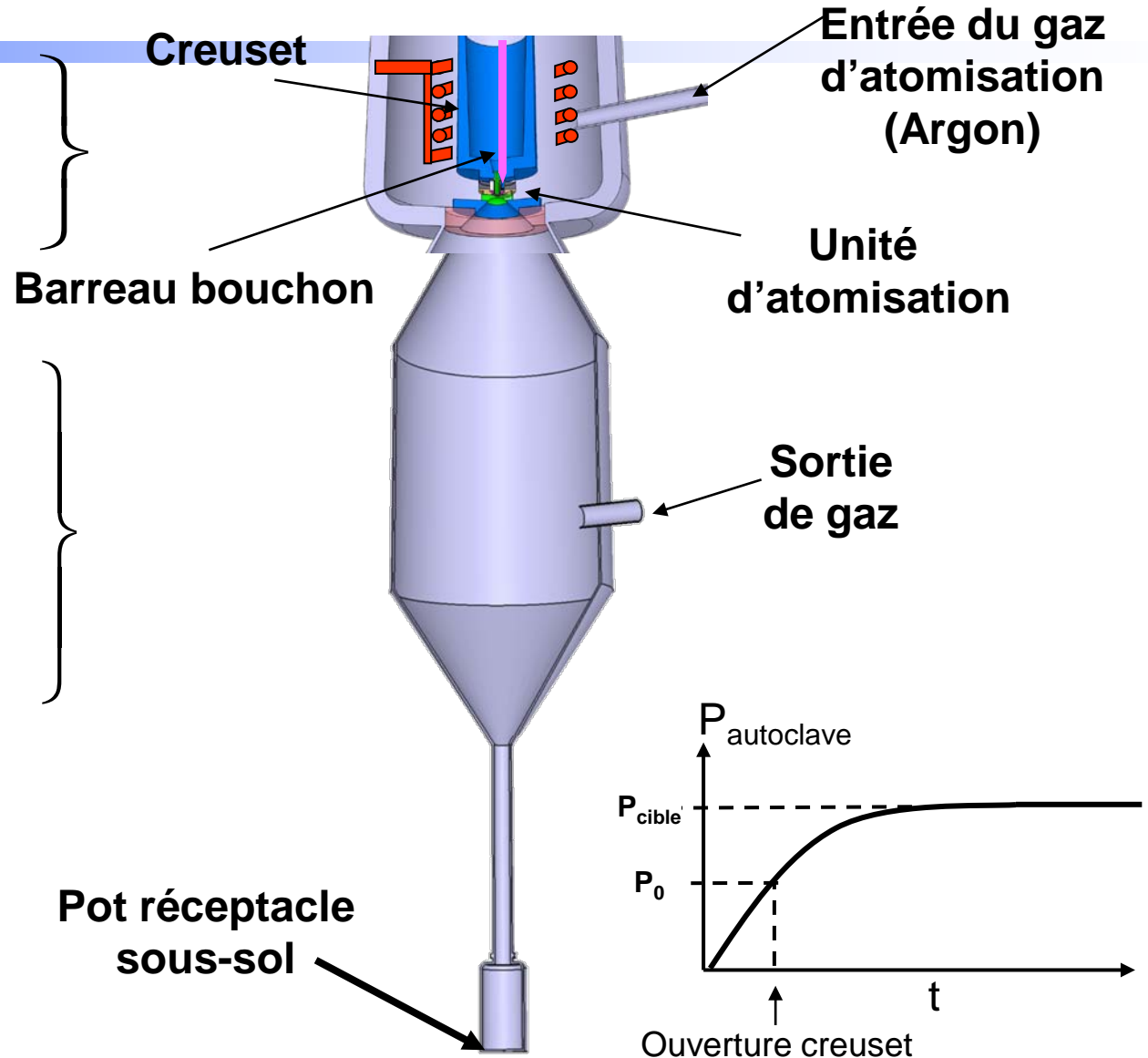
# Conception des poudres : Atomisation d'un jet métallique liquide

7

AAE – 17 mars 2010

*Autoclave*  
*DN 600*

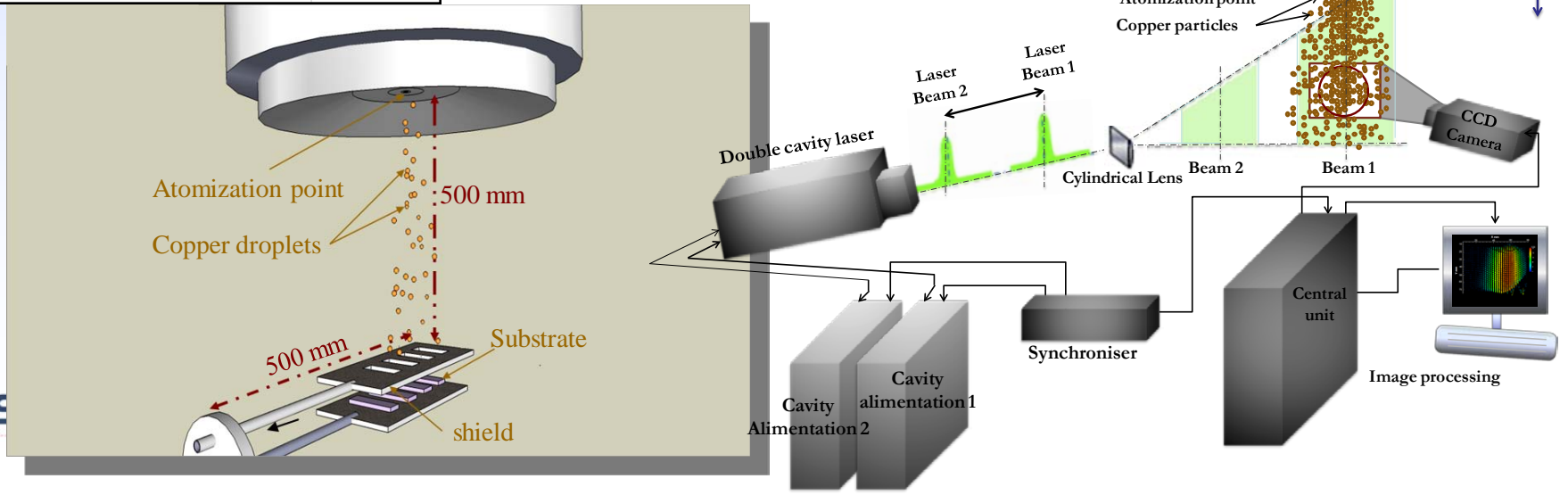
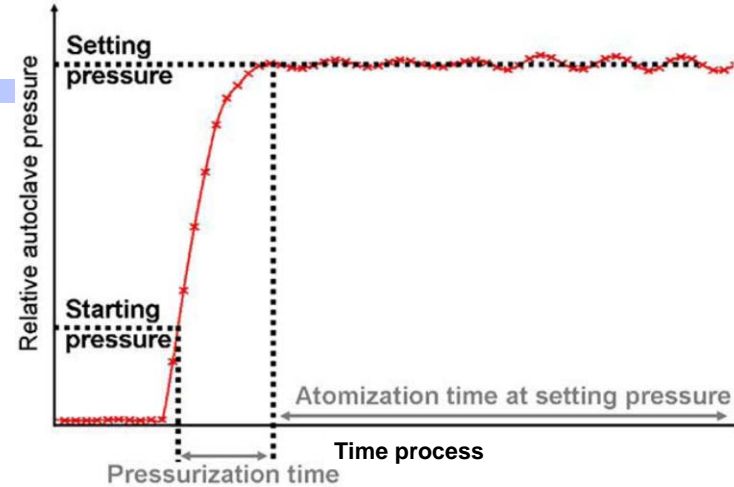
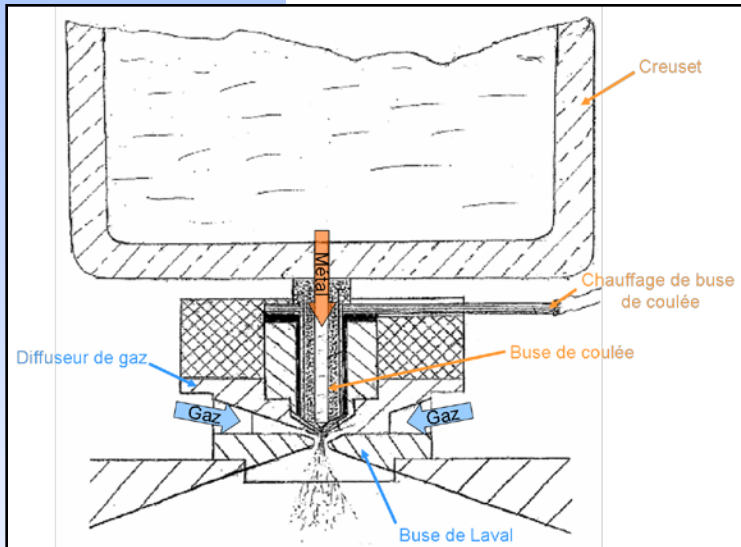
*Chambre*  
*d'atomisation*  
*DN 1000*



# Conception des poudres : Atomisation d'un jet métallique liquide

8

AAE – 17 mars 2010





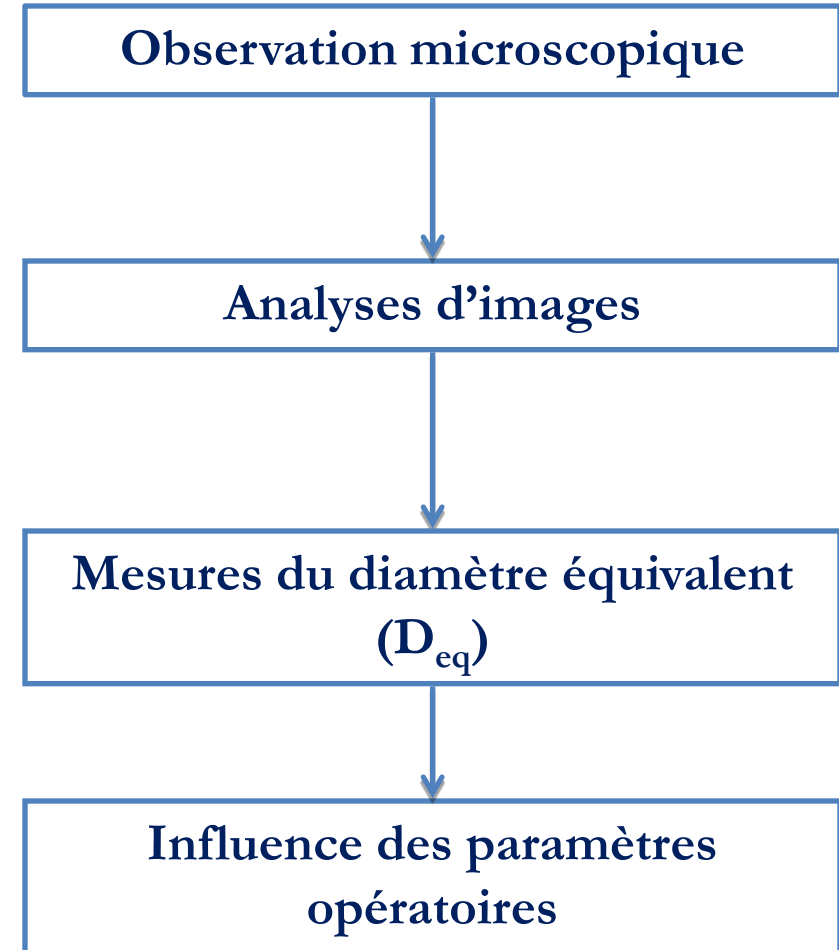
# Conception des poudres : Atomisation d'un jet métallique liquide Analyse des écrasements

9

AAE – 17 mars 2010



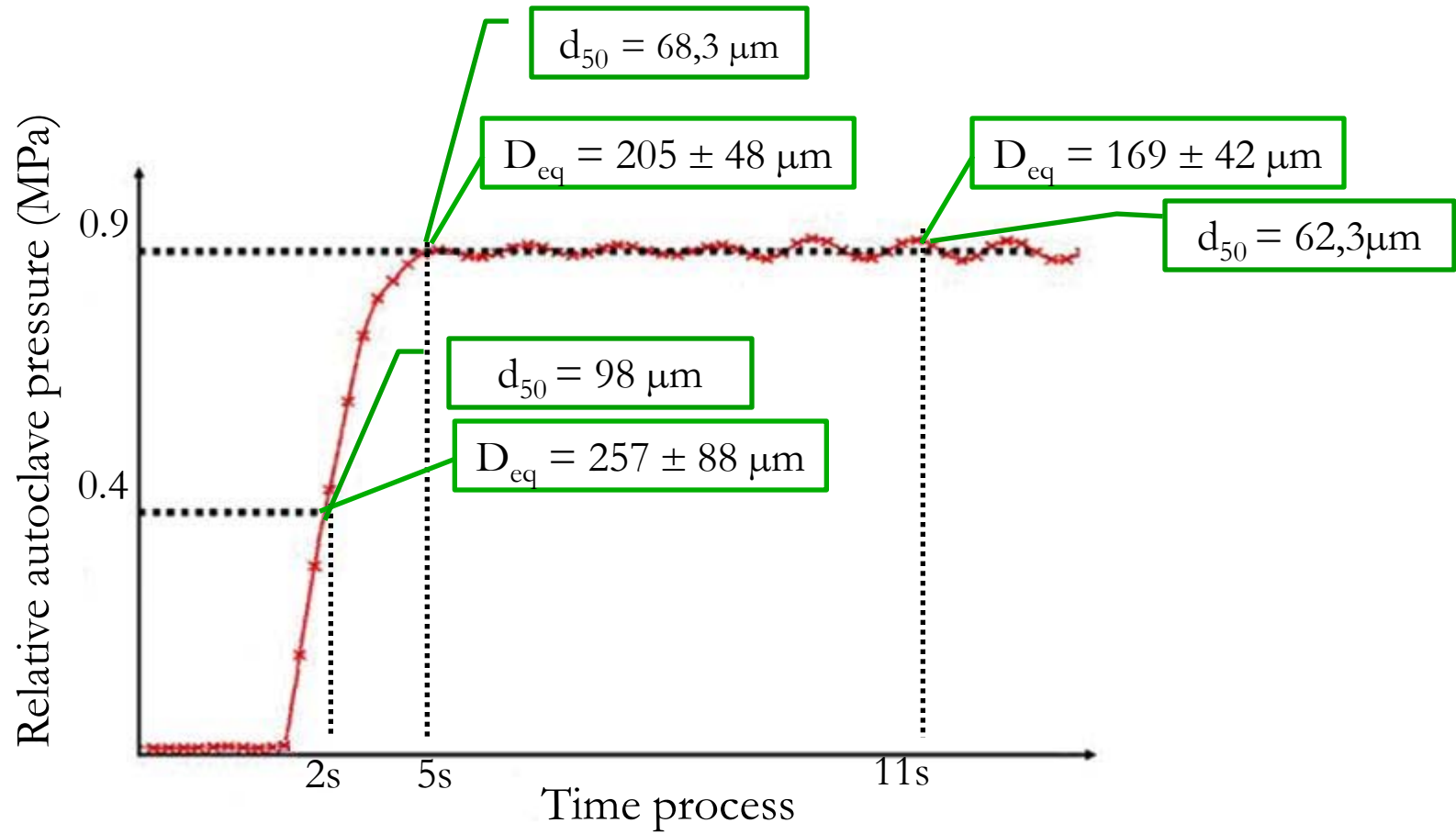
Ecrasement d'une particule de cuivre sur  
substrat métallique



