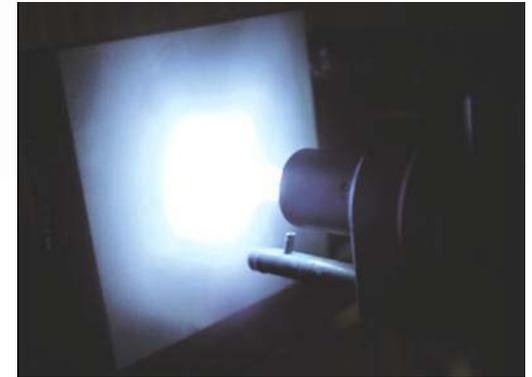
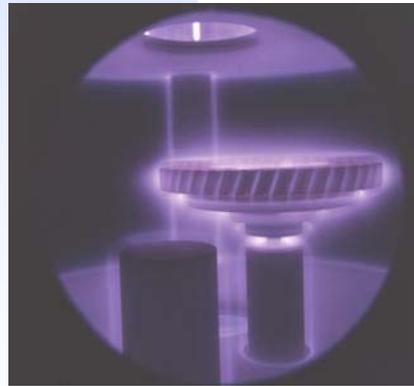




LERMPS



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



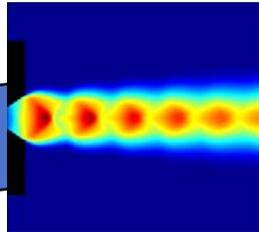
Une plateforme « dépôts en phase vapeur »
à Montbéliard

Plateforme « projection thermique »

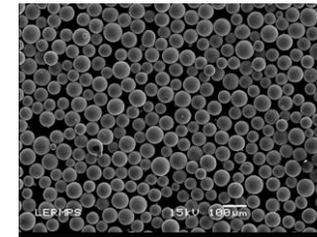
4

AAE – 17 mars 2010

Diagnostic – Modélisation - Robotique



Conception-Elaboration de poudre



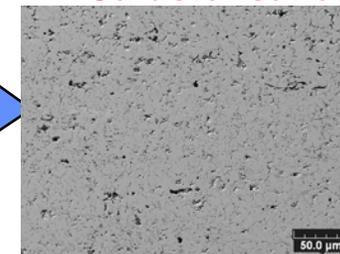
Procédés de projection



LERMPS



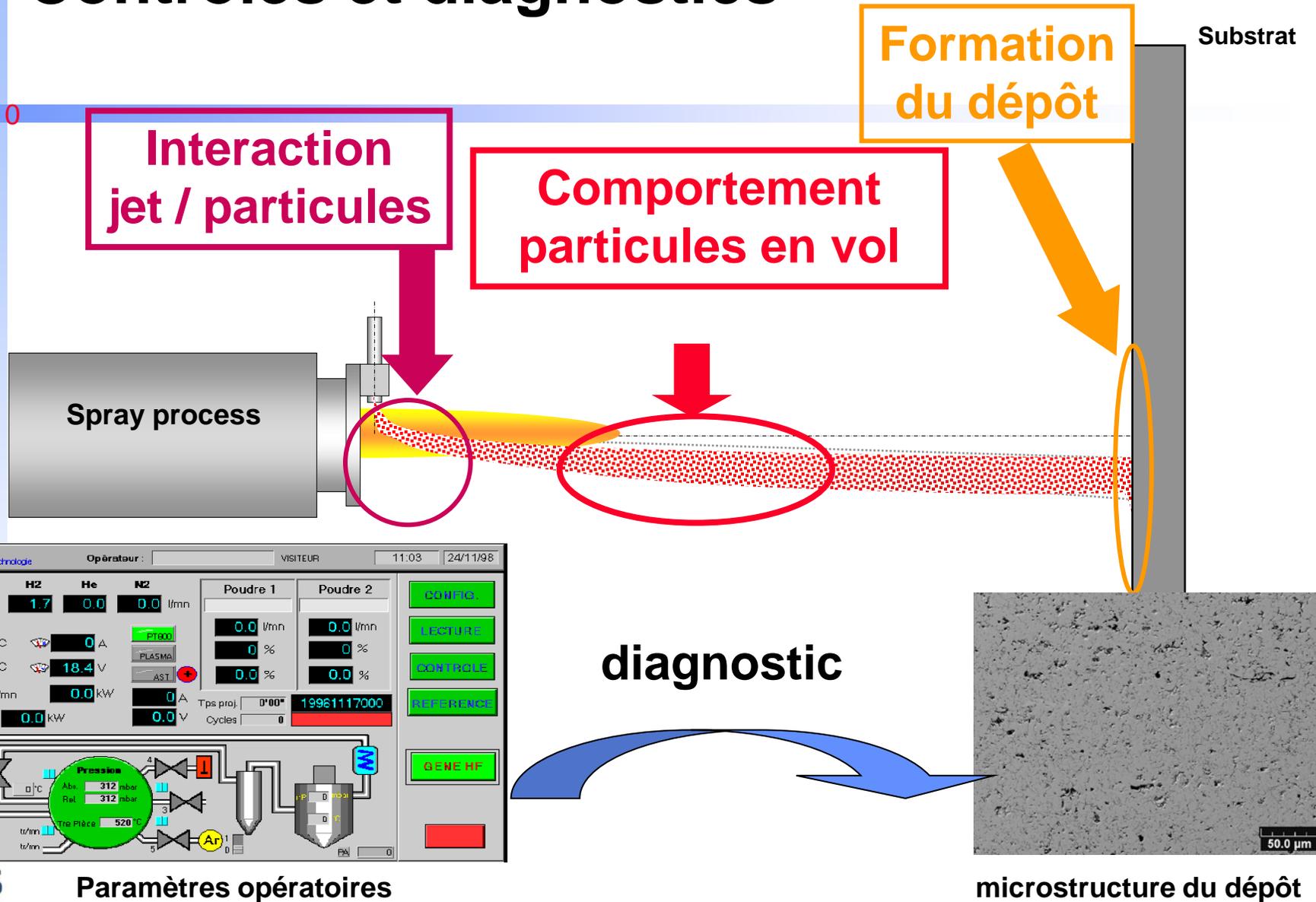
Caractérisation des dépôts



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

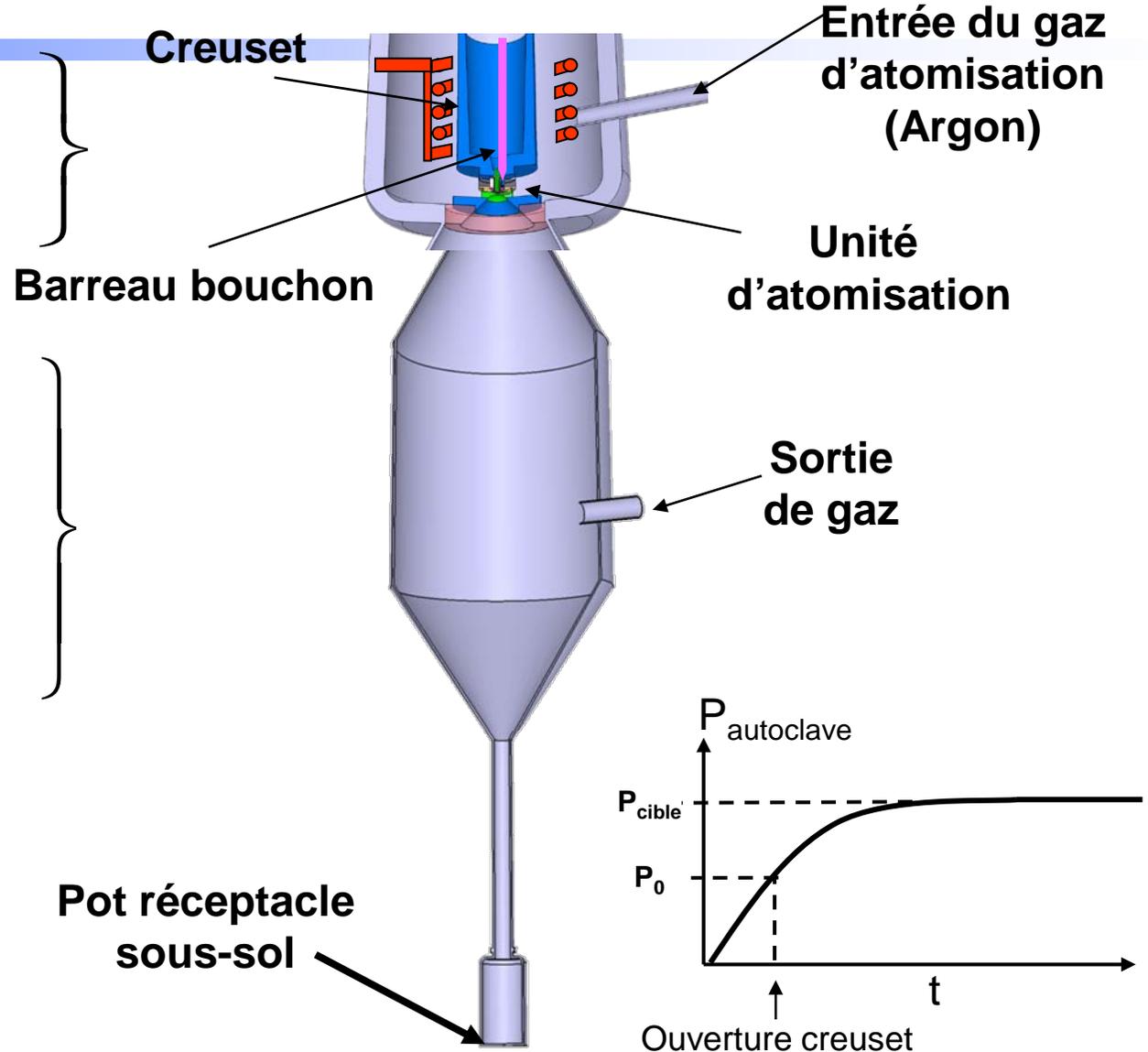
Conception des poudres : Atomisation d'un jet métallique liquide

7

AAE – 17 mars 2010

Autoclave
DN 600

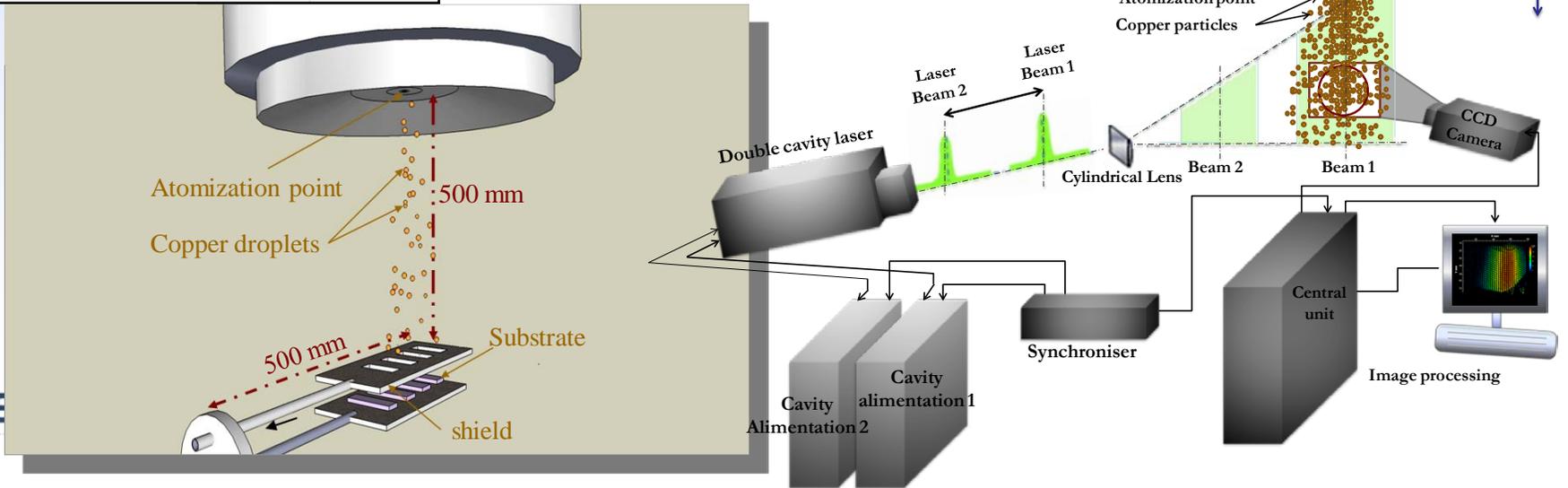
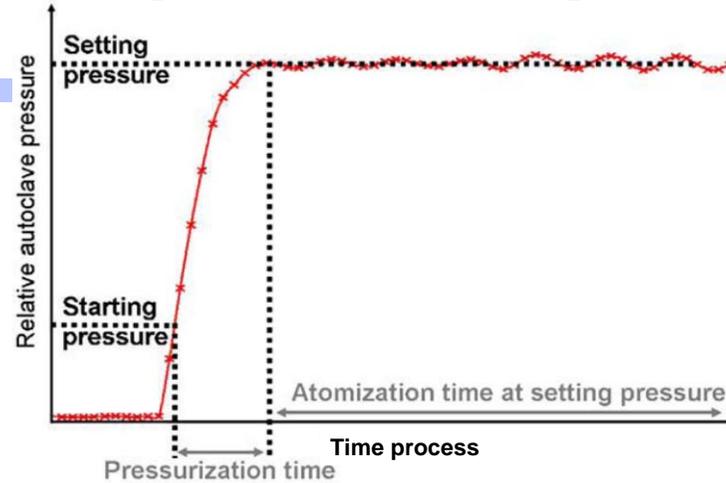
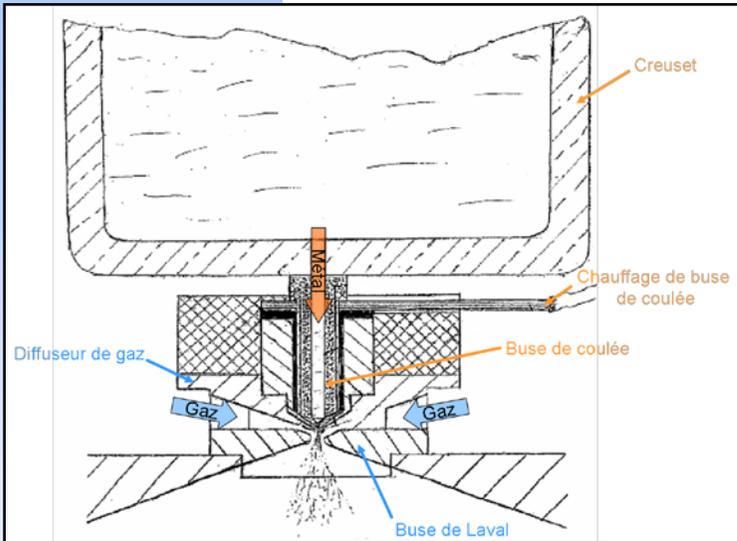
Chambre
d'atomisation
DN 1000



Conception des poudres : Atomisation d'un jet métallique liquide

8

AAE – 17 mars 2010



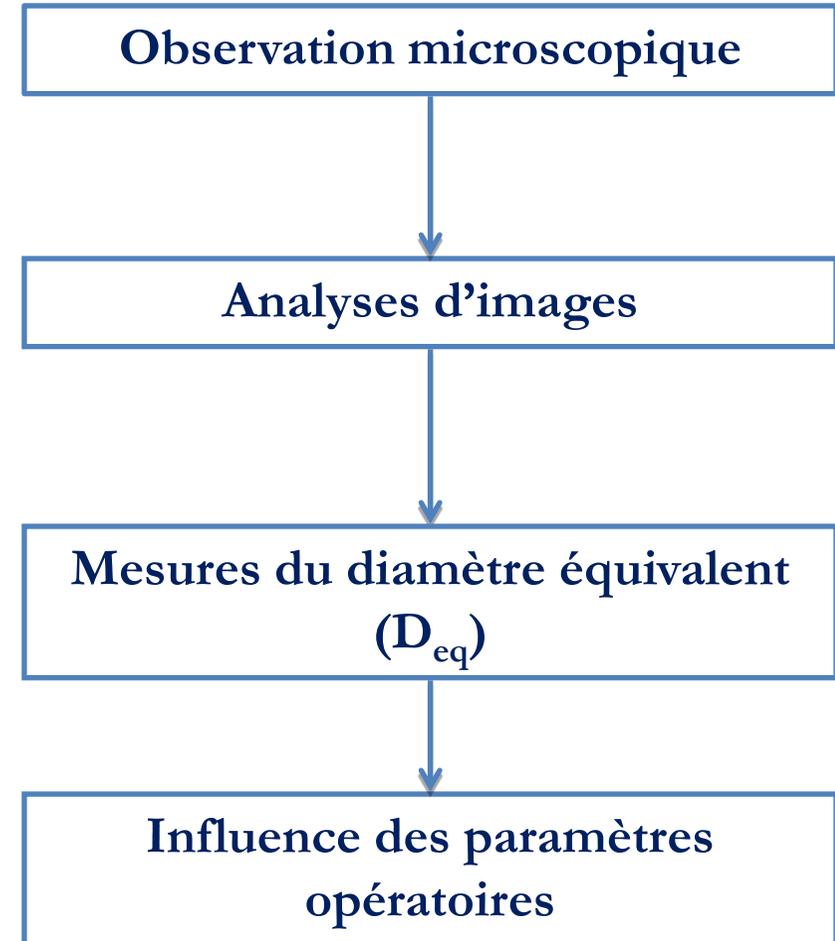
Conception des poudres : Atomisation d'un jet métallique liquide Analyse des écrasements

9

AAE – 17 mars 2010



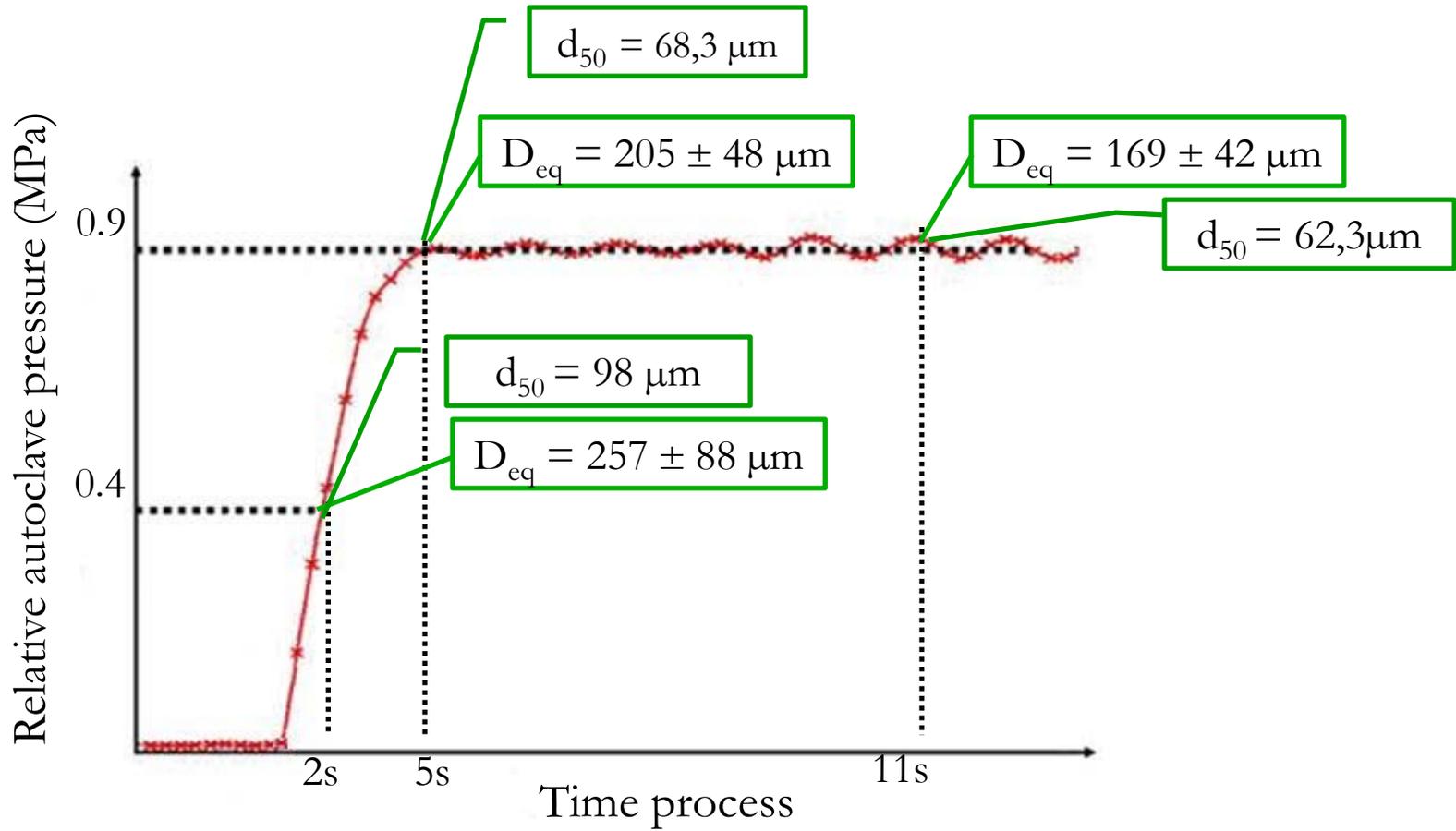
Ecrasement d'une particule de cuivre sur
substrat métallique