# Conception des poudres : Atomisation d'un jet métallique liquide Analyse des écrasements

10

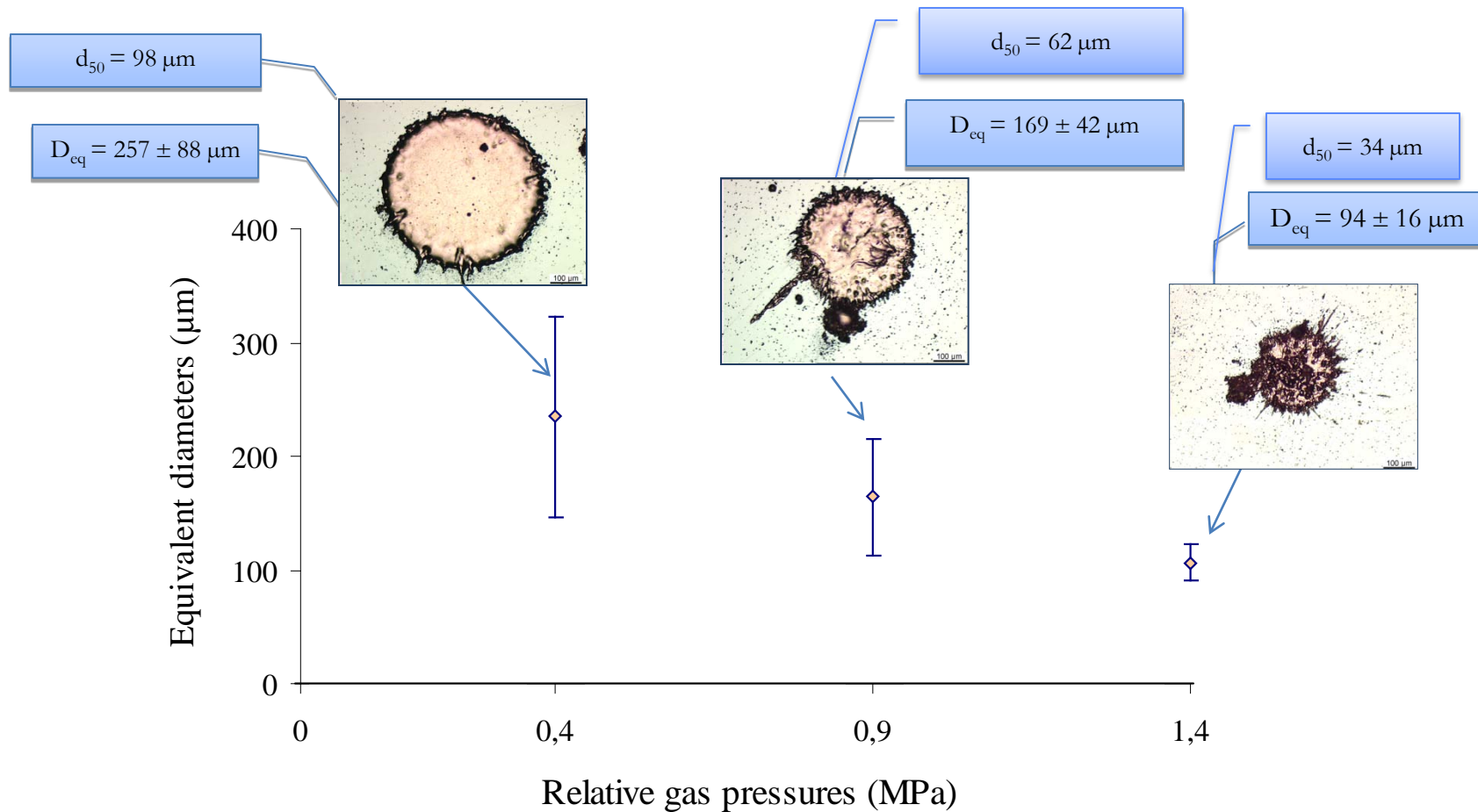
AAE – 17 mars 2010



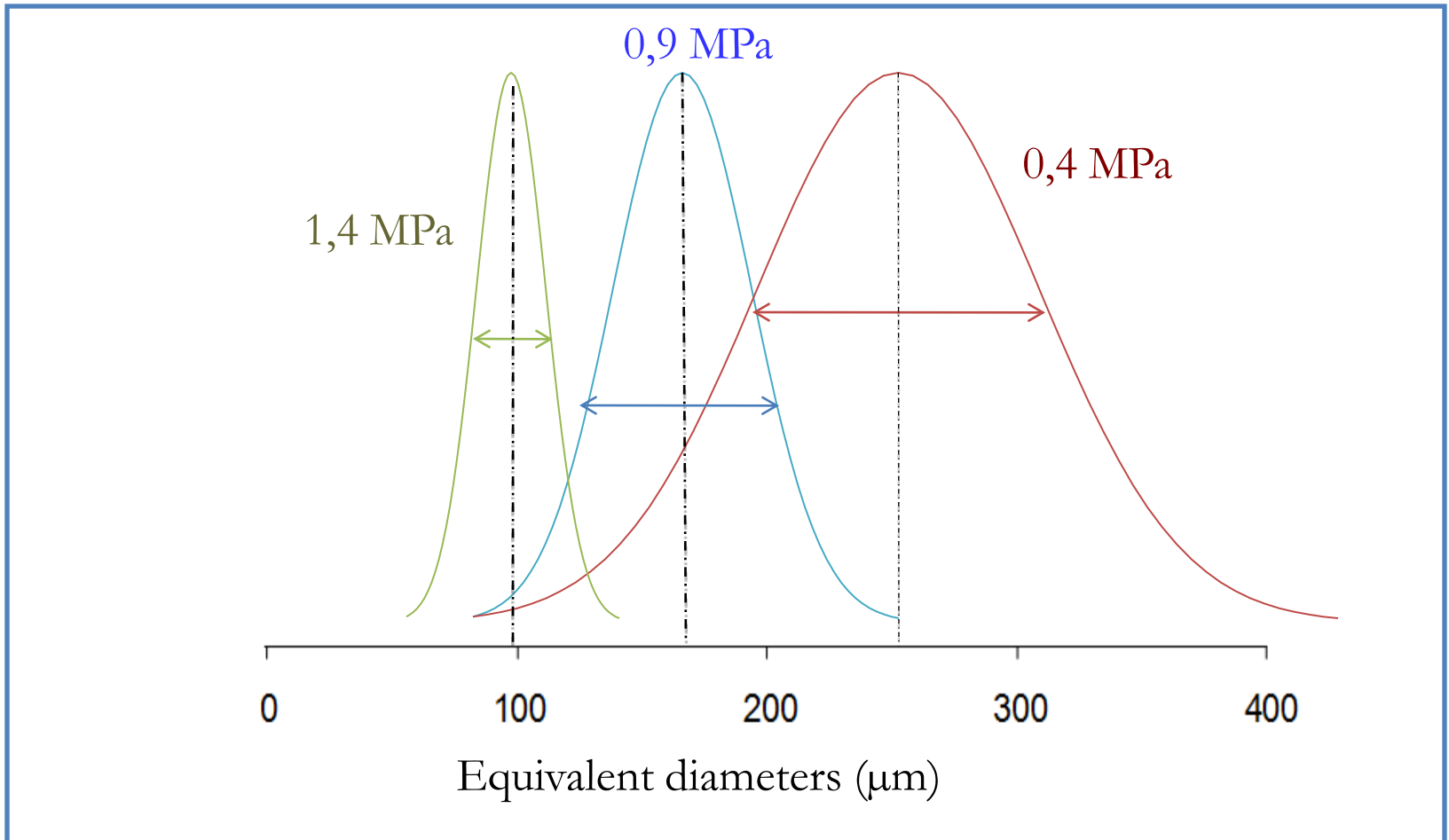
**Diminution du diamètre des particules et du diamètre équivalent avec le temps d'atomisation**

# Conception des poudres : Atomisation d'un jet métallique liquide Analyse des écrasements

AAE – 17 mars 2010



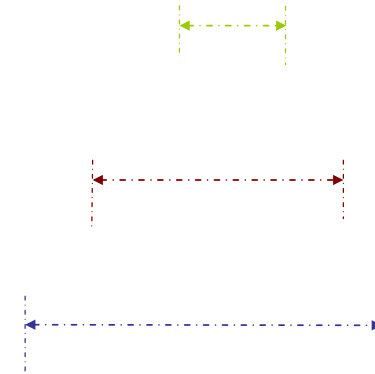
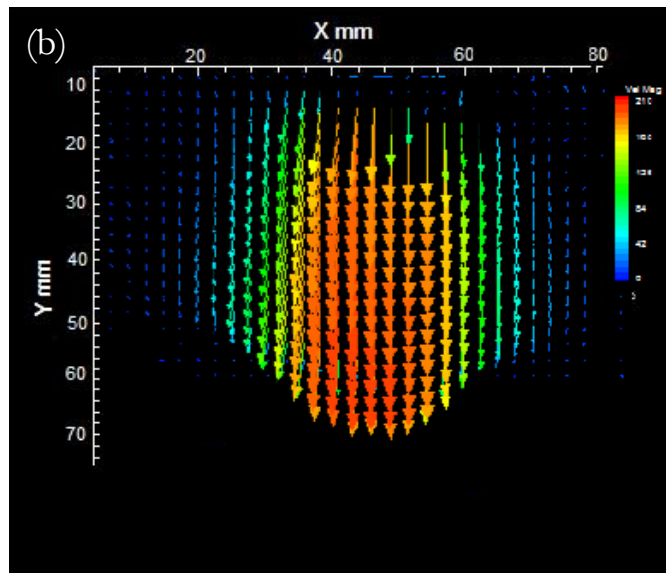
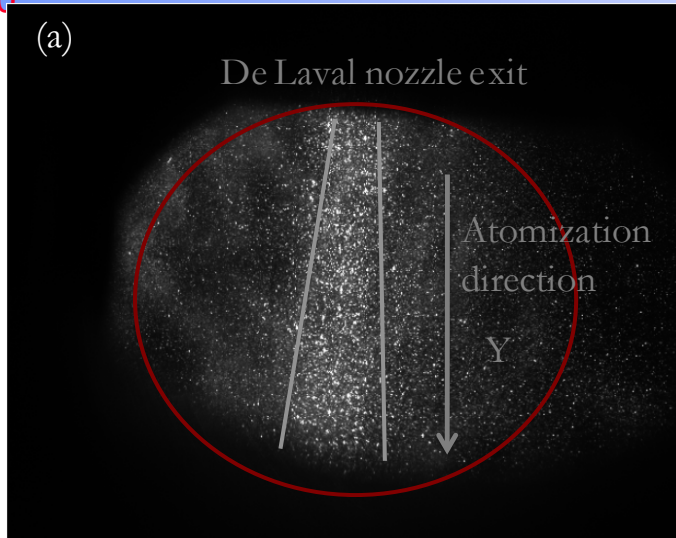
# Conception des poudres : Atomisation d'un jet métallique liquide Analyse des écrasements



# Conception des poudres : Atomisation d'un jet métallique liquide Mesure de vitesse des particules

13

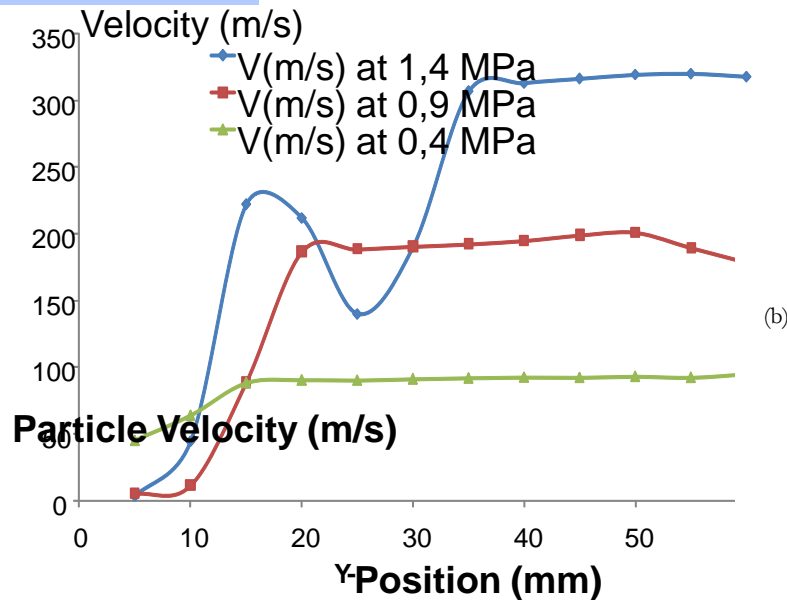
AAE - 17 mars 2010



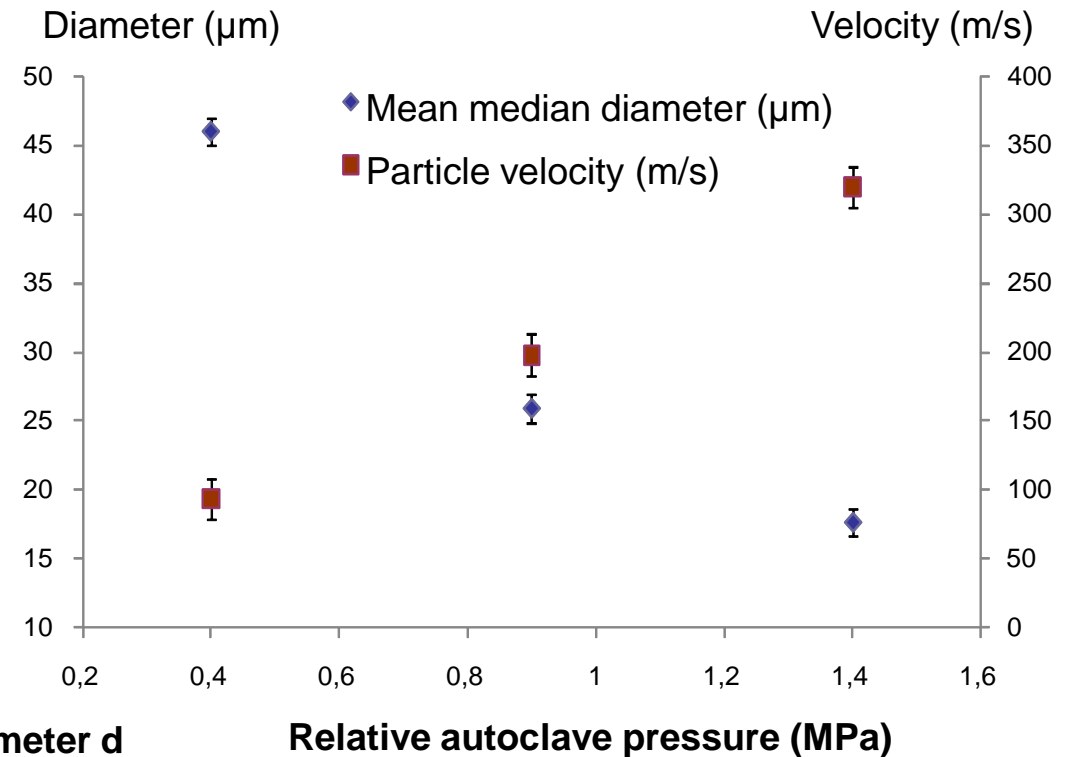
# Conception des poudres : Atomisation d'un jet métallique liquide Mesure de vitesse des particules

14

AAE – 17 mars 2010



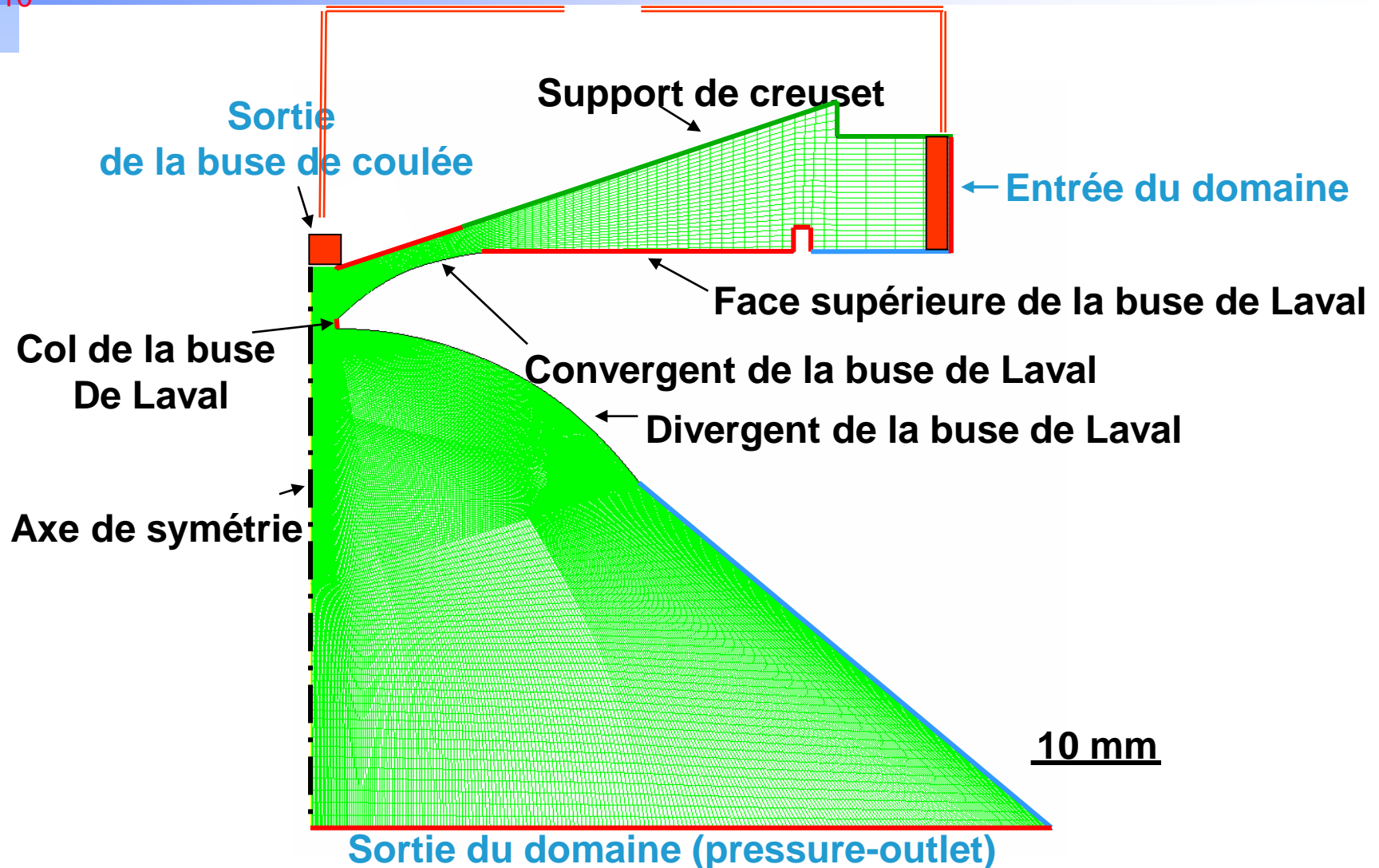
(b)



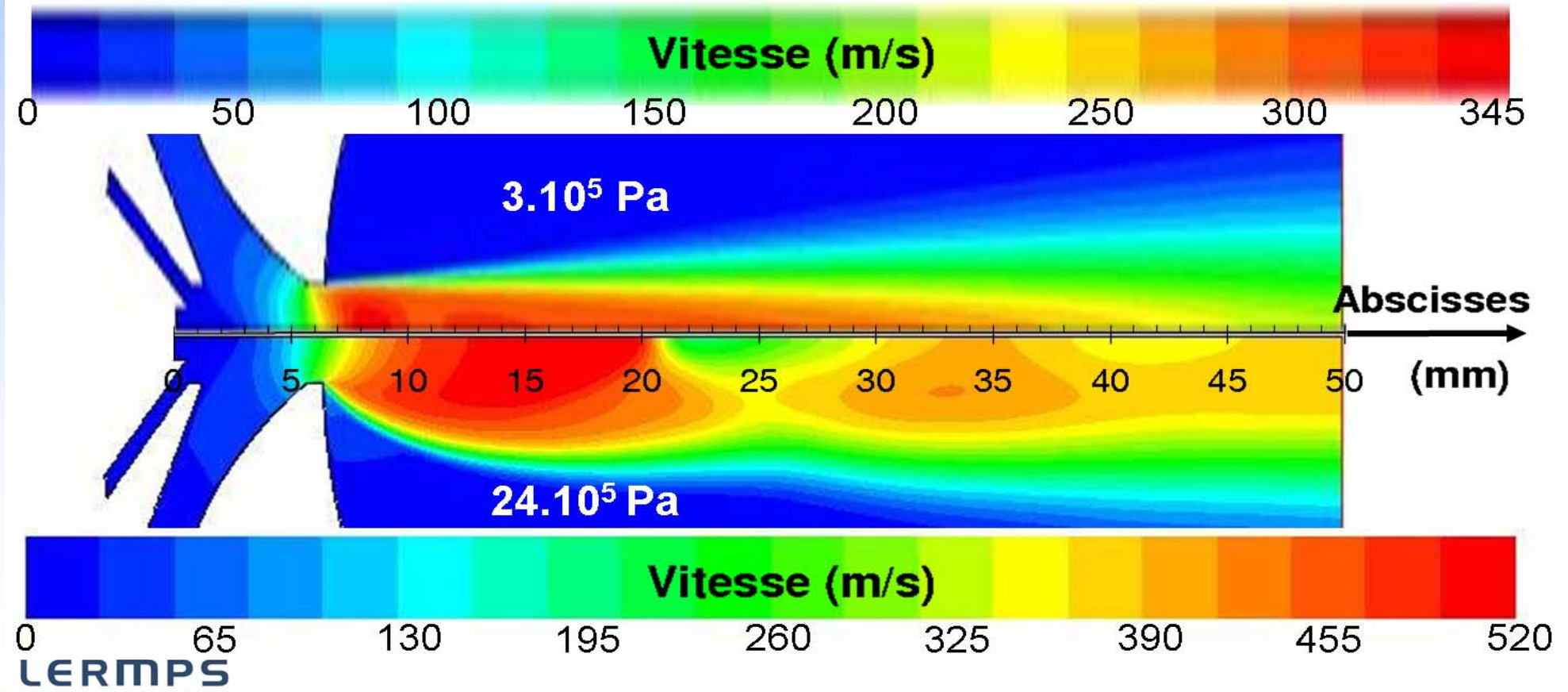
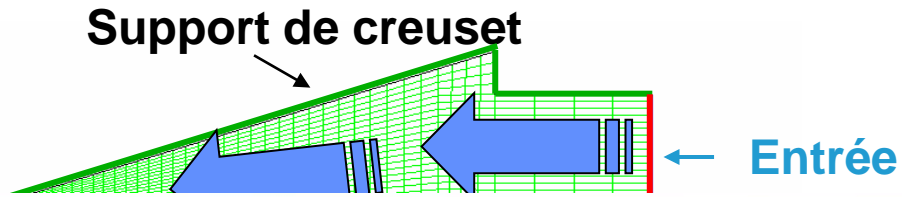
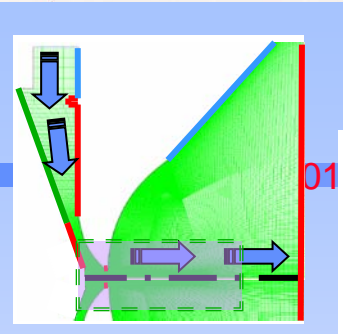
# Conception des poudres : Atomisation d'un jet métallique liquide Modélisation

15

AAE – 17 mars 2010



# Conception des poudres : Atomisation d'un jet métallique liquide Modélisation





# Procédé Plasma

## APS – SPS – VLPPS

# 17

## Mesures sur les particules en vol

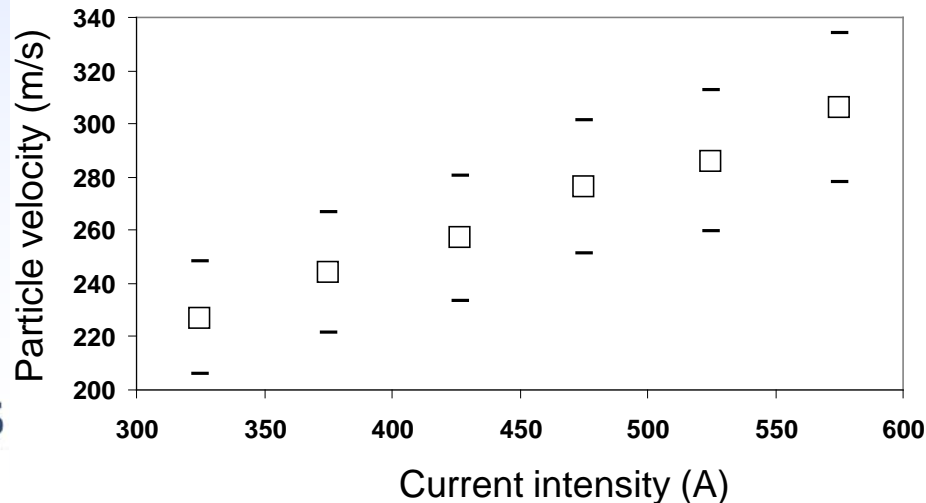
AAE – 17 mars 2010

F4 plasma torch  
40/6 L/min Ar/H<sub>2</sub>  
I = 325 A to 575 A

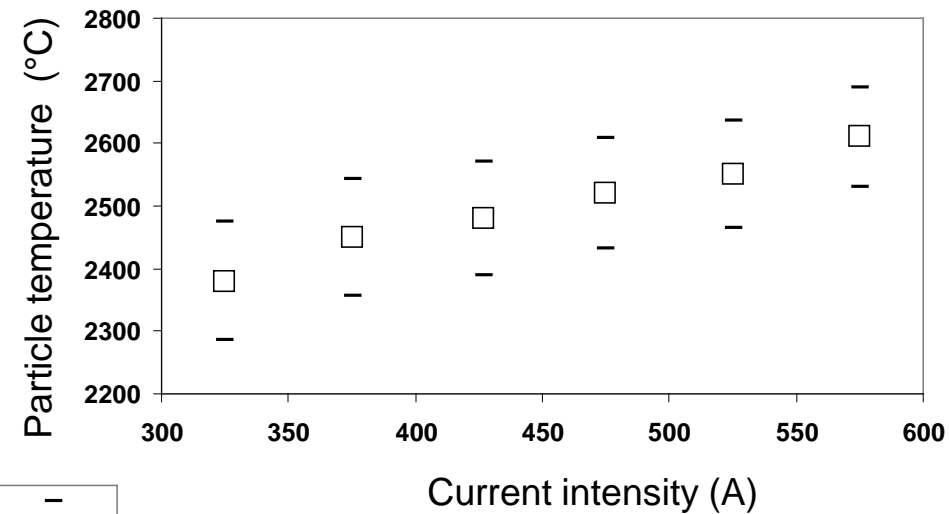
Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> powder (22- 45µm)

125 mm spray distance

Evolution de la vitesse des particules  
en fonction de l'intensité



Evolution de la température des particules  
en fonction de l'intensité

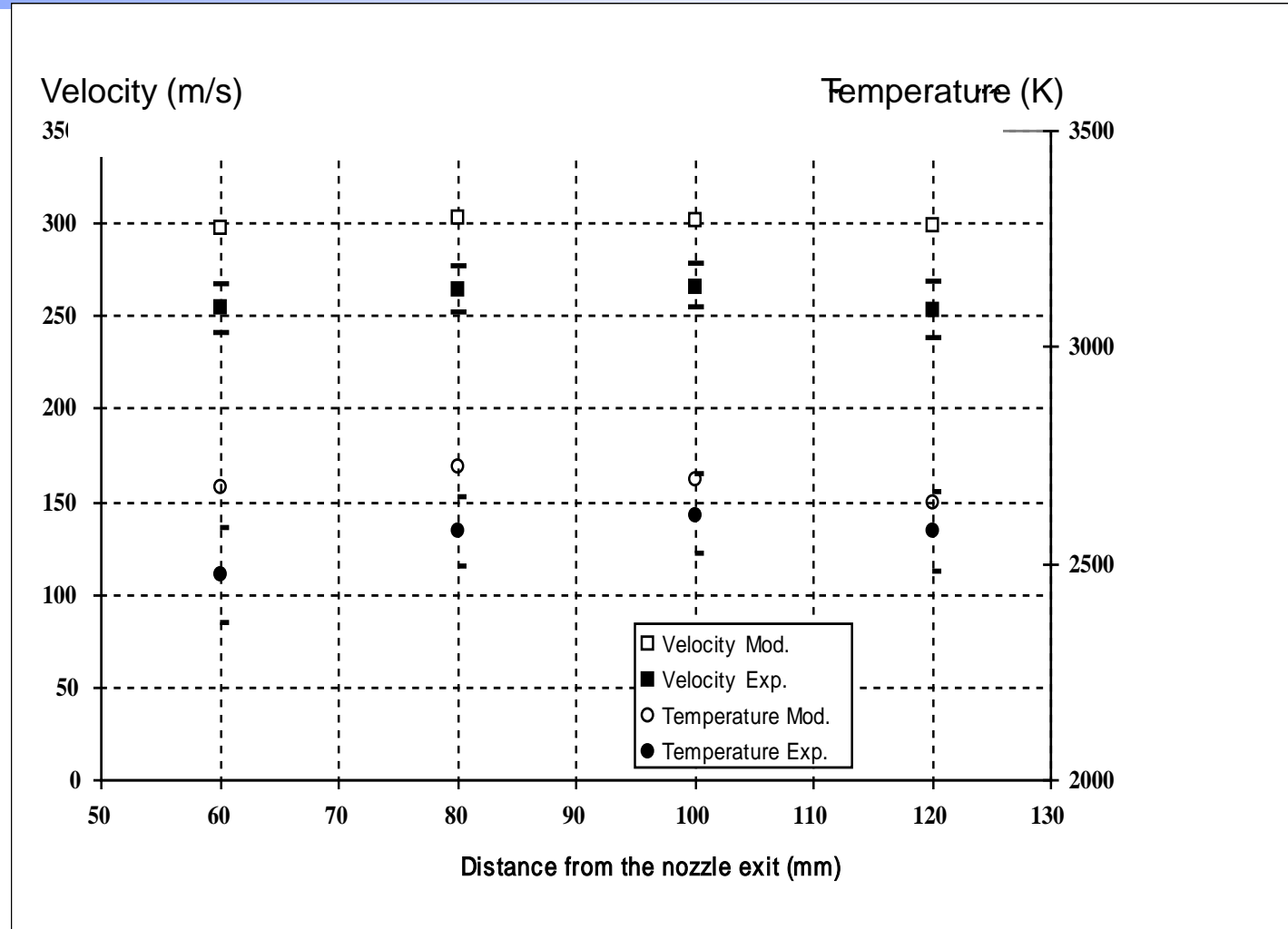


AAE – 17 mars 2010

F4 torch  
40/ 14 L/min Ar/H<sub>2</sub>  
I = 575 A

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> powder (45- 90 μm)  
Mean diameter : 60 μm

Diagnostic on the jet axis  
Fluent code for modeling



# Procédé Plasma

## APS – SPS – VLPPS

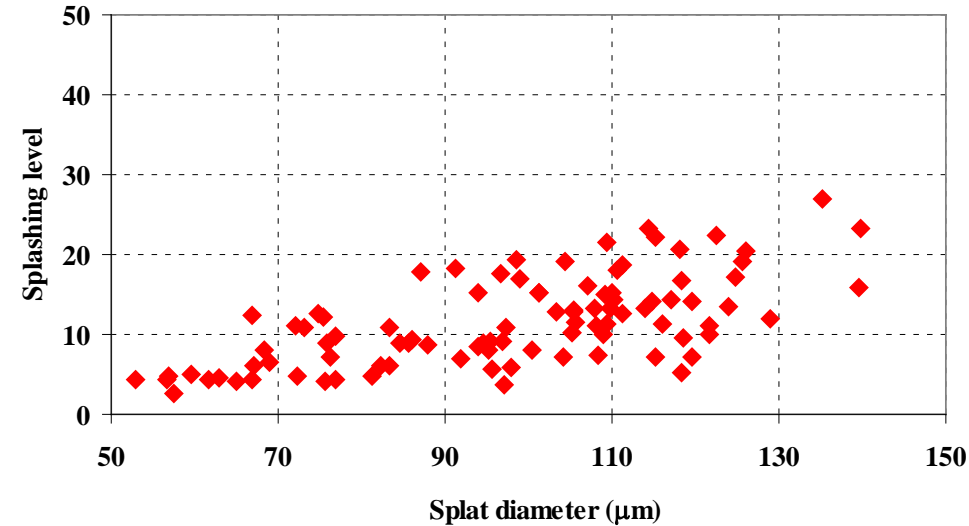
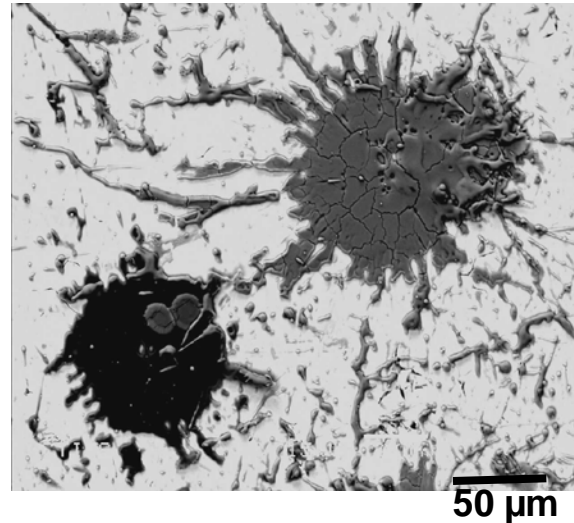
### Analyses des écrasements

19

AAE – 17 mars 2010

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> poudre (22- 45µm)  
40/6 L/min Ar/H<sub>2</sub>