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

10

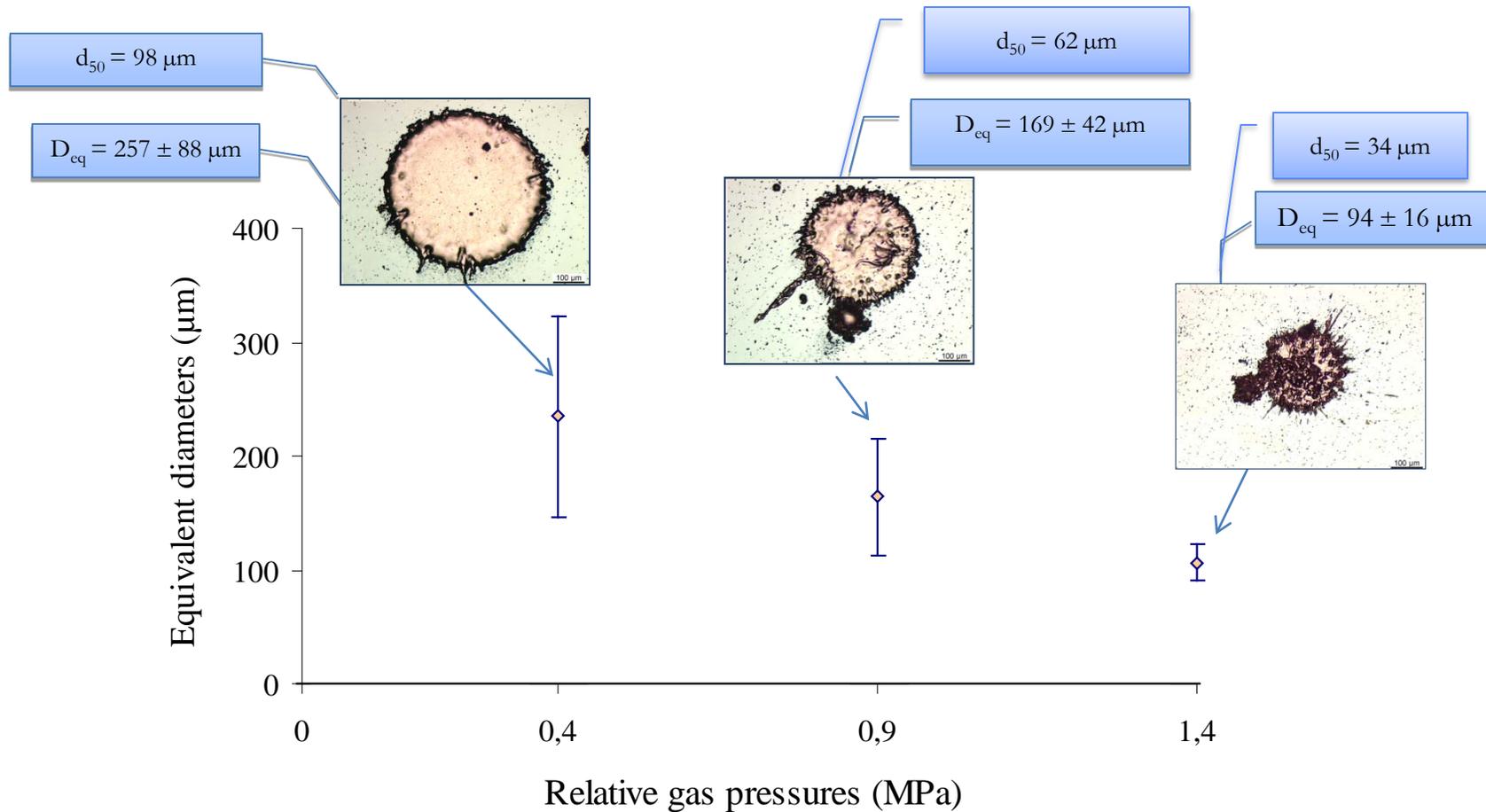
AAE – 17 mars 2010



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

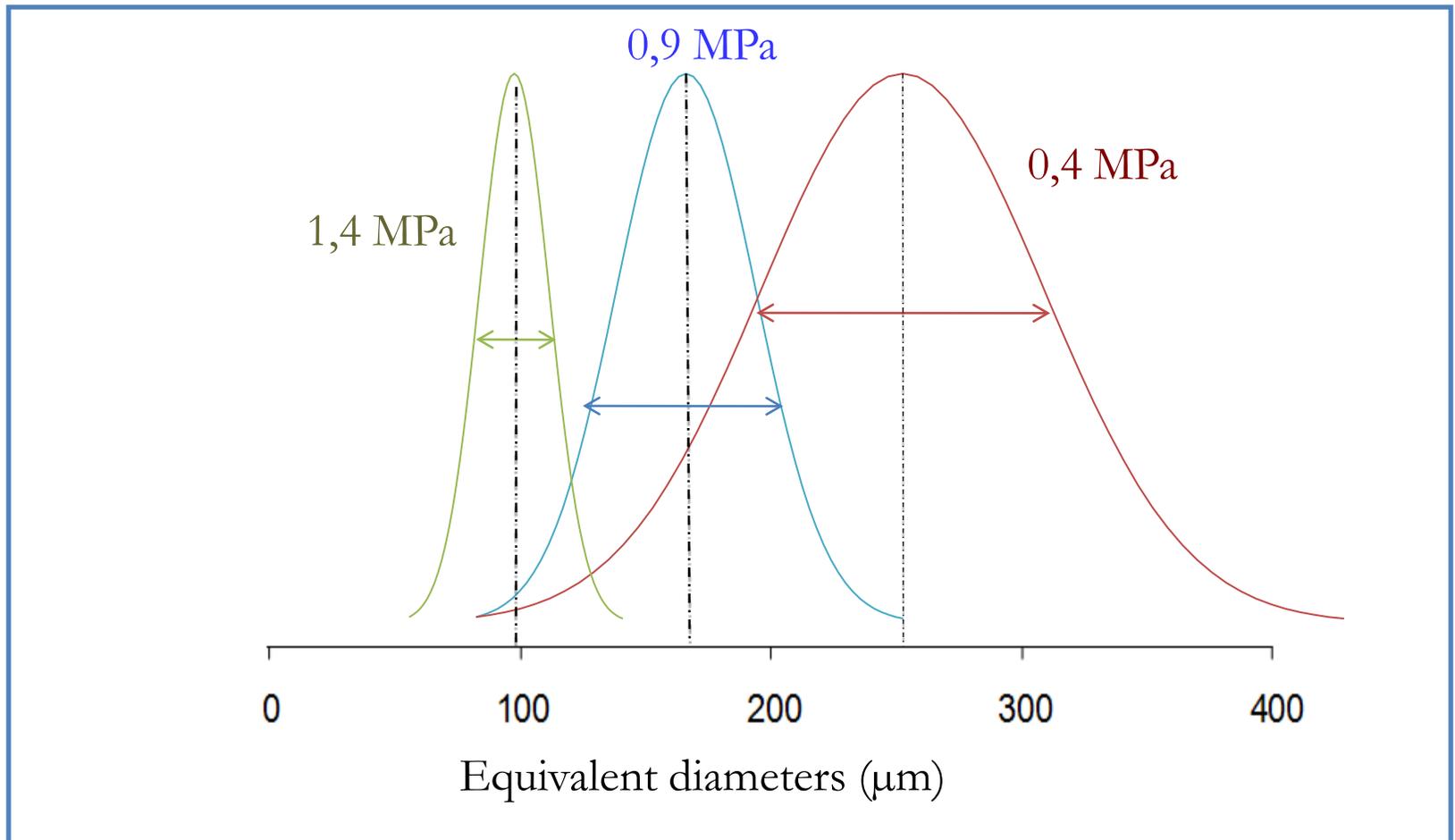
Conception des poudres : Atomisation d'un jet métallique liquide Analyse des écrasements

AAE – 17 mars 2010



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

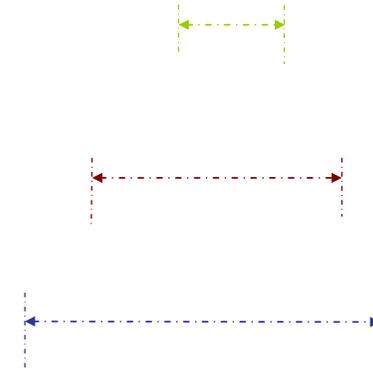
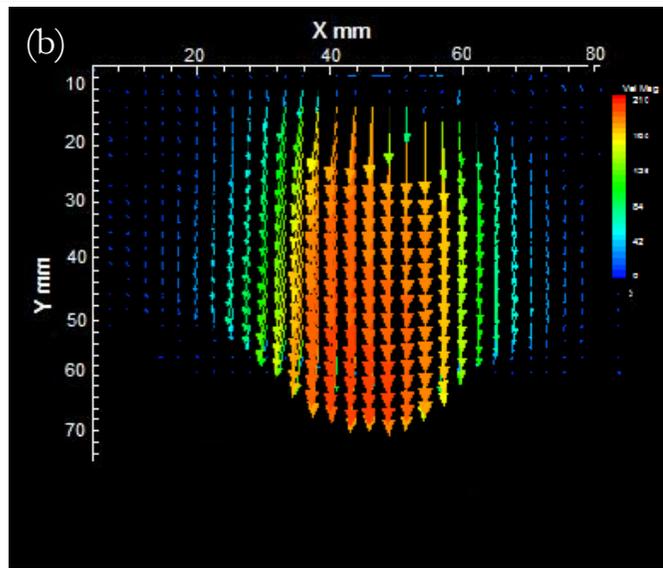
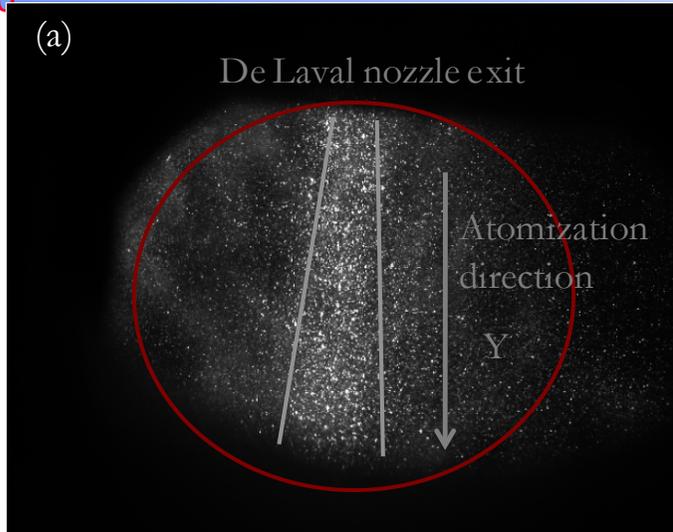
AAE – 17 mars 2010