I = 575 A  
Substrat en acier poli



125 mm distance de projection

Nombre de Reynolds

$$Re = \frac{d_p \cdot v_p \cdot \rho_p}{\mu_p}$$

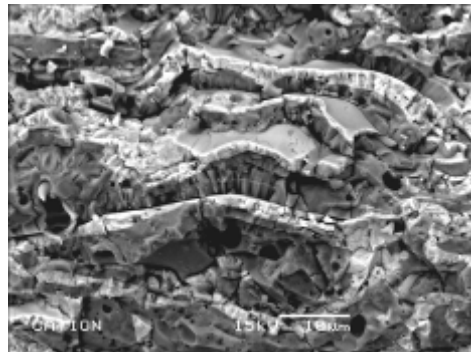
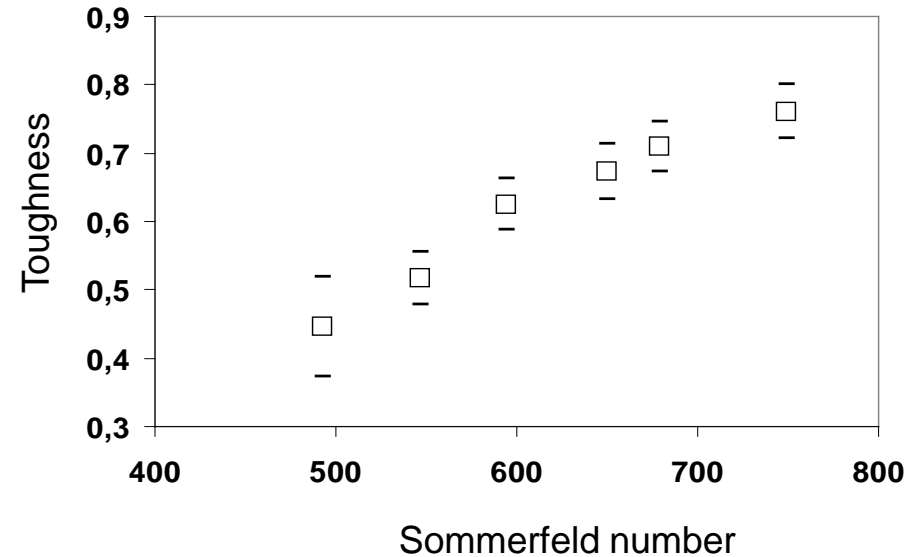
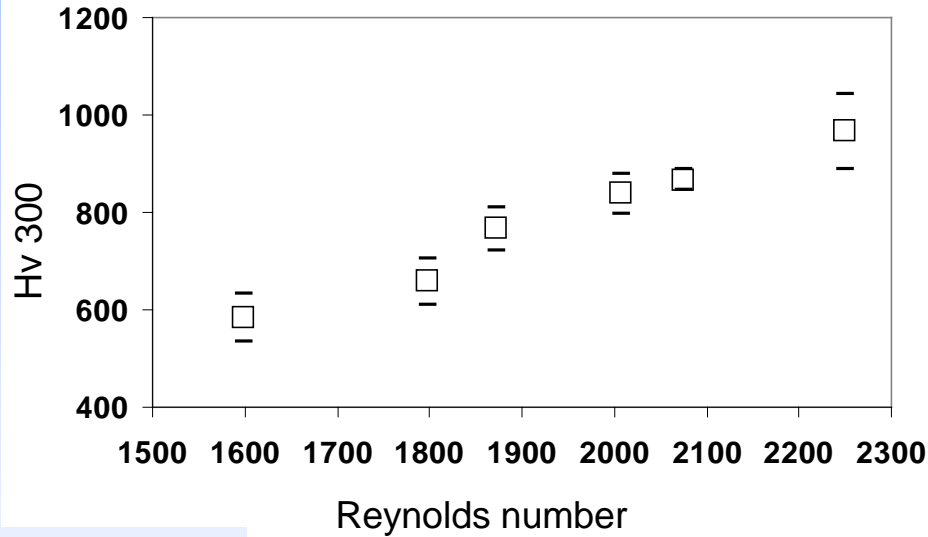
Nombre de Weber

$$We = \frac{d_p \cdot v_p^2 \cdot \rho_p}{\sigma_p}$$

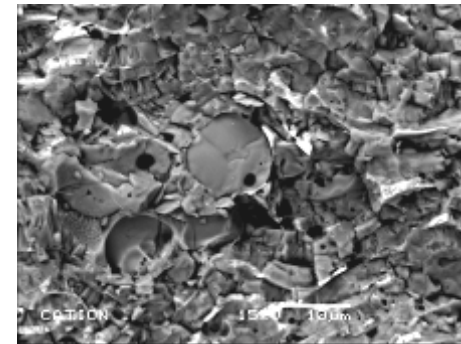
Nombre de Sommerfeld

$$K = \sqrt{We \cdot \sqrt{Re}}$$

AAE – 17 mars 2010



I = 325 A



I = 575 A

# Procédé Plasma

## APS – SPS – VLPPS

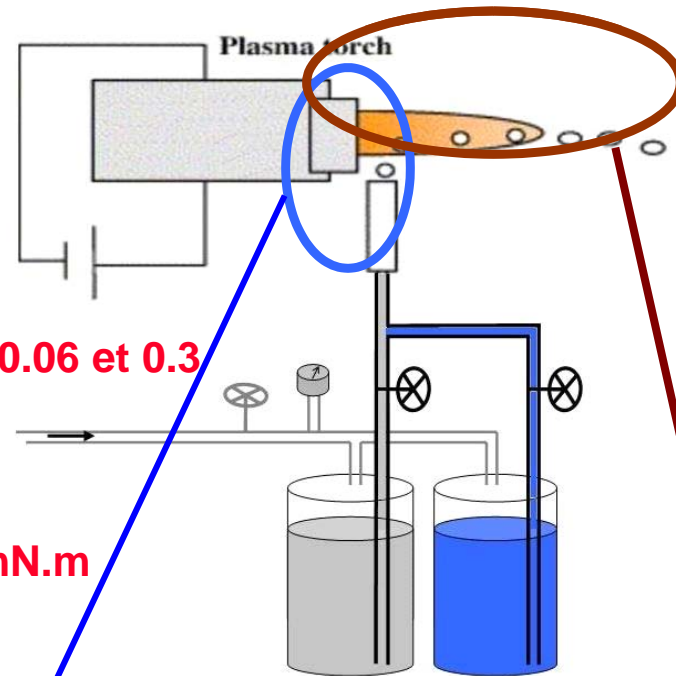
21

AAE – 17 mars 2010

### Paramètres injecteur

- Mélange interne ou externe
- GLR (rapport gaz sur liquide): 0.06 et 0.3
- Viscosité : 6 et 12 Pa.s
- Tension de surface : 25 et 38 mN.m

Caractérisation de l'injection



### Paramètres plasma

- Angle d'injection
- Paramètres de puissance

Caractérisation du jet

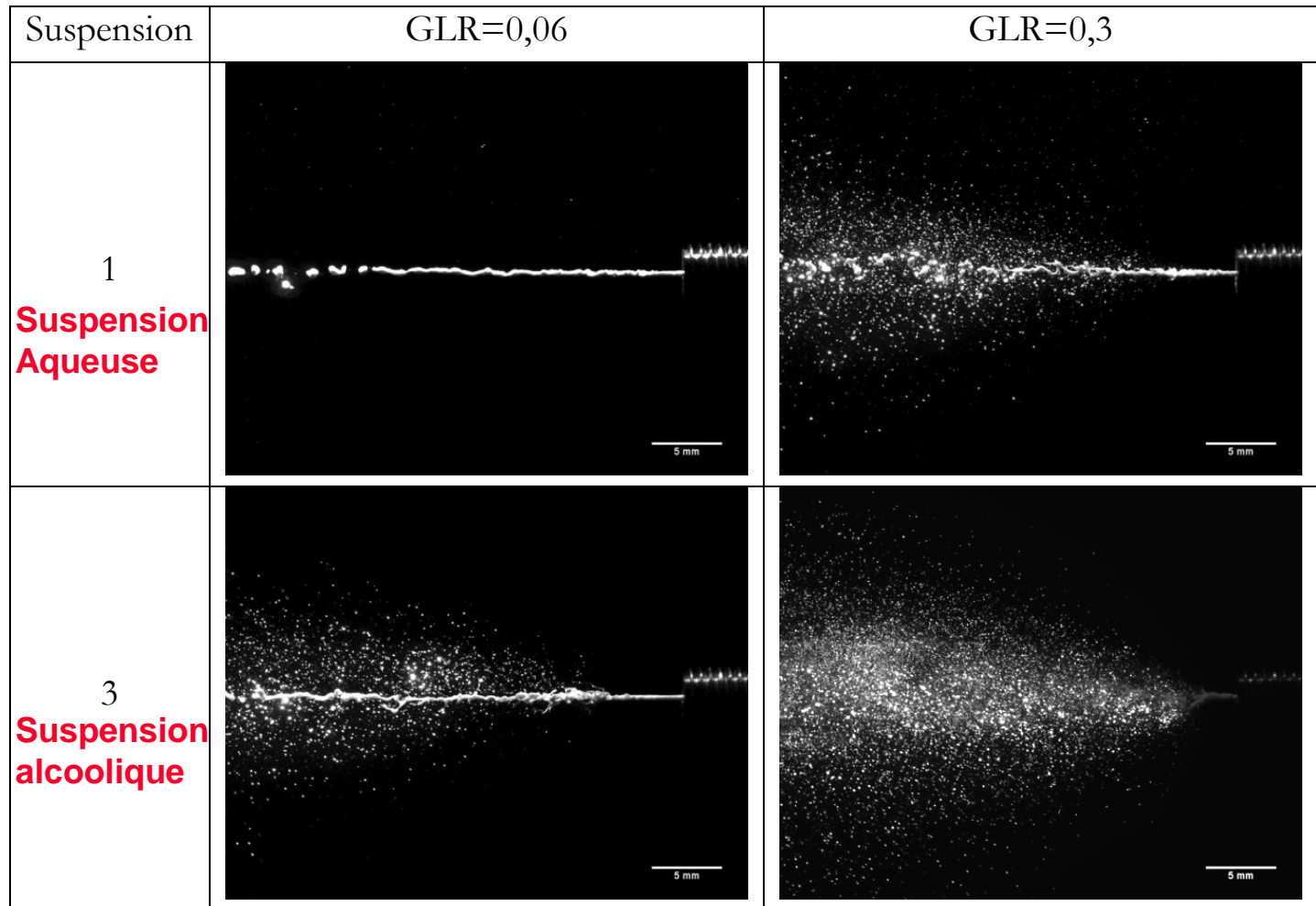
# Procédé Plasma

## APS – SPS – VLPPS

22

### Caractérisation de l'injection (injecteur externe)

AAE – 17 mars 2010



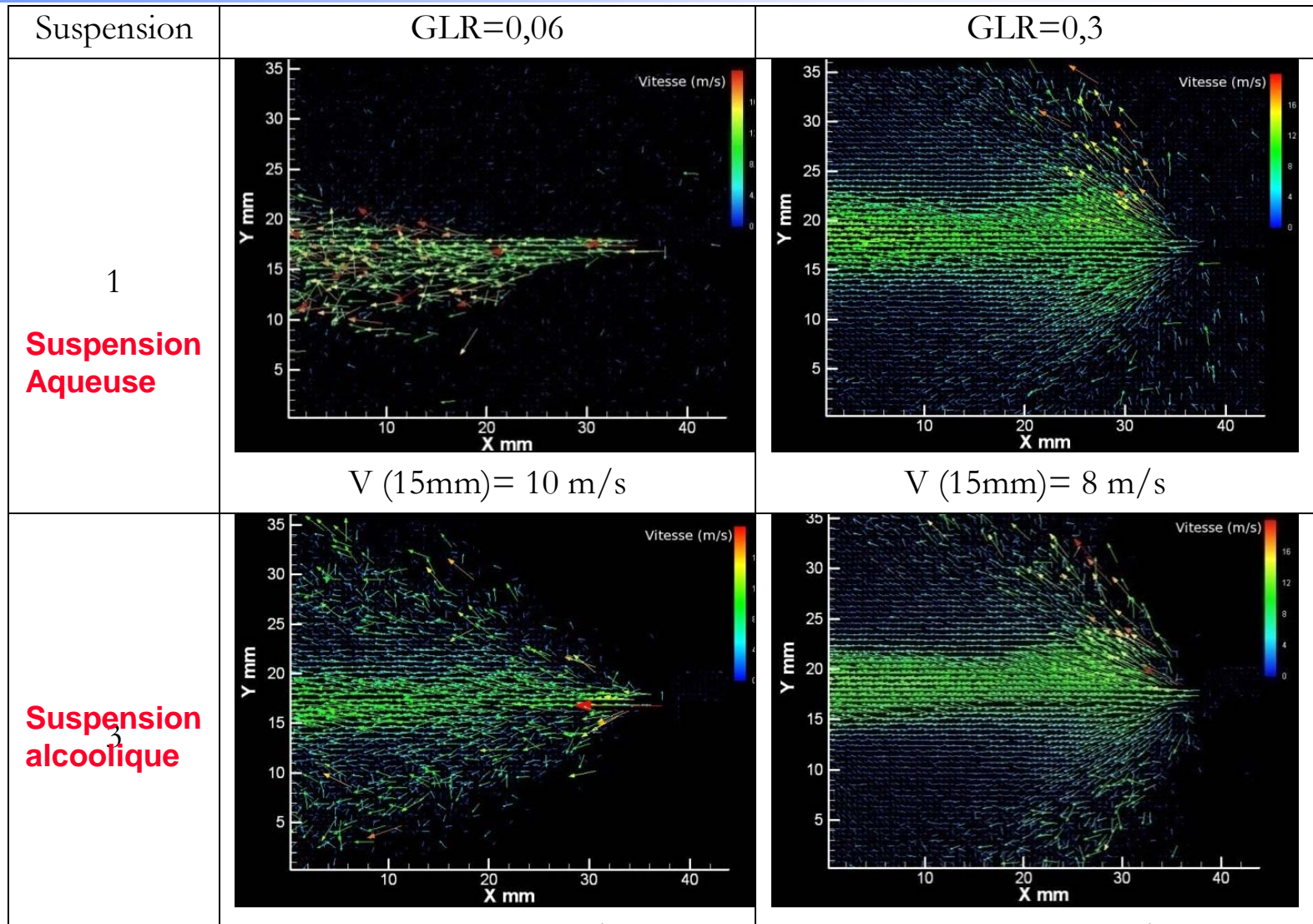
# Procédé Plasma

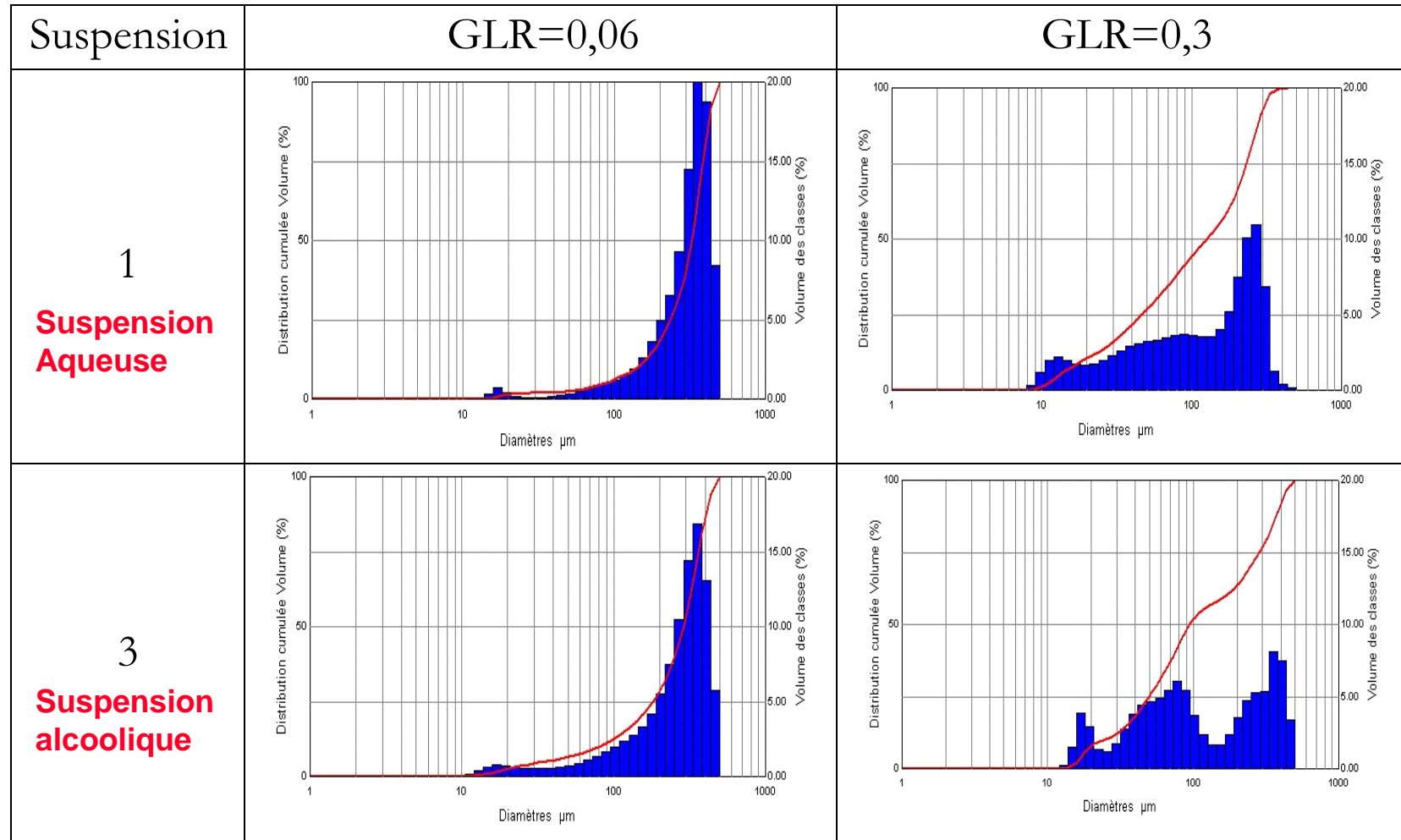
## APS – SPS – VLPPS

23

### Caractérisation de l'injection (injecteur externe)

AAE – 17 mars 2010





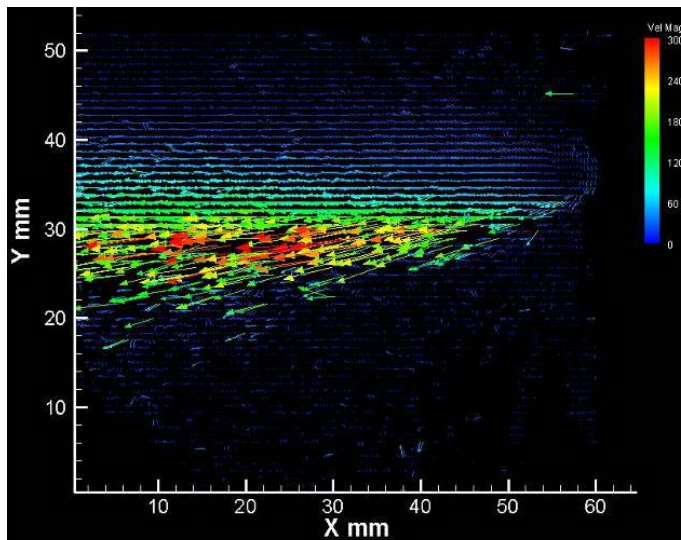
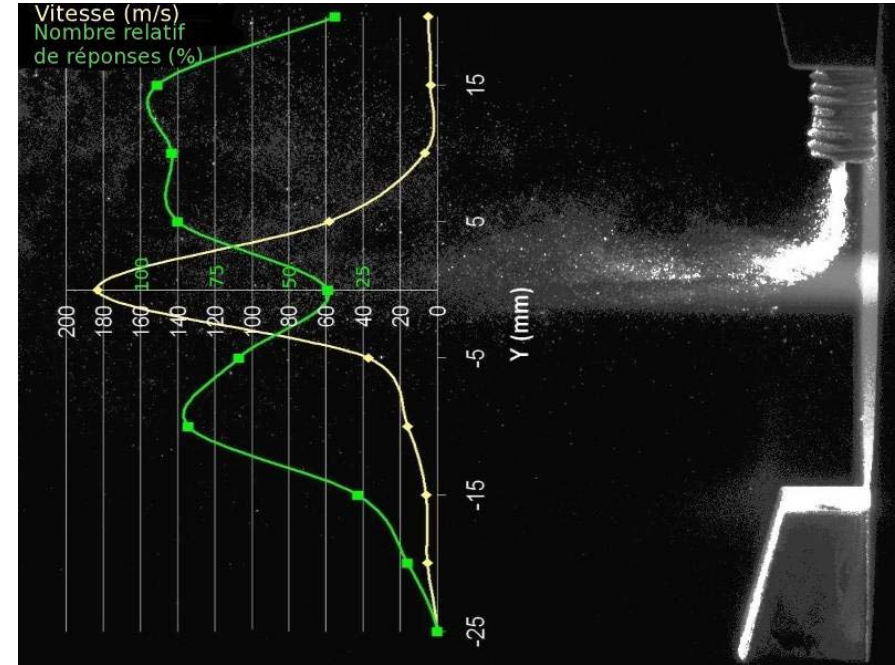
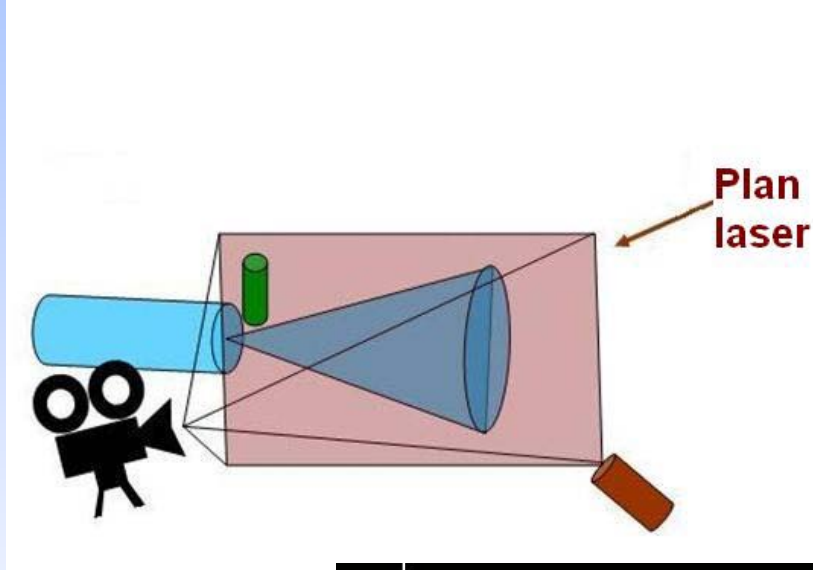


# Procédé Plasma APS – SPS – VLPPS

25

## Caractérisation du plasma + suspension

AAE – 17 mars 2010



# Procédé Plasma APS – **SPS** – VLPPS

26

## Caractérisation du spray (GRL : 0.06)

AAE – 17 mars 2010

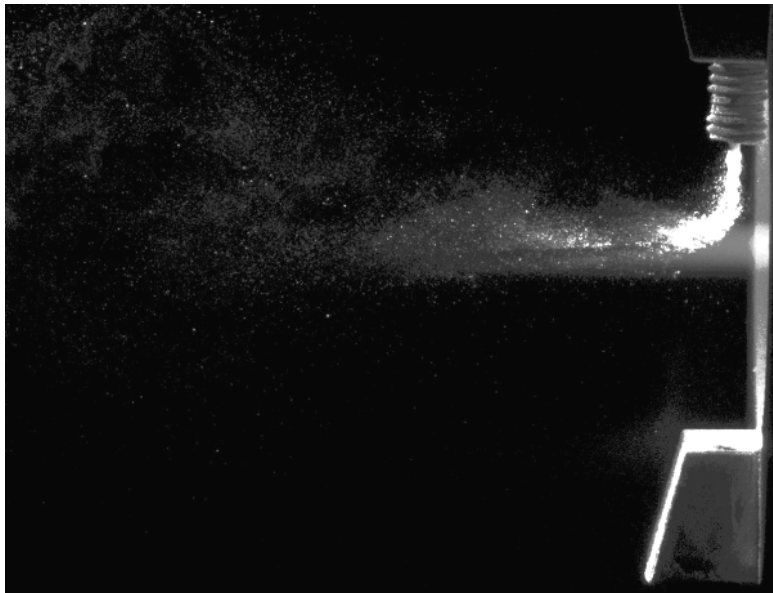
### Operating parameters

Internal design

600 A

30 / 8 L/min Ar/H<sub>2</sub>

Suspension aqueuse



Suspension alcoolique



# Procédé Plasma

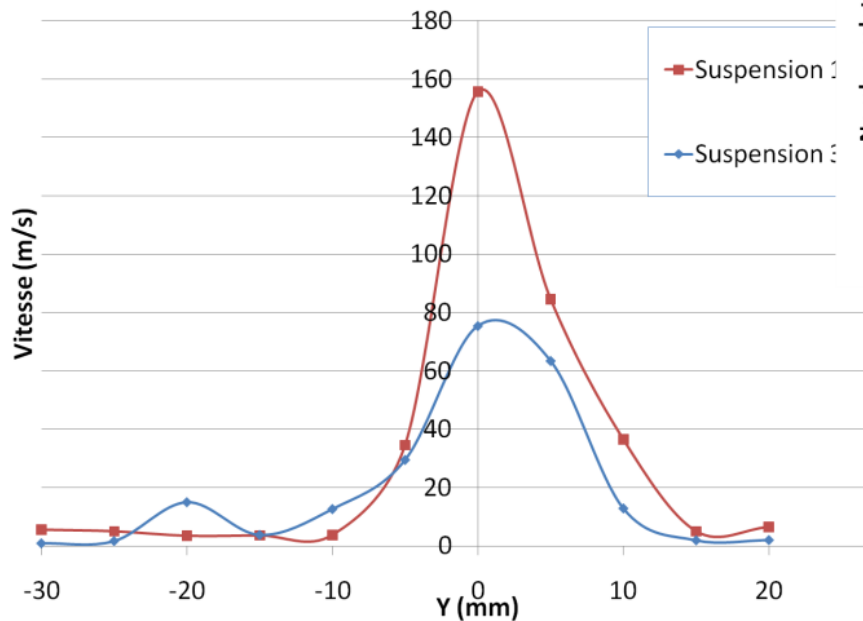
## APS – SPS – VLPPS

27

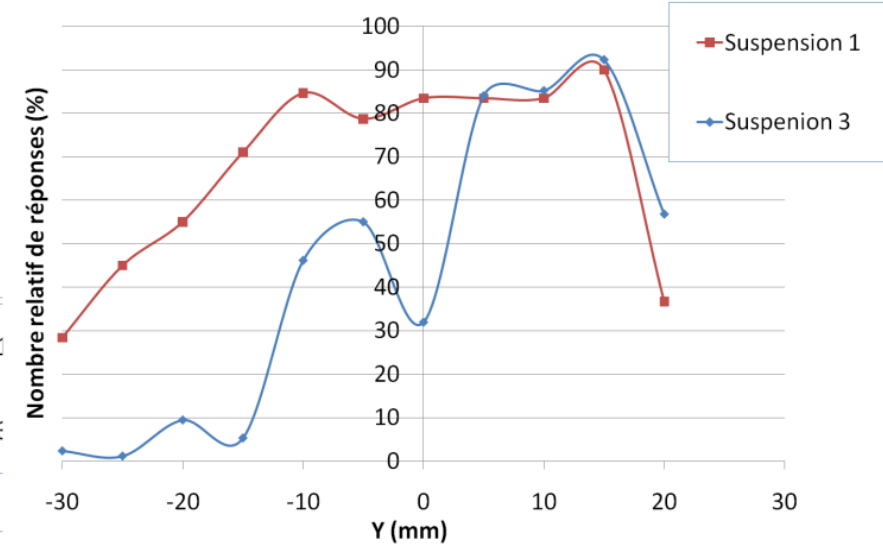
### Caractérisation du spray (GRL : 0.06)

AAE – 17 mars 2010

Suspension aqueuse



Suspension alcoolique



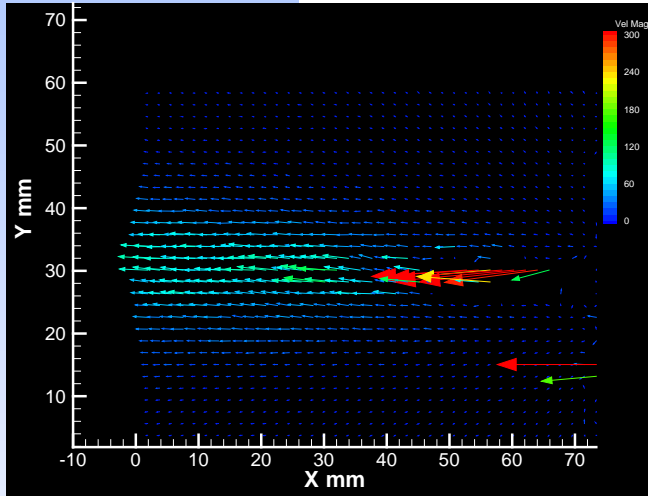
# Procédé Plasma

## APS – SPS – VLPPS

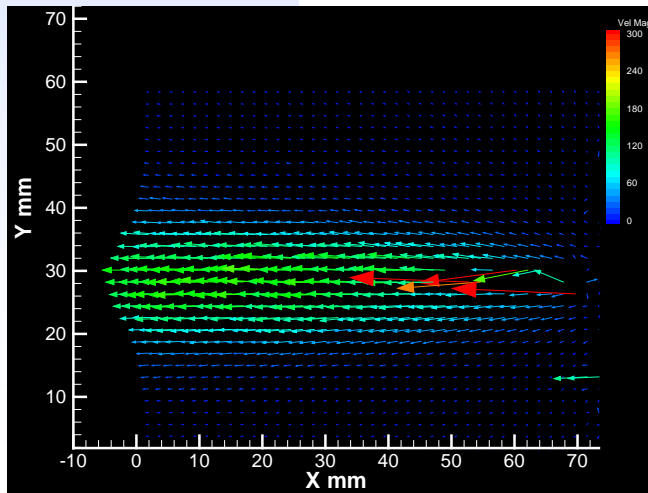
### Caractérisation du spray

28

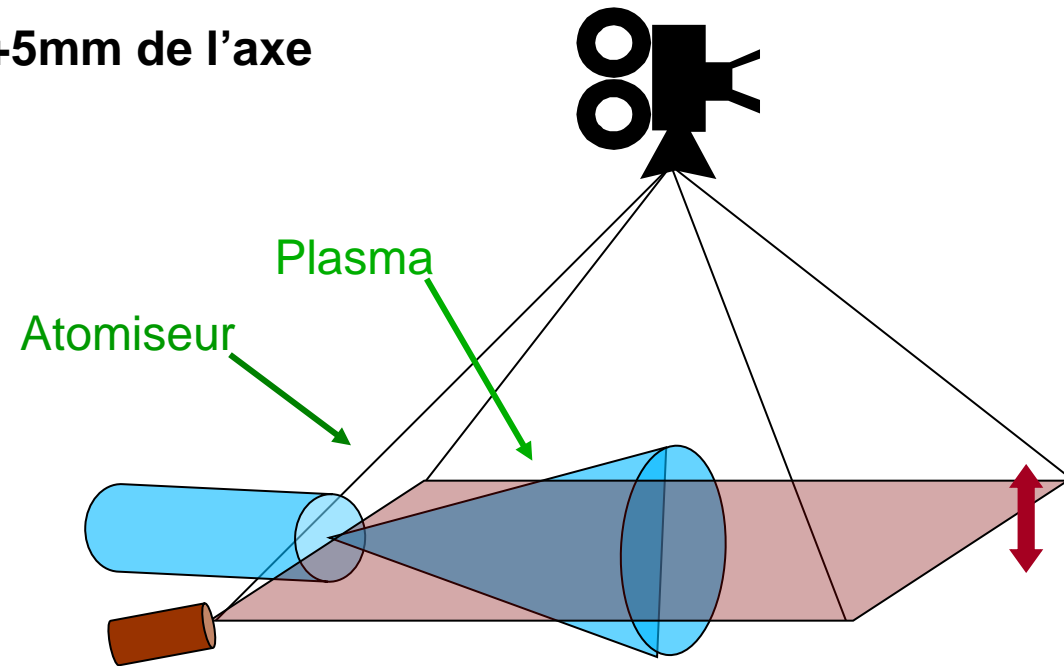
AAE – 17 mars 2010



➤ Hauteur: +5mm de l'axe



➤ Hauteur: -5mm de l'axe



# Procédé Plasma

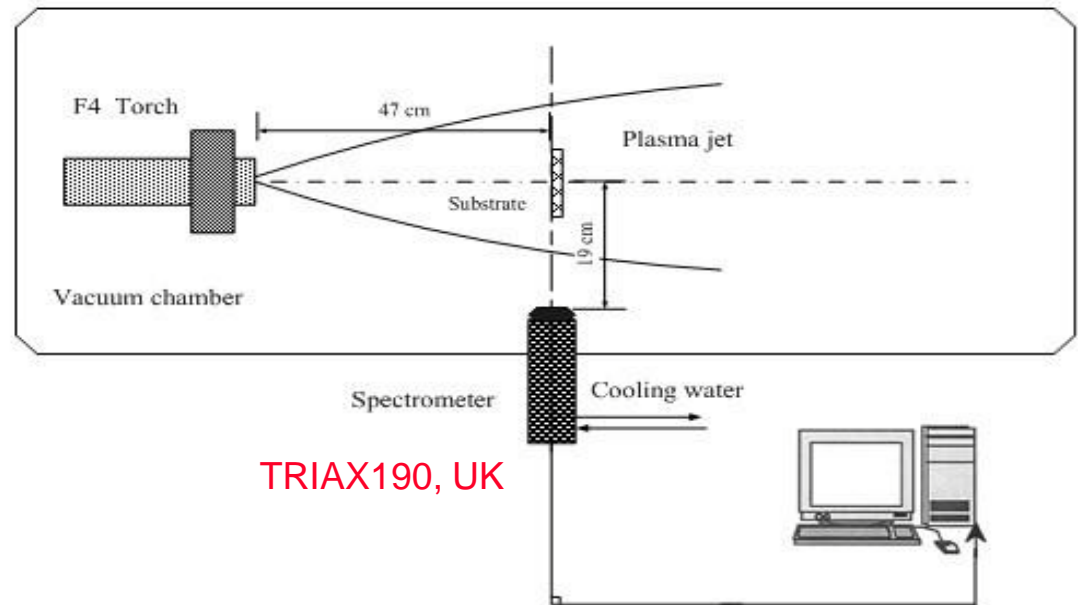
## APS – SPS – VLPPS

29

AAE – 17 mars 2010



Poudre	Cu
Pression d'enceinte (mbar)	1
Distribution de taille (μm)	14-64
Tension (V)	52
Intensité (A)	700
Argon (L/min)	40
Hydrogène (L/min)	8
Distance de projection (cm)	40 et 47