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

13

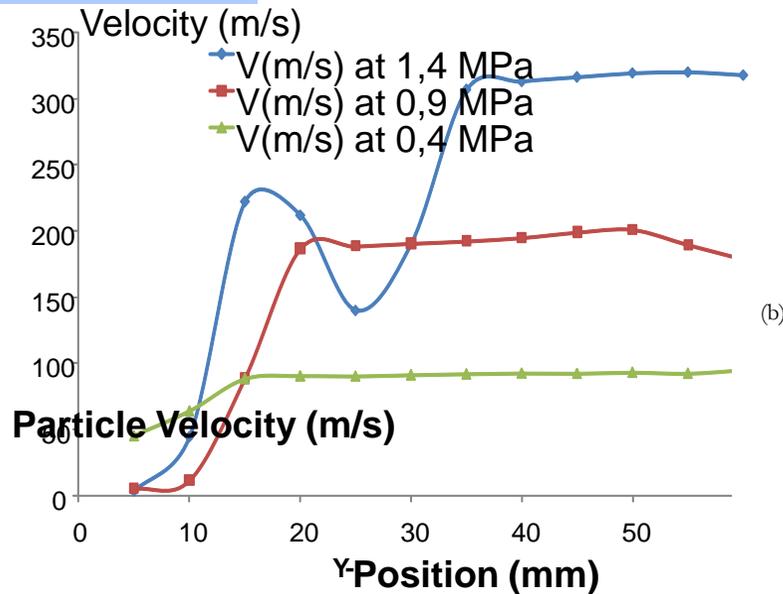
AAE - 17 mars 2010



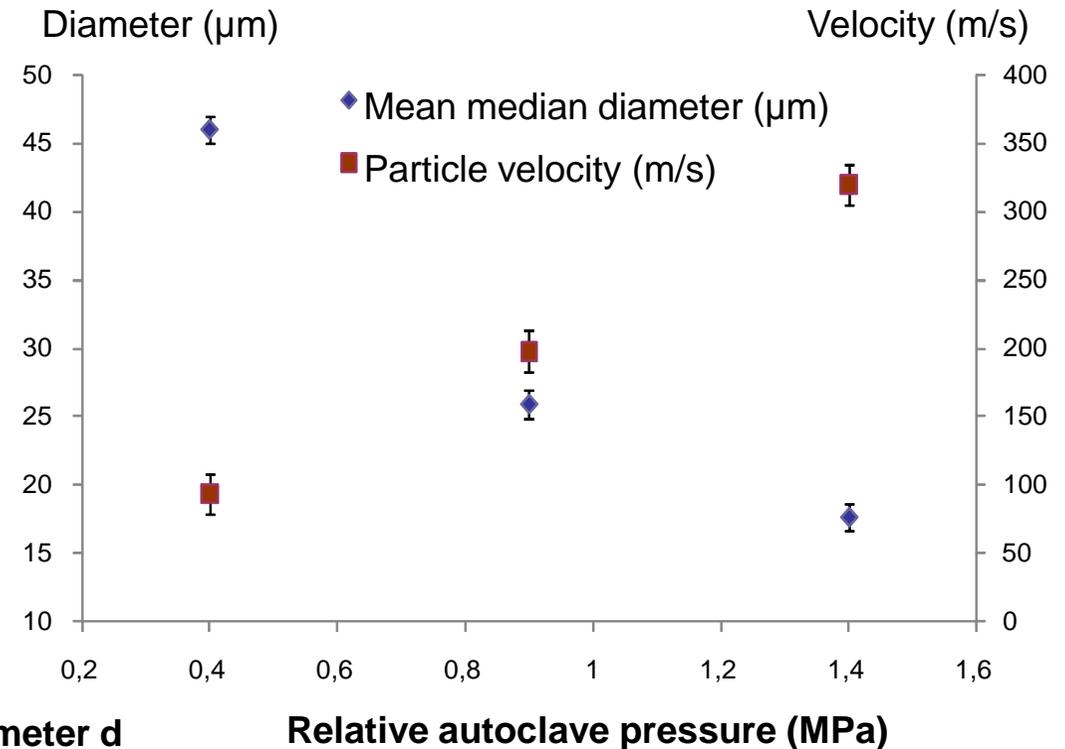
Conception des poudres : Atomisation d'un jet métallique liquide Mesure de vitesse des particules

14

AAE – 17 mars 2010



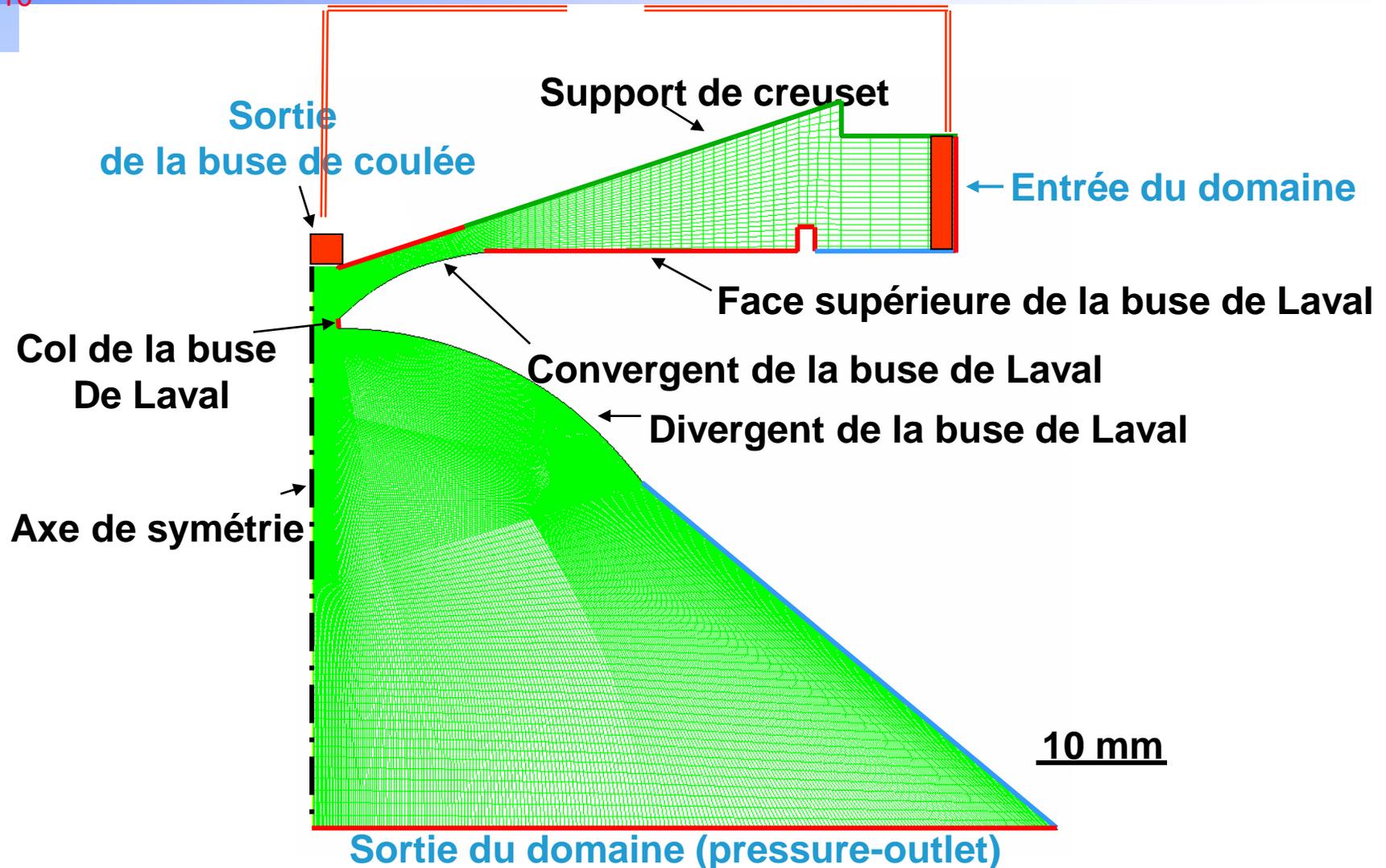
(b)



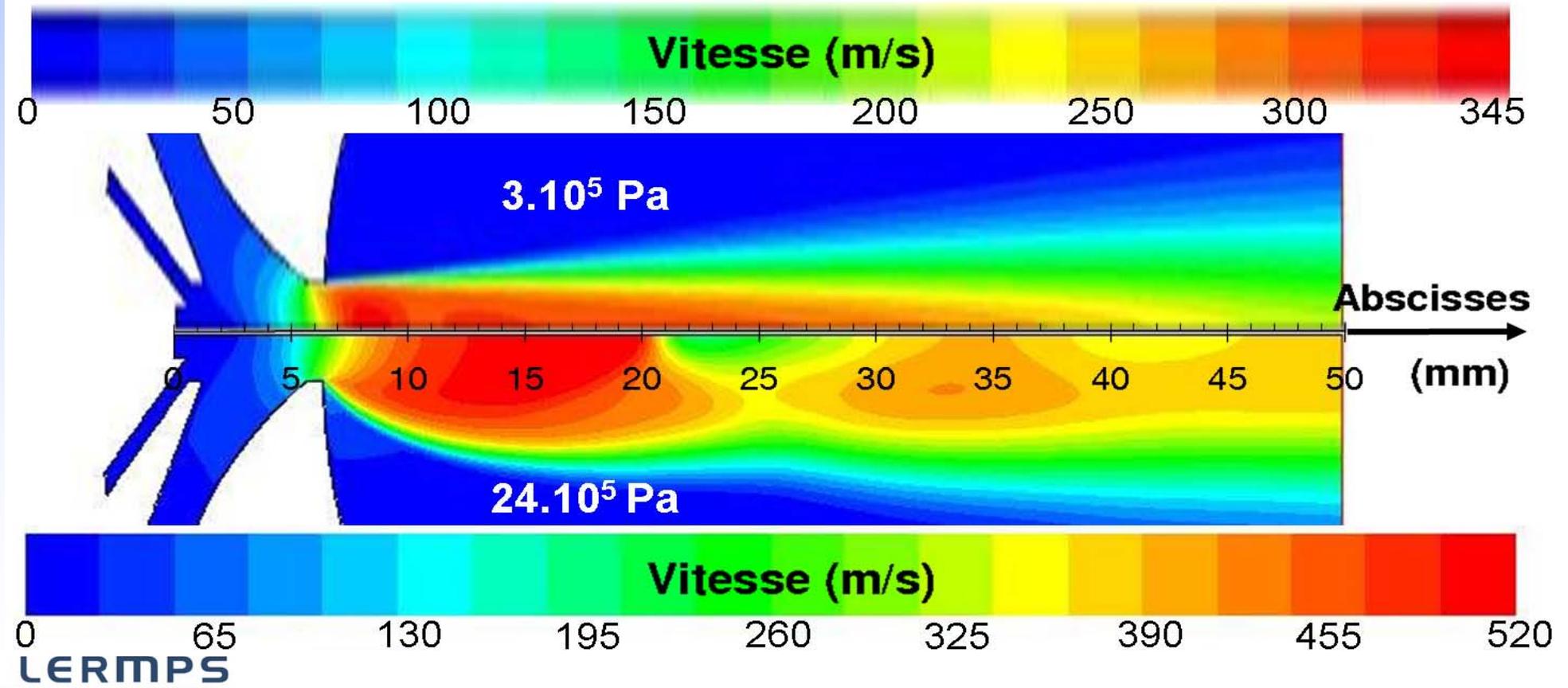
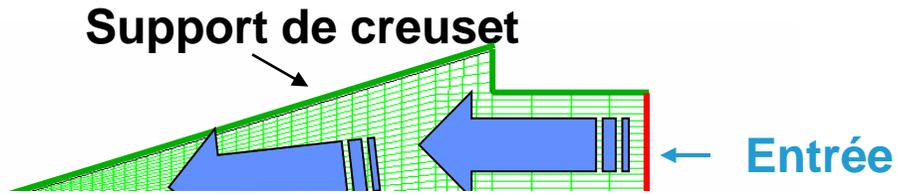
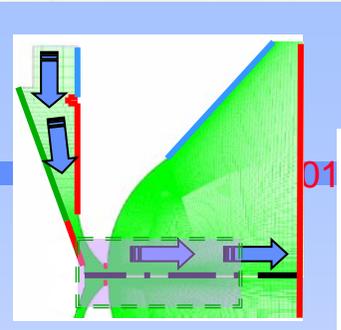
Conception des poudres : Atomisation d'un jet métallique liquide Modélisation

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

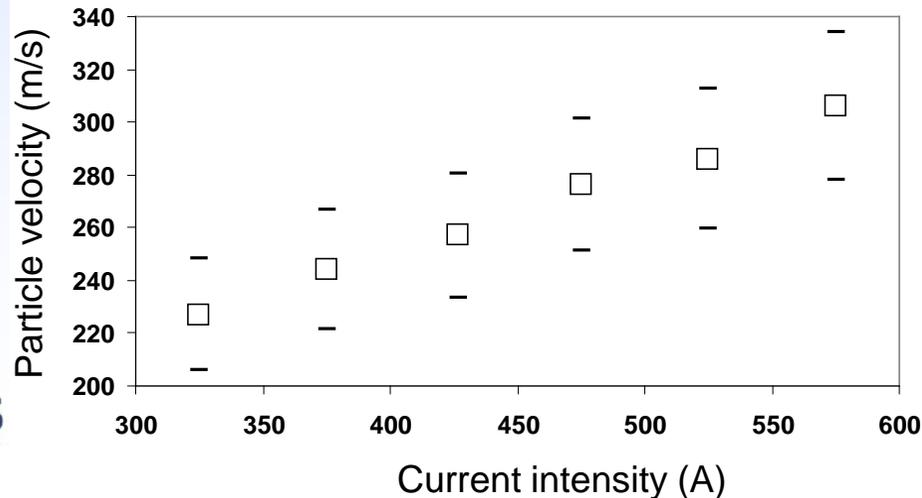
AAE – 17 mars 2010

F4 plasma torch
40/6 L/min Ar/H₂
I = 325 A to 575 A

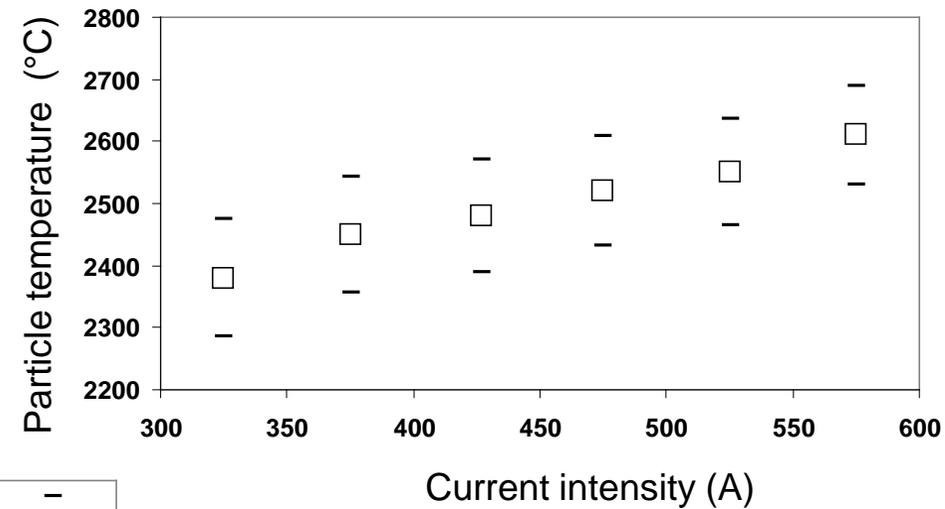
Al₂O₃ powder (22- 45µm)

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



Procédé Plasma

APS – SPS – VLPPS

Comparaison modélisation

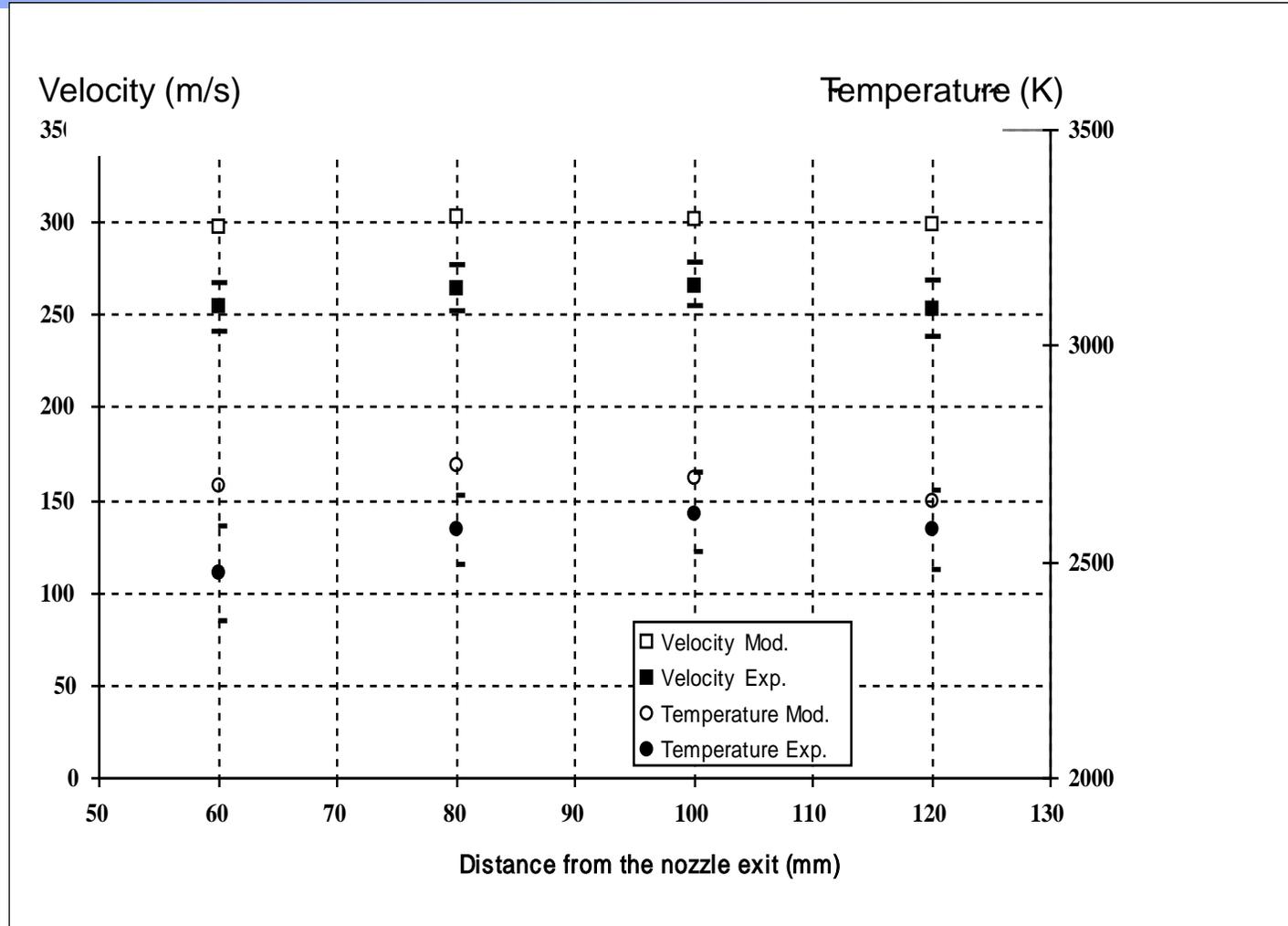
18

AAE – 17 mars 2010

F4 torch
40/ 14 L/min Ar/H₂
I = 575 A

Al₂O₃ powder (45- 90 μm)
Mean diameter : 60 μm

Diagnostic on the jet axis
Fluent code for modeling



Procédé Plasma

APS – SPS – VLPPS

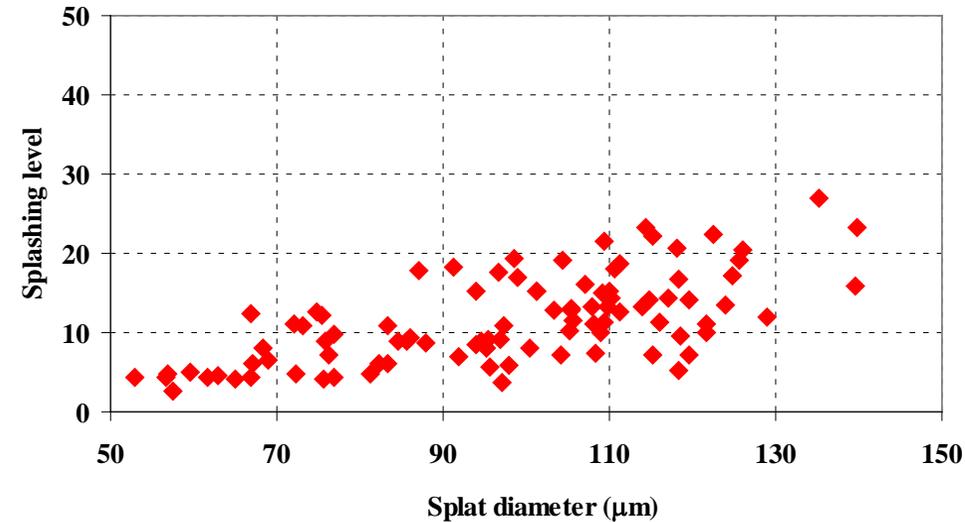
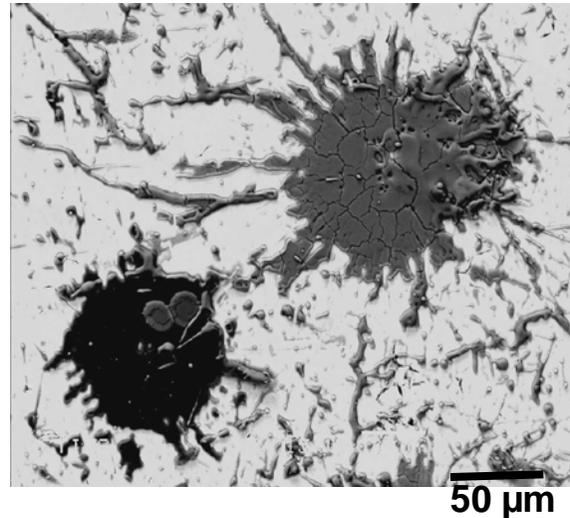
Analyses des écrasements