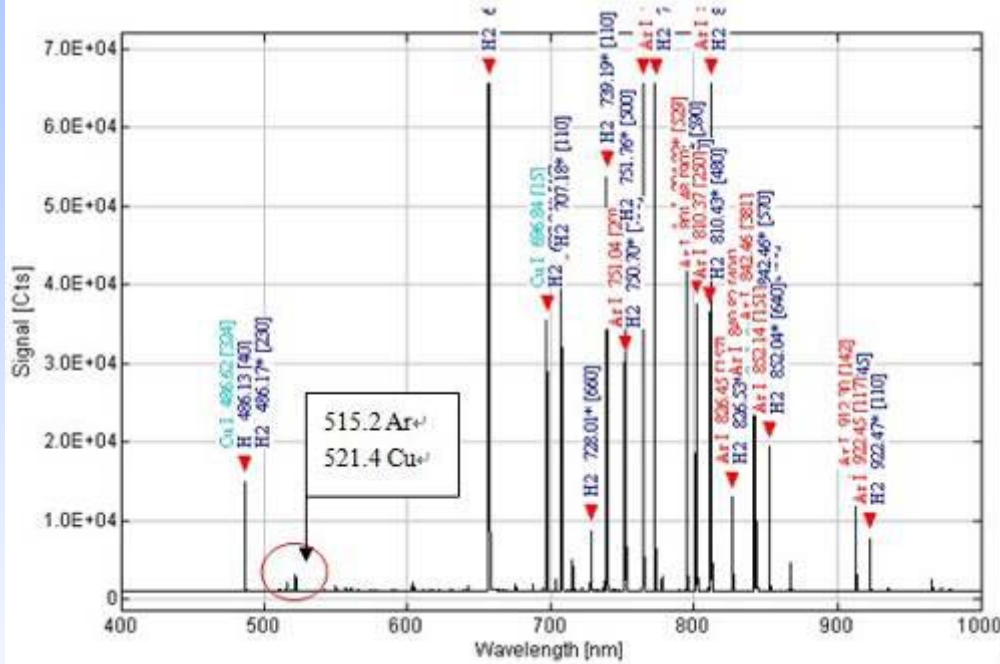
Domaine spectral: 100 à 1000 nm

Distance de la tête à l'axe du jet : 19 cm

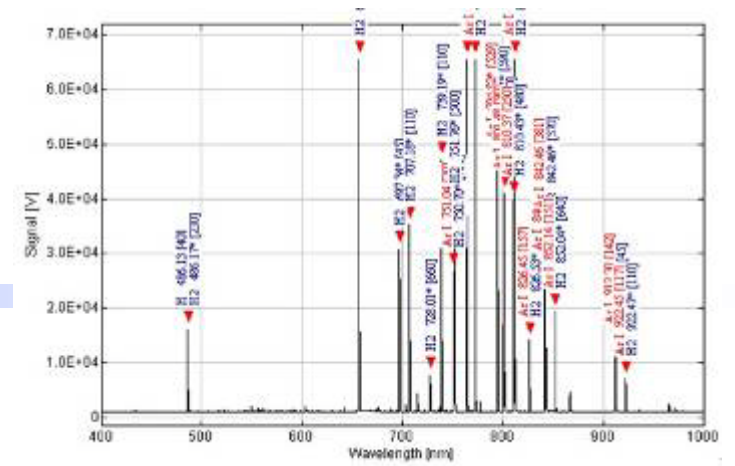
# Procédé Plasma APS – SPS – VLPPS

30

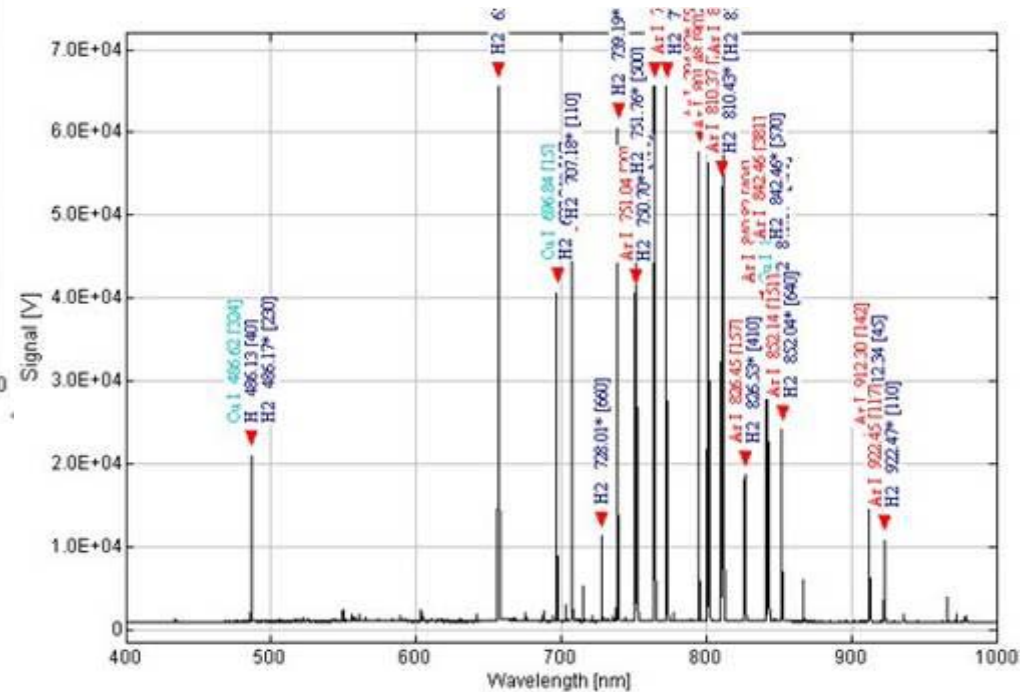
AAE – 17 mars 2010



Taille des poudres : 14-20µm



Sans poudre



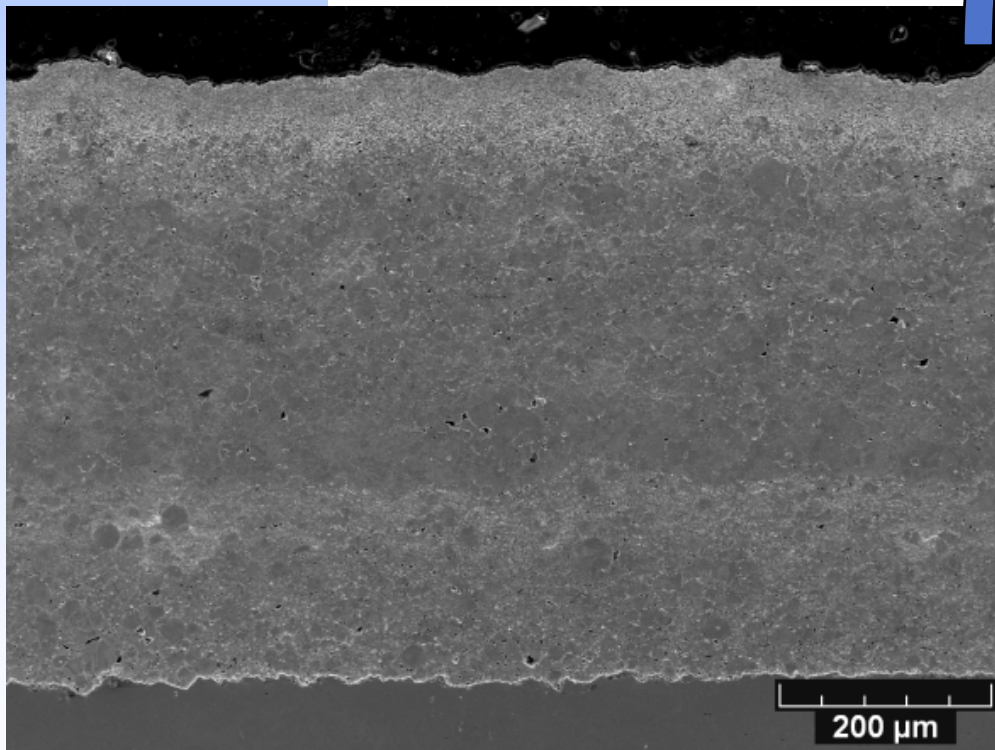
Taille des poudres : 40-64µm

# Procédé Plasma

## APS – SPS – VLPPS

31

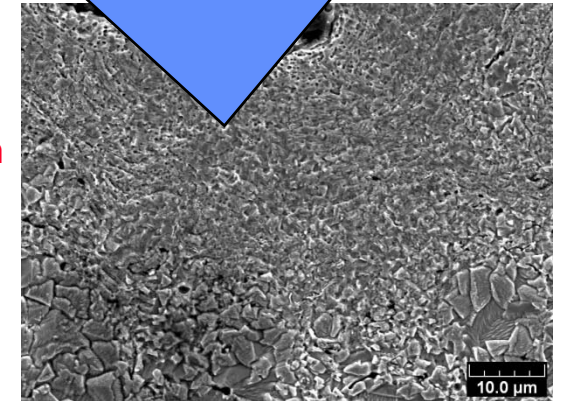
AAE – 17 mars 2010



Distance de 40 cm  
sans H<sub>2</sub>

Distance de 47cm

Distance de 40 cm,  
Grains plus gros  
Température plus forte



**Diminution de l'enthalpie**  
**Température de nucleation faible**  
**Grains plus fins**

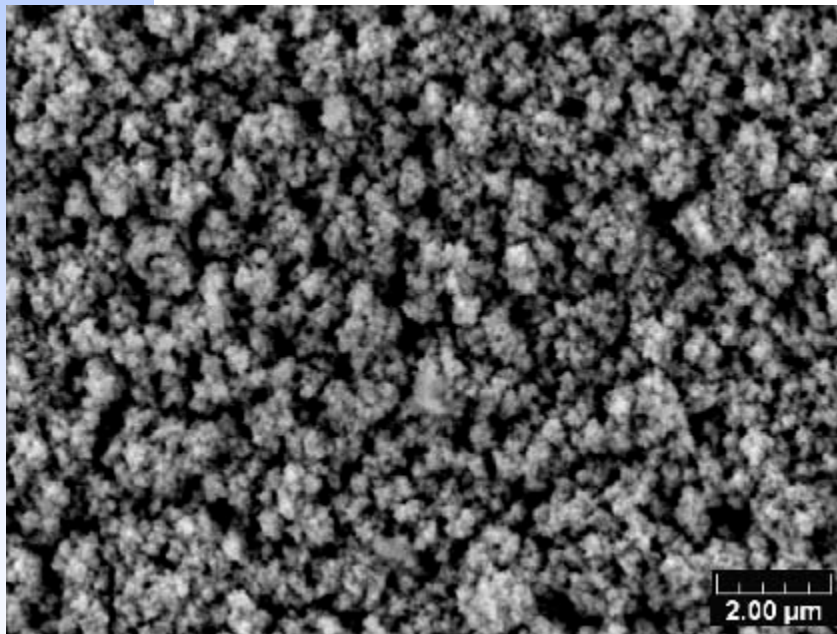
# Procédé Plasma

## APS – SPS – VLPPS

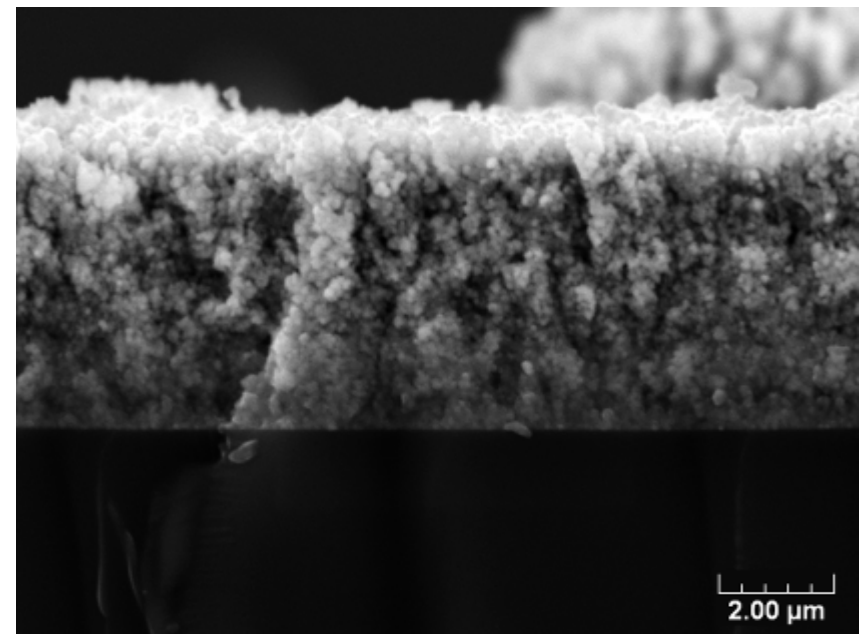
32

AAE – 17 mars 2010

Film Cu déposé sur un substrat en verre



Surface du dépôt



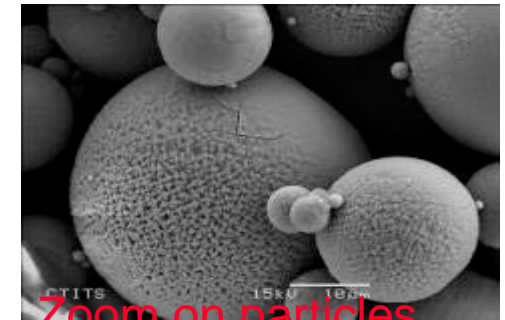
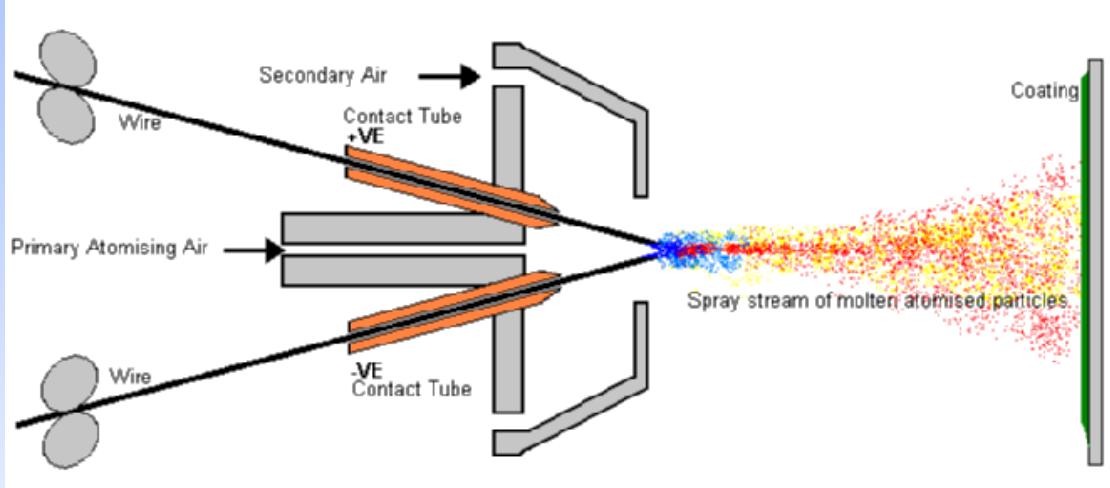
Croissance des grains dans le dépôt



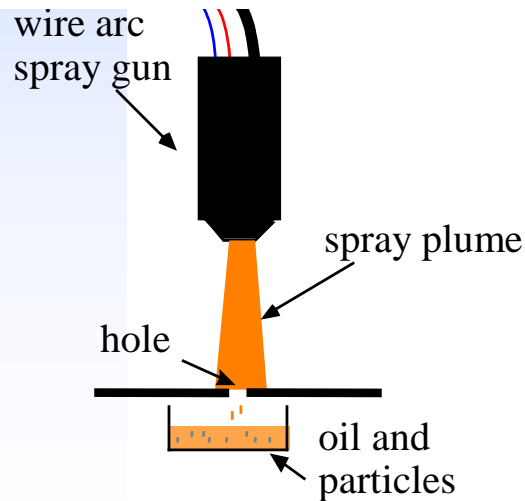
# Procédé Arc fil (TAFA 9000)