19

AAE – 17 mars 2010

Al₂O₃ poudre (22- 45µm)
40/6 L/min Ar/H₂

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

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

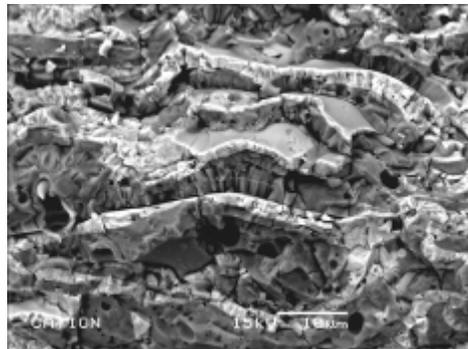
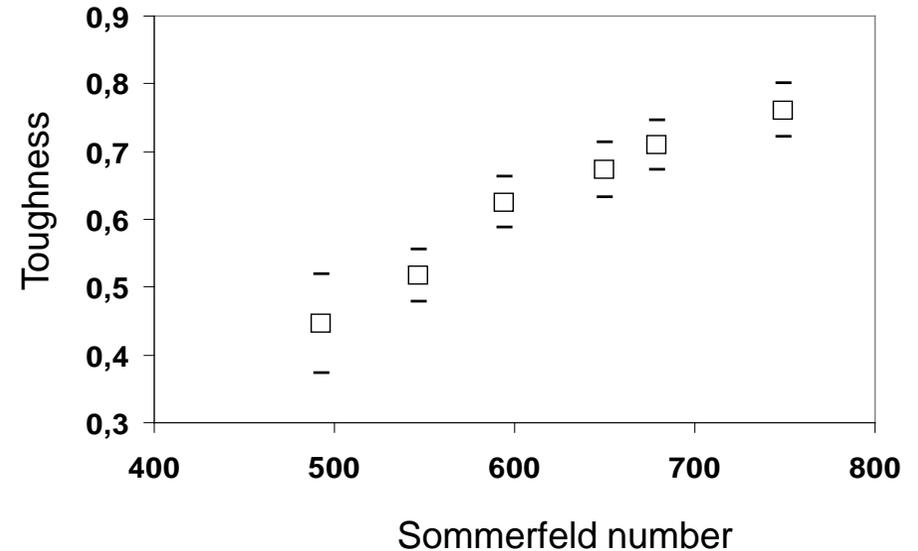
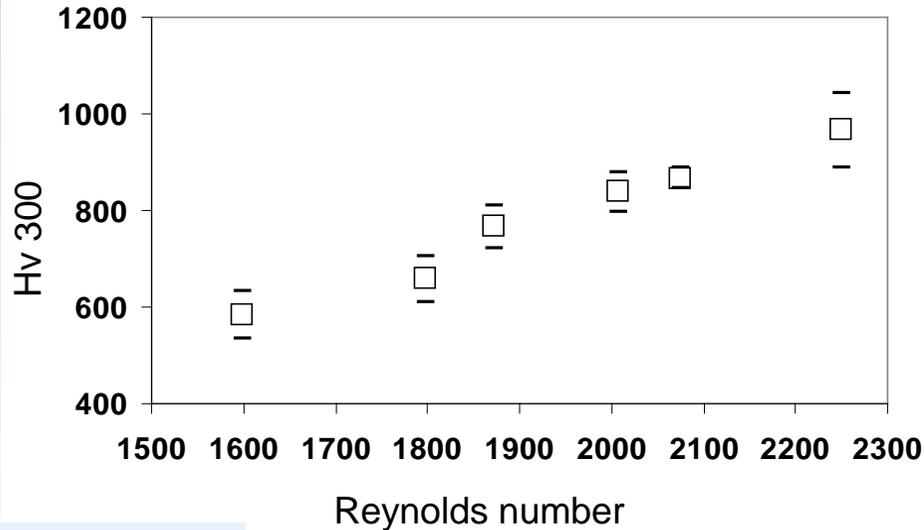
Procédé Plasma

APS – SPS – VLPPS

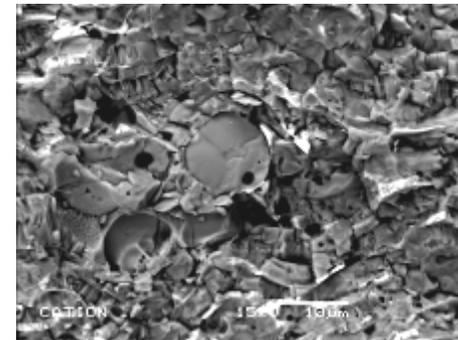
20

Relation avec les propriétés des dépôts

AAE – 17 mars 2010



I = 325 A



I = 575 A

Procédé Plasma

APS – SPS – VLPPS

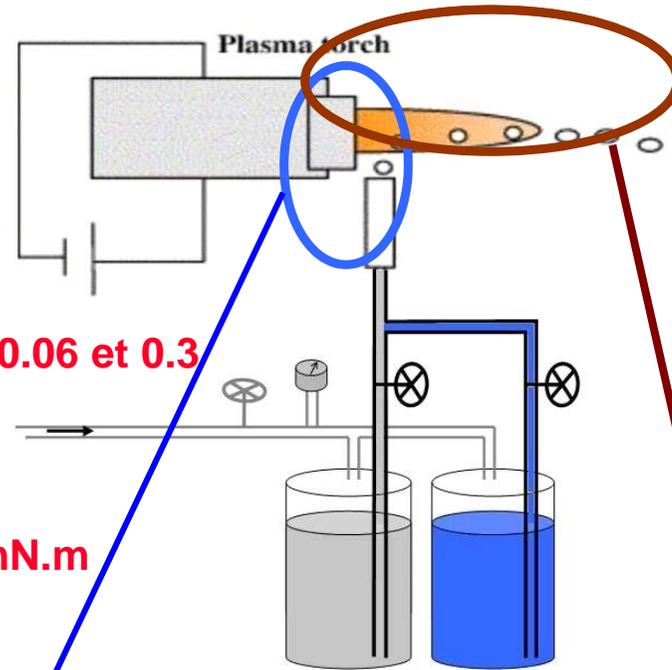
21

AAE – 17 mars 2010

Paramètres injecteur

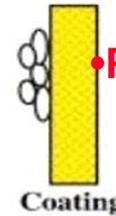
- Mélange interne ou externe
- GLR (rapport gaz sur liquide): 0.06 et 0.3
- Viscosité : 6 et 12 Pa.s
- Tension de surface : 25 et 38 mN.m

Caractérisation de l'injection



Paramètres plasma

- Angle d'injection
- Paramètres de puissance



Caractérisation du jet

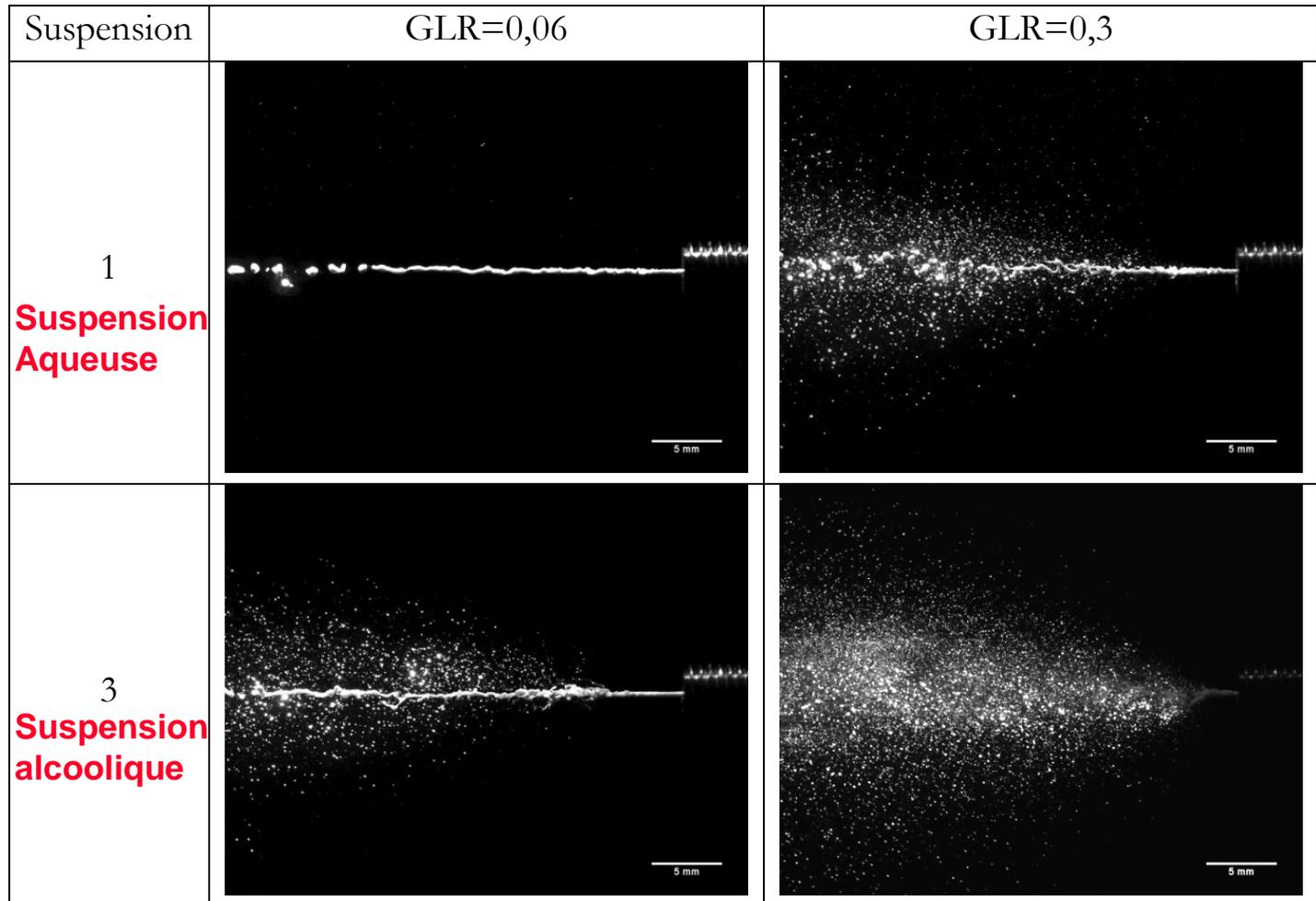
Procédé Plasma

APS – SPS – VLPPS

22

Caractérisation de l'injection (injecteur externe)