33

AAE – 17 mars 2010



Zoom on particles

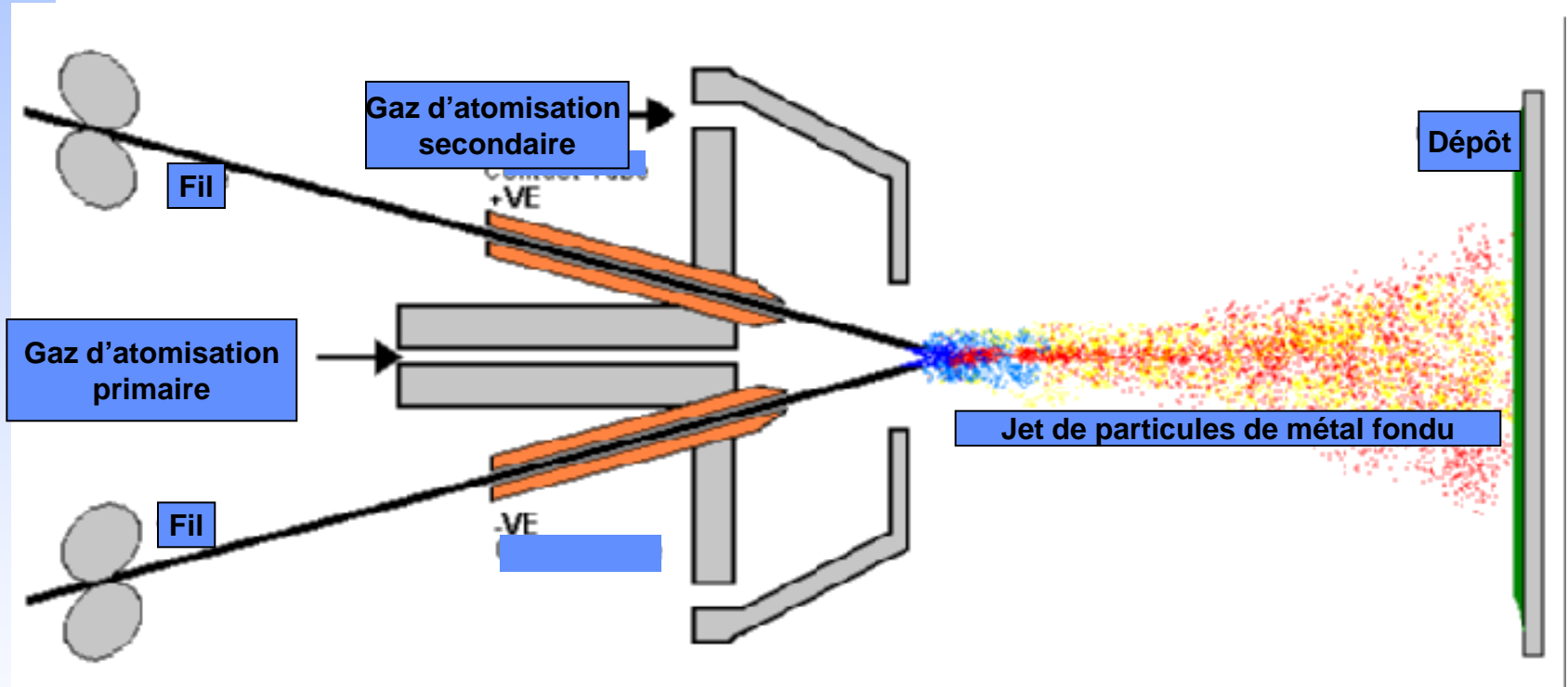


Gas flow rate (m <sup>3</sup> /h)	94	110	122	144
Average diameter(�m)	42	38	31	18
Standard deviation (�m)	29	17	14	7

# Procédé Arc fil (TAFA 9000)

34

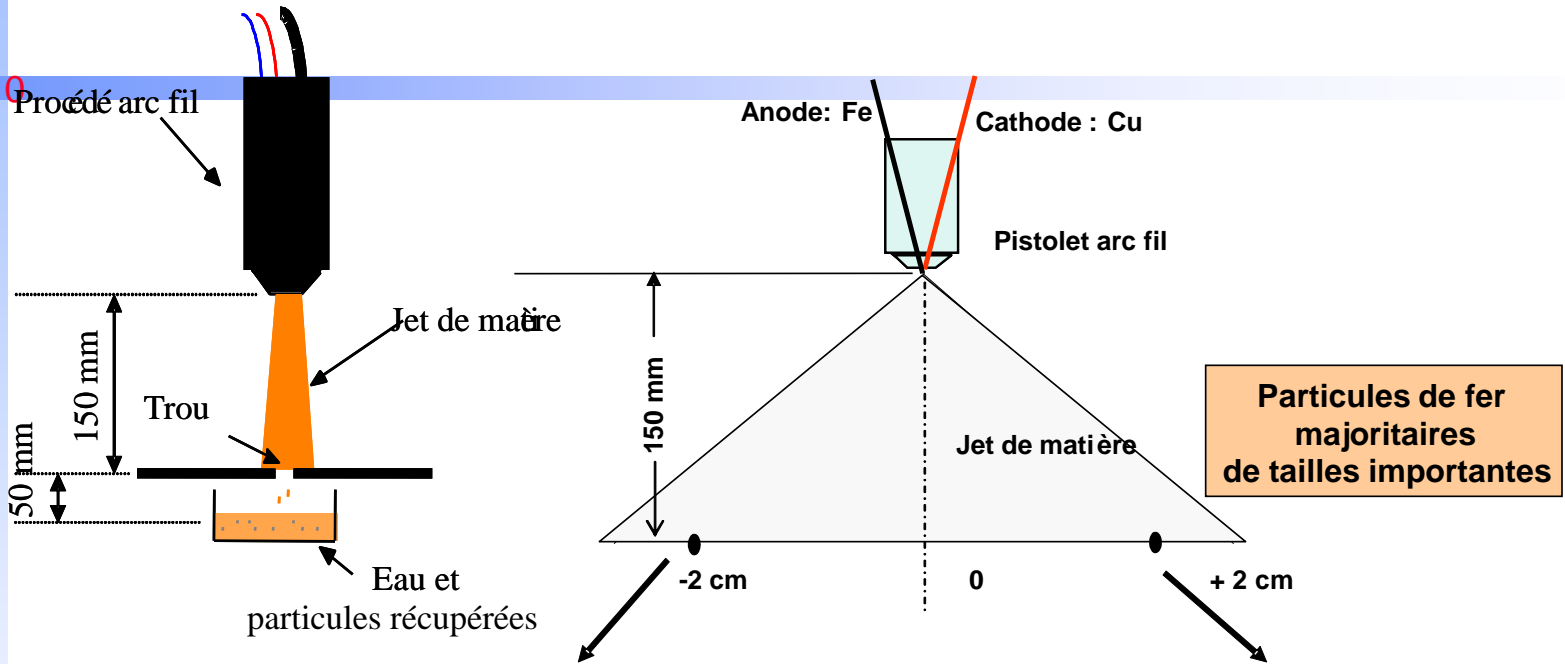
AAE – 17 mars 2010



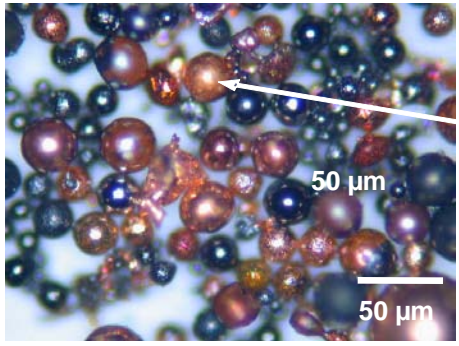
# Procédé Arc fil (TAFA 9000)

35

AAE – 17 mars 2010

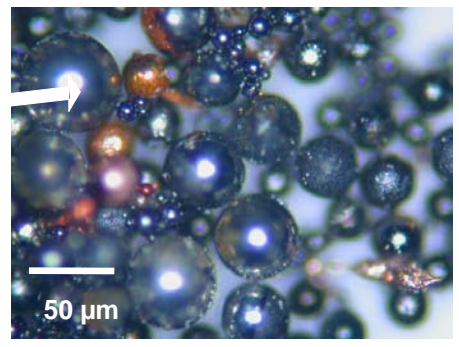


Particules de cuivre majoritaires de tailles assez faibles



Particules de Cu

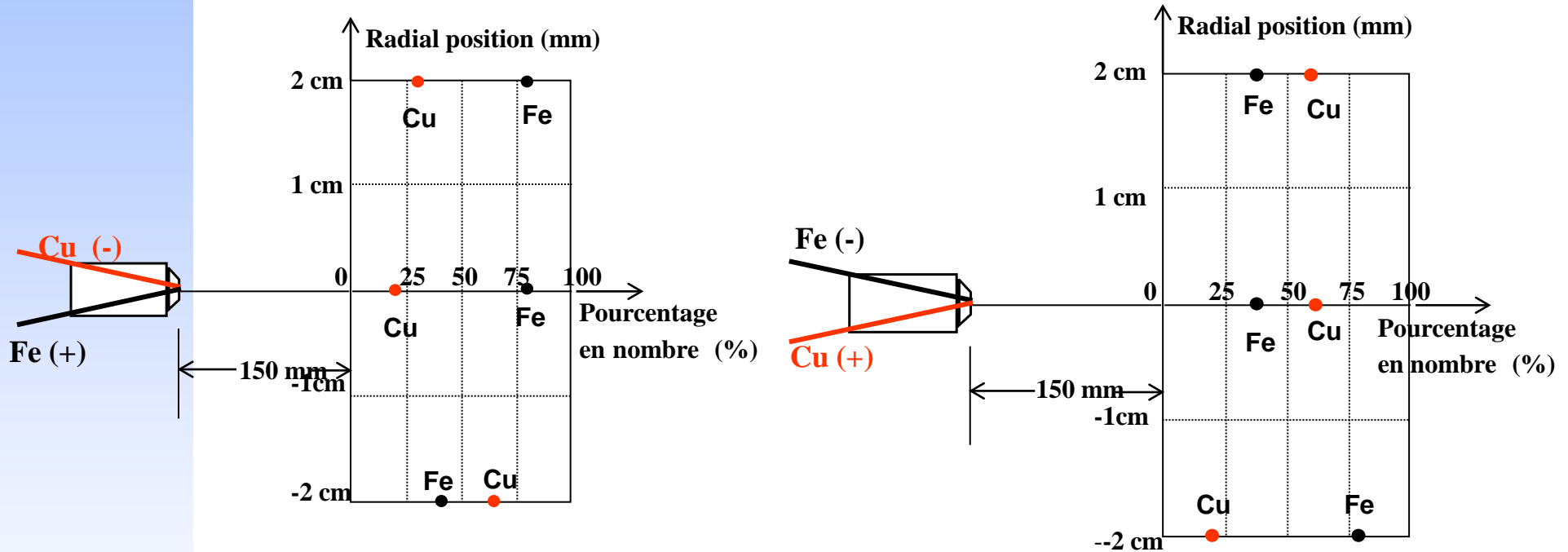
Particules de Fe



# Procédé Arc fil (TAFA 9000)

36

AAE – 17 mars 2010



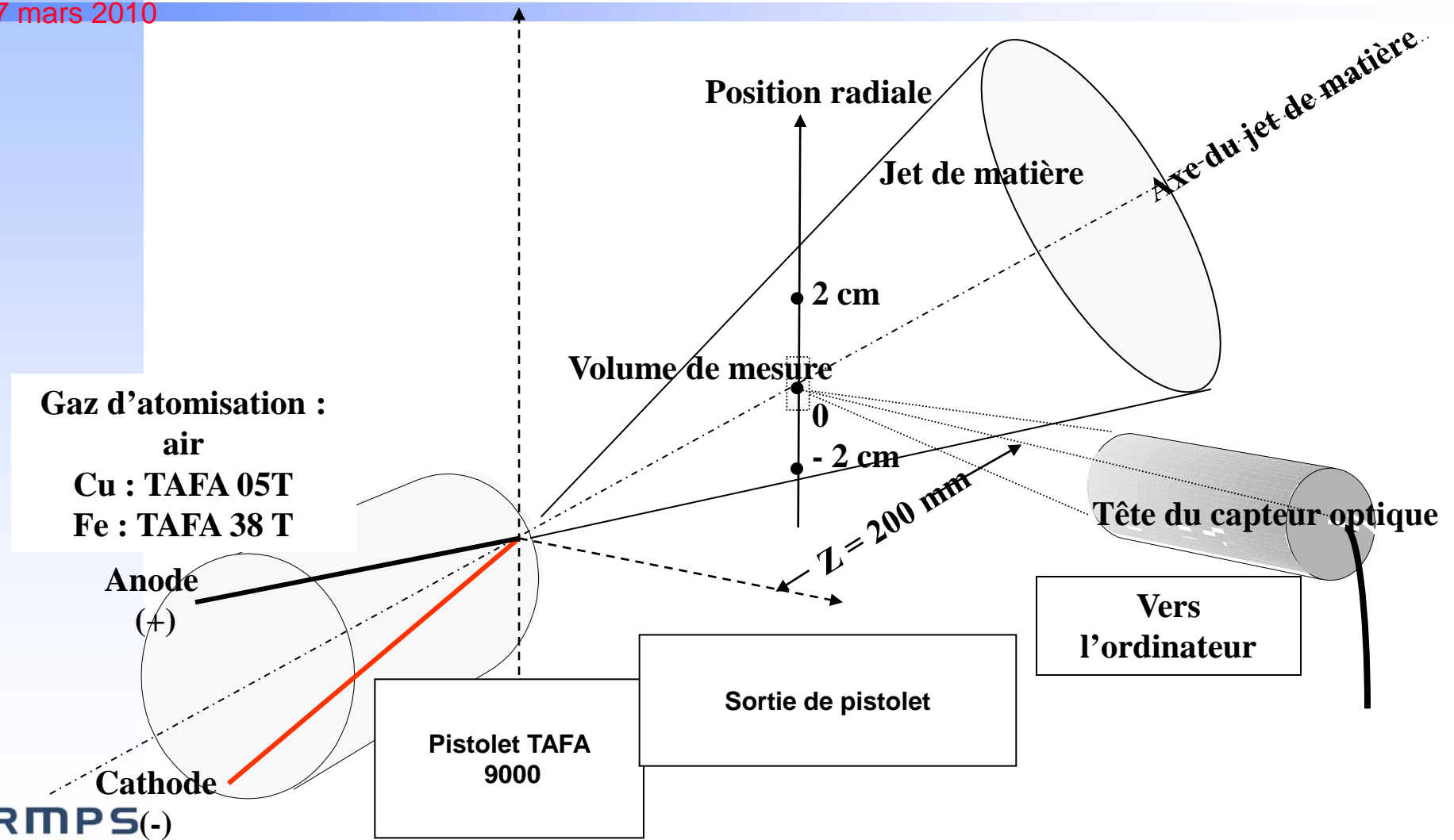
Mise en évidence de l'existence d'une direction croisée de projection

Les particules générées par l'anode sont plus grosses que celles produites par la cathode