AAE – 17 mars 2010



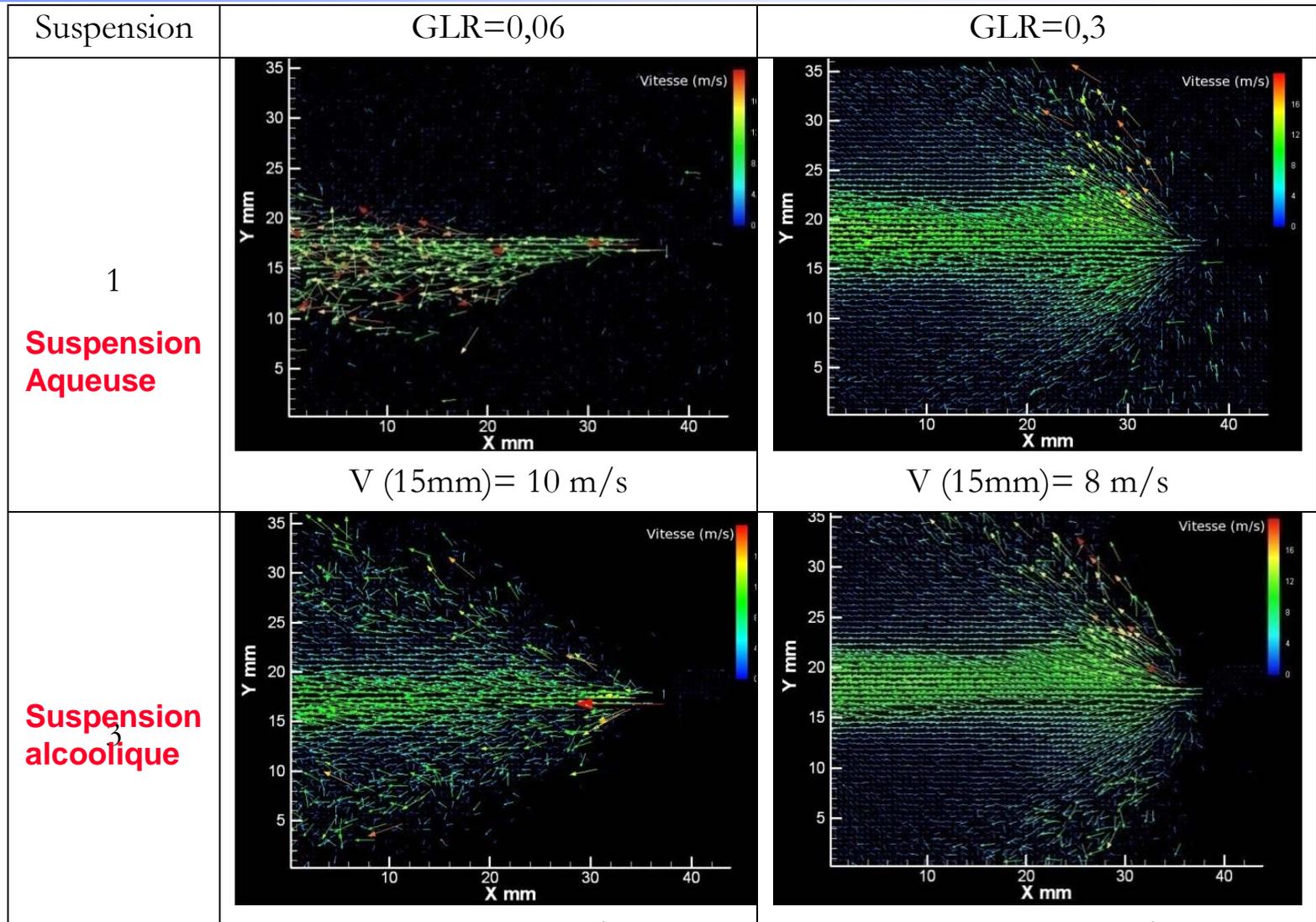
Procédé Plasma

APS – SPS – VLPPS

23

Caractérisation de l'injection (injecteur externe)

AAE – 17 mars 2010



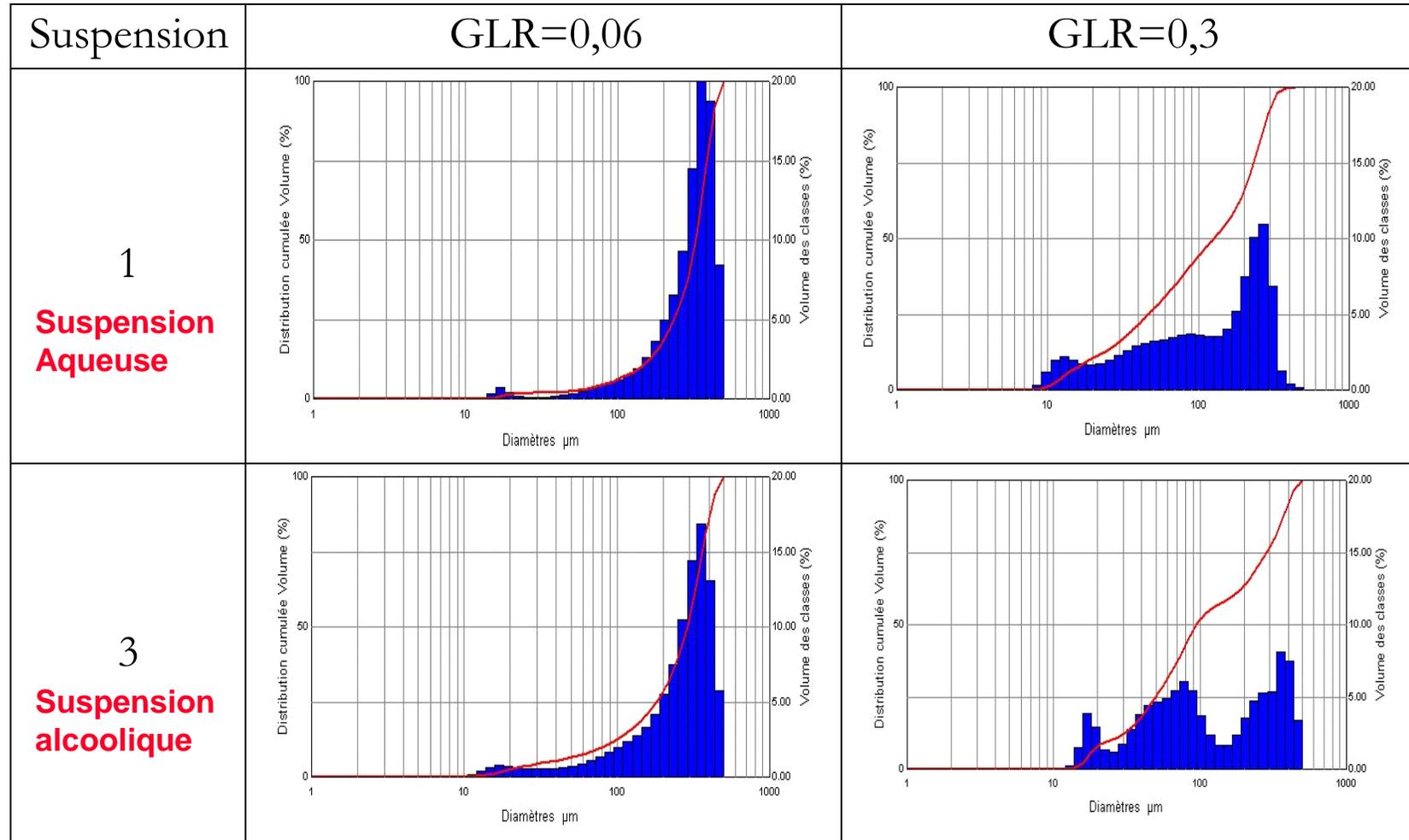
Procédé Plasma

APS – SPS – VLPPS

24

Caractérisation de l'injection (injecteur externe)