# Procédé Arc fil (TAFA 9000)

37

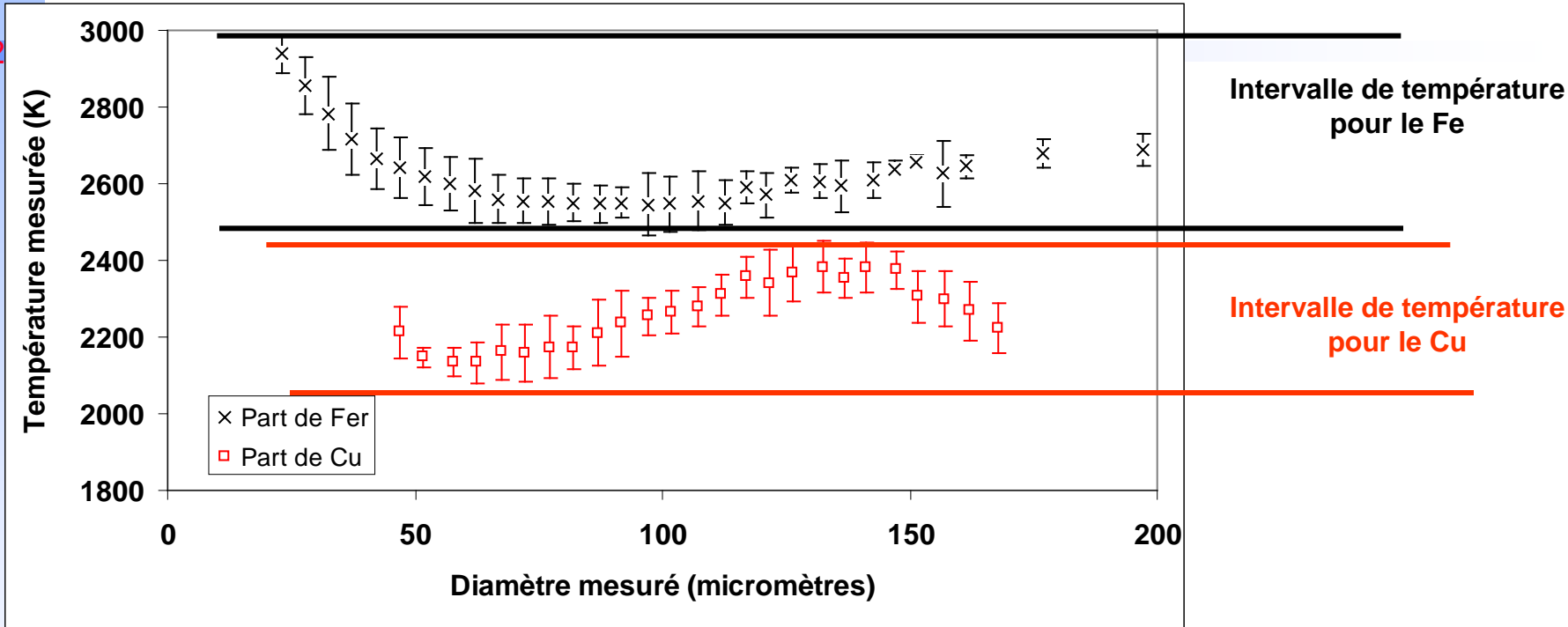
AAE – 17 mars 2010



# Procédé Arc fil (TAFA 9000)

38

AAE – 17 mars 202



**Pas de recouvrement des intervalles de température**

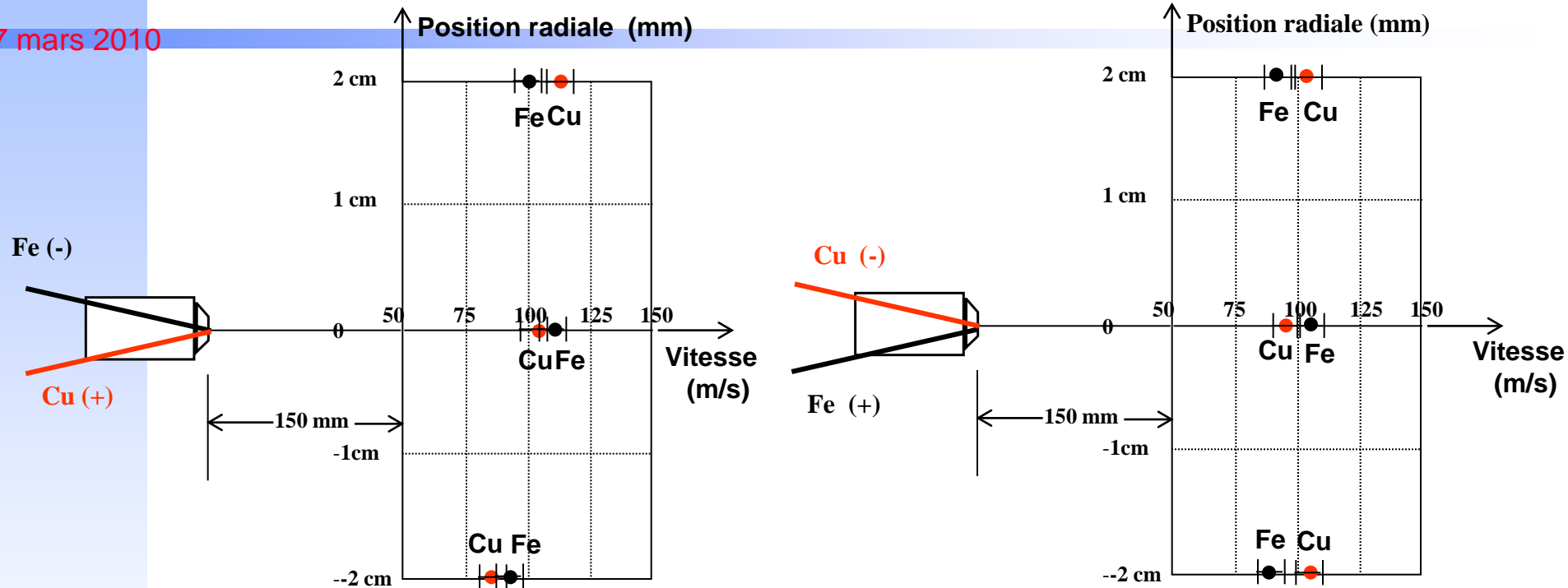
**Identification des particules possible**

**Concordance des résultats entre analyses d'images et mesures DPV**

# Procédé Arc fil (TAFA 9000)

39

AAE – 17 mars 2010



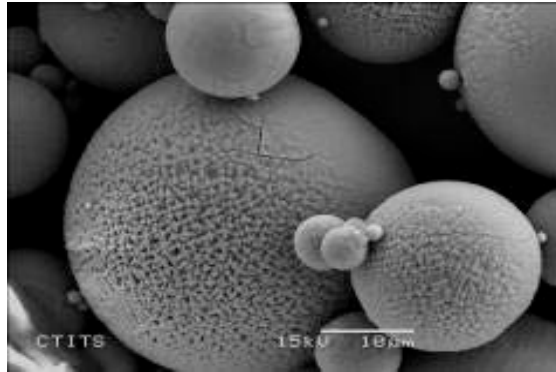
**Vitesses des particules de Fe et de Cu sensiblement les mêmes pour une configuration d'électrodes donnée**

**Vitesses modifiées pour chaque matériau par changement de configuration d'électrodes**

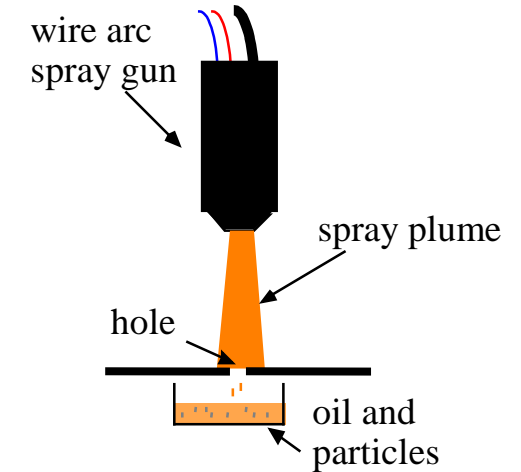
# Procédé Arc fil (TAFA 9000)

40

AAE – 17 mars 2010



Zoom sur les  
particules



Modification des paramètres opératoires

Débit d'air comprimé (m <sup>3</sup> /h)	94	110	122	144
Diamètre moyen (µm)	42	38	31	18
Ecart type sur le diamètre (µm)	29	17	14	7

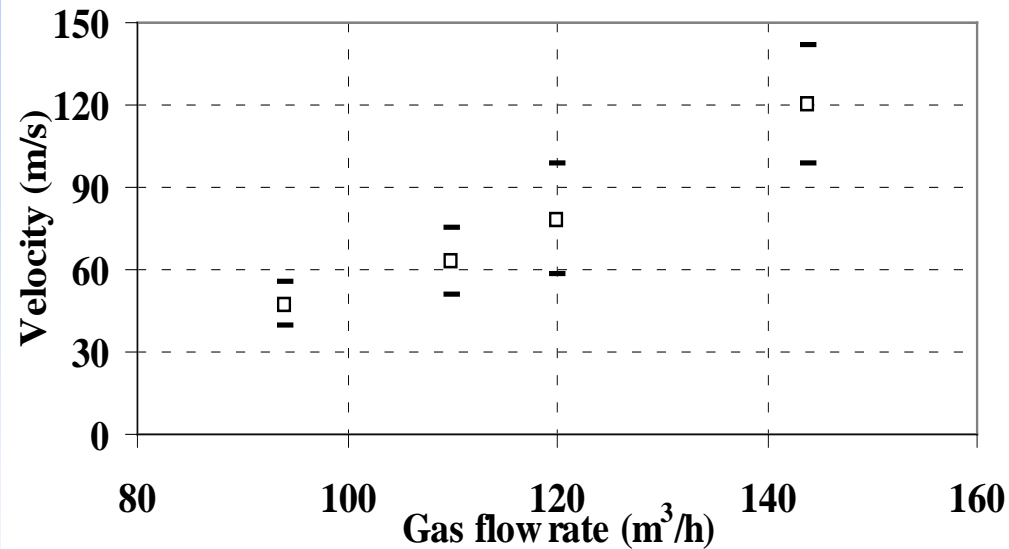


# Procédé Arc fil (TAFA 9000)

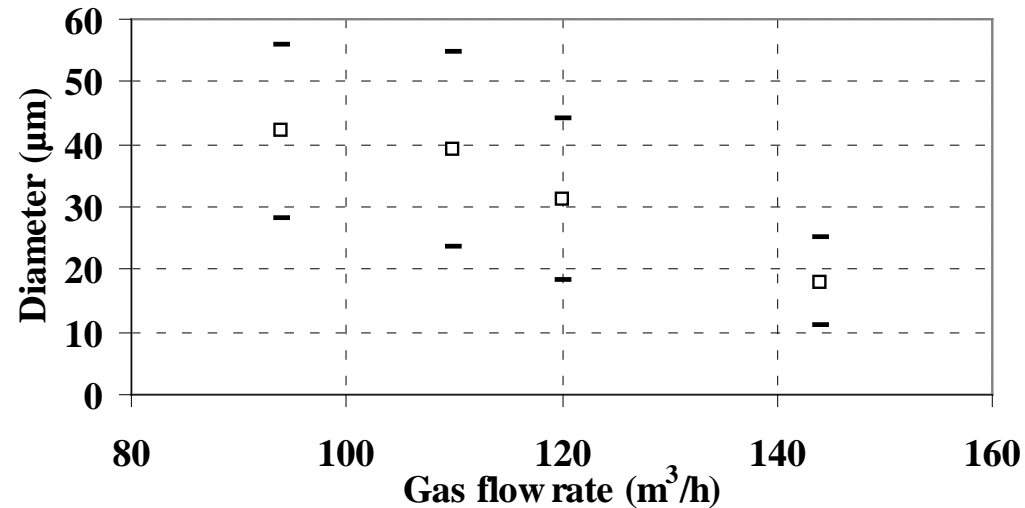
41

AAE – 17 mars 2010

Evolution of de la vitesse en fonction du débit



Evolution of de la température en fonction du débit

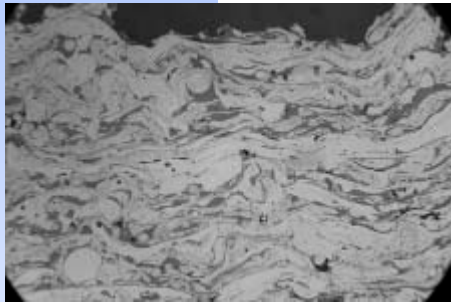


# Procédé Arc fil (TAFA 9000)

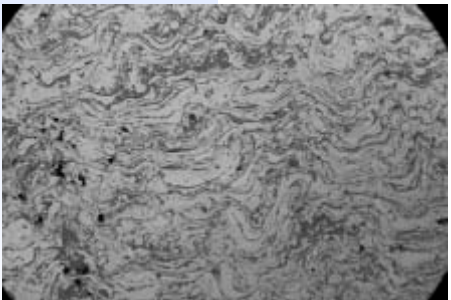
42

AAE – 17 mars 2010

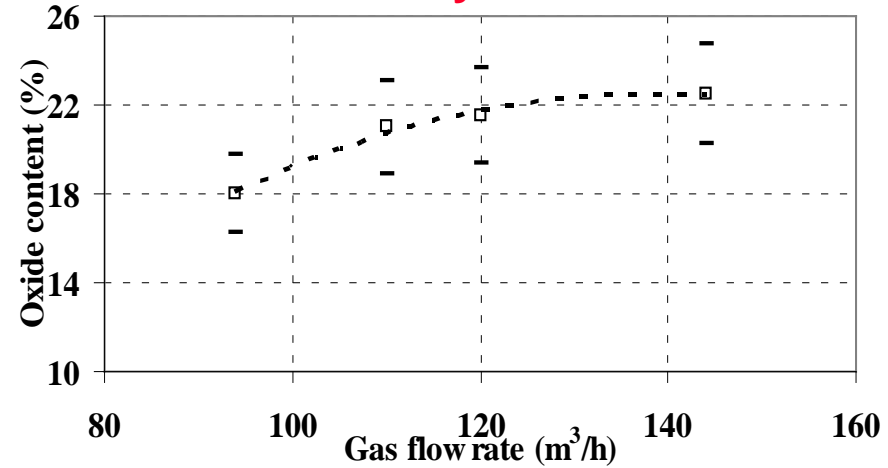
Débit d'air: 94 m<sup>3</sup> / h



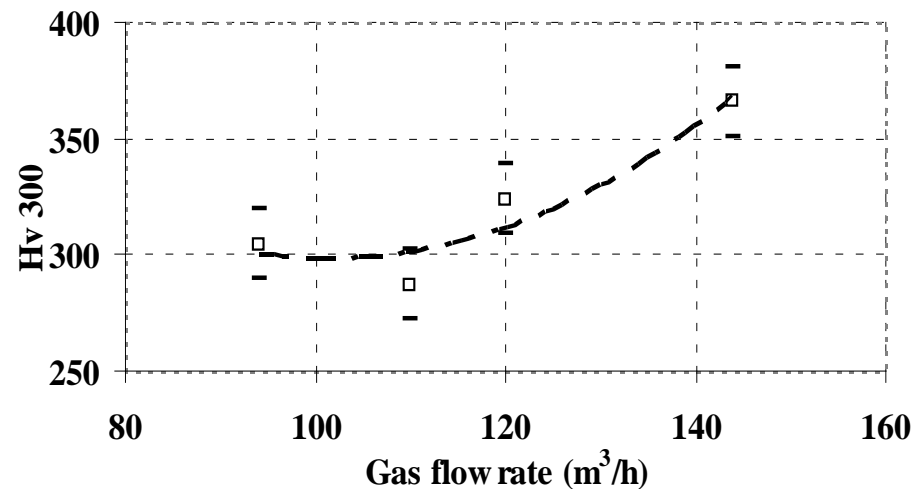
Débit d'air: 144 m<sup>3</sup> / h



Evolution du taux d'oxydes en fonction du débit

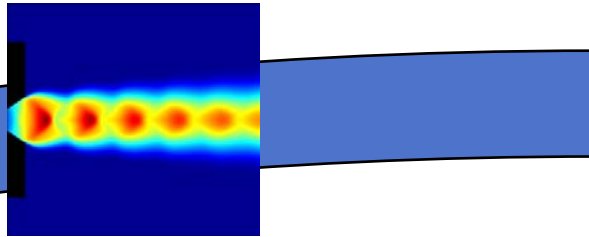
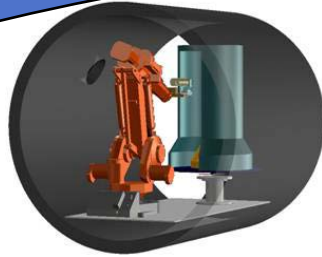


Evolution de la dureté en fonction du débit

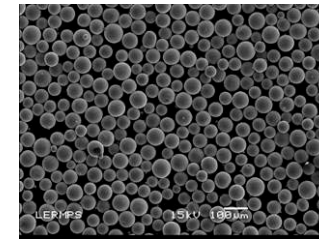


AAE – 17 mars 2010

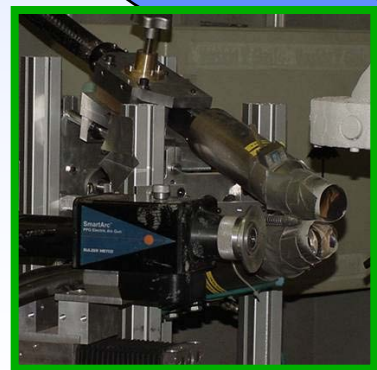
Diagnostic – Modélisation - Robotique



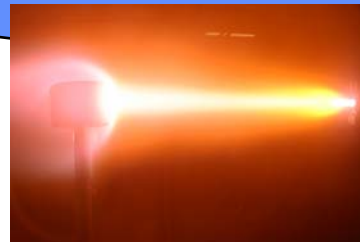
Elaboration des poudres



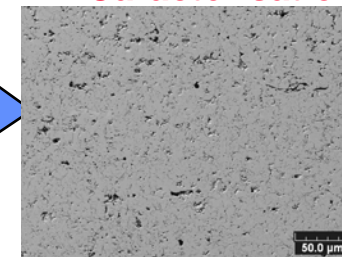
Procédés de projection



LERMPS



Caractérisation des dépôts



# Principe des mesures

44

AAE – 17 mars 2010