AAE – 17 mars 2010

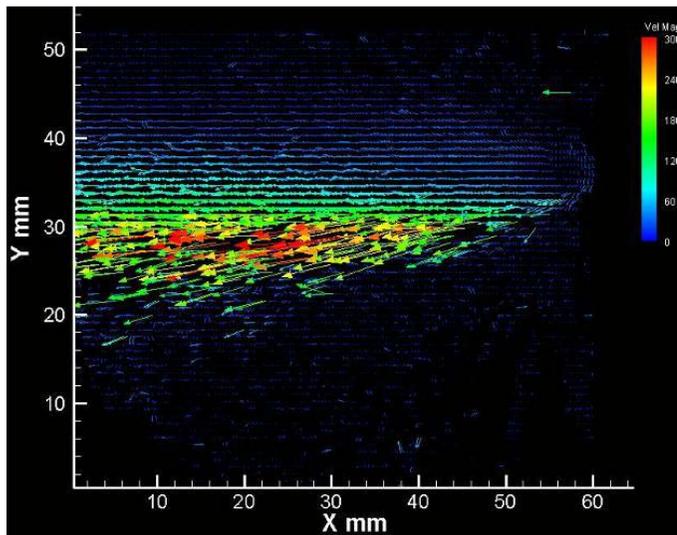
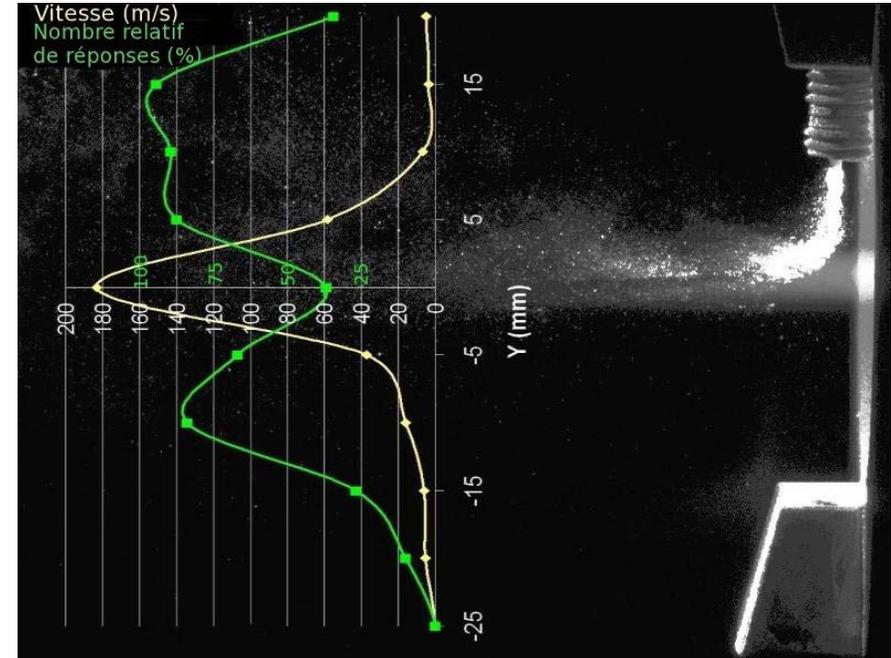
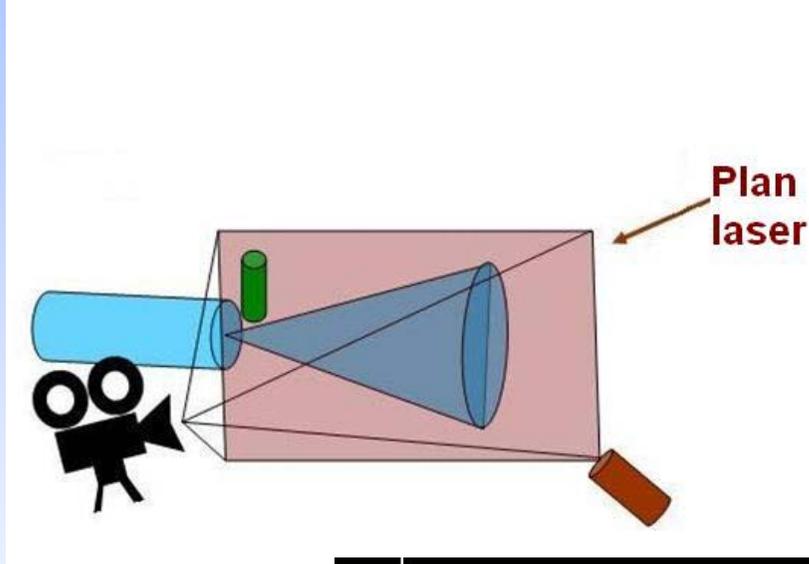


Procédé Plasma APS – SPS – VLPPS

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/H₂

Suspension aqueuse



Suspension alcoolique



Procédé Plasma

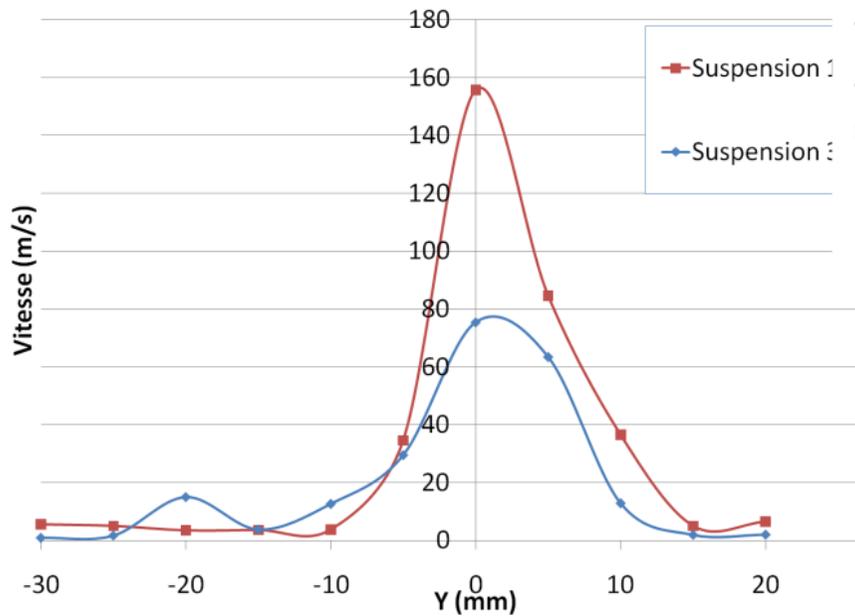
APS – SPS – VLPPS

27

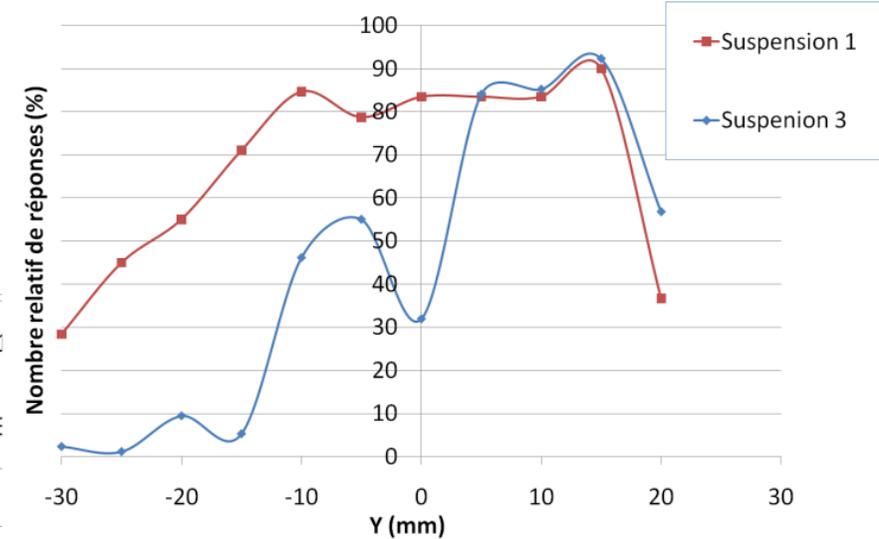
Caractérisation du spray (GRL : 0.06)

AAE – 17 mars 2010

Suspension aqueuse



Suspension alcoolique



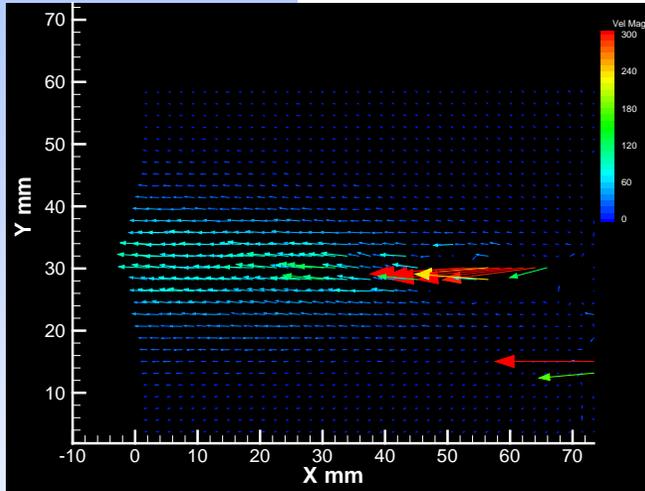
Procédé Plasma

APS – SPS – VLPPS

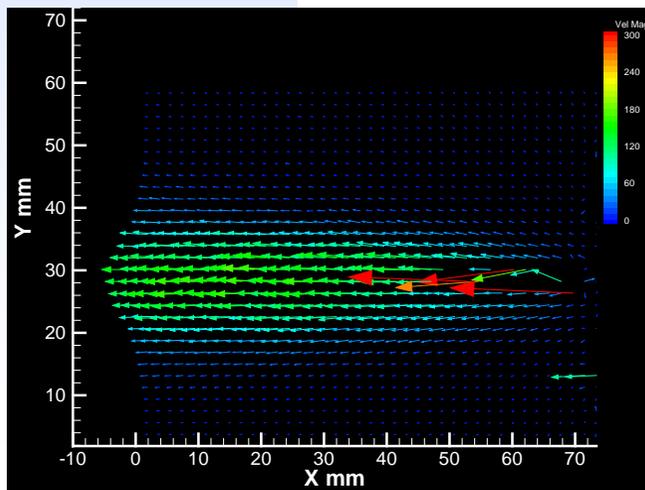
Caractérisation du spray

28

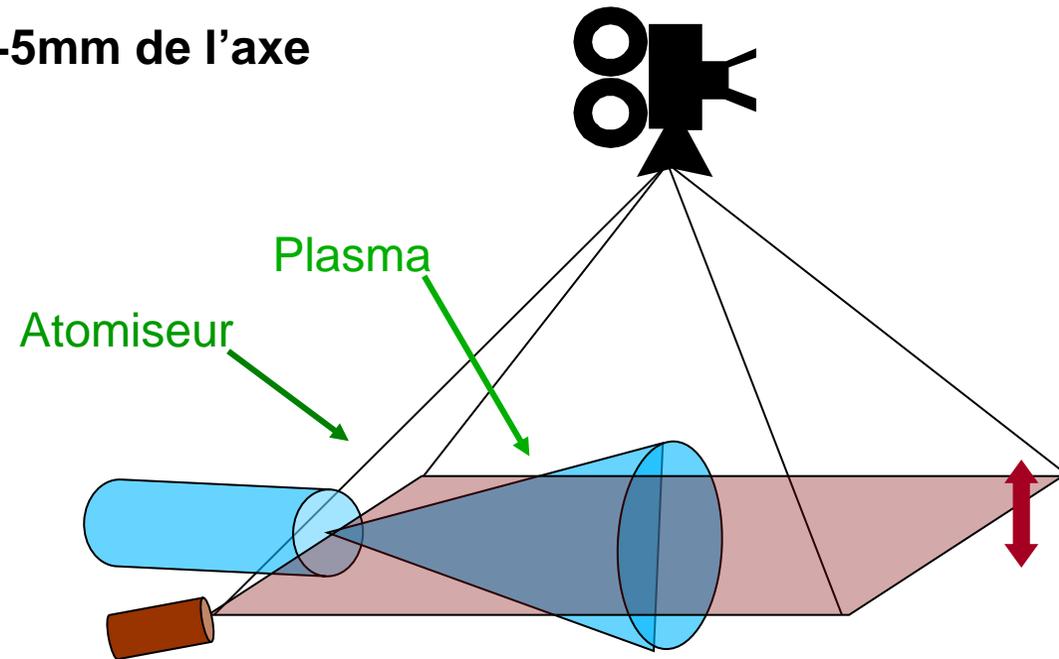
AAE – 17 mars 2010



➤ Hauteur: +5mm de l'axe



➤ Hauteur: -5mm de l'axe



Procédé Plasma

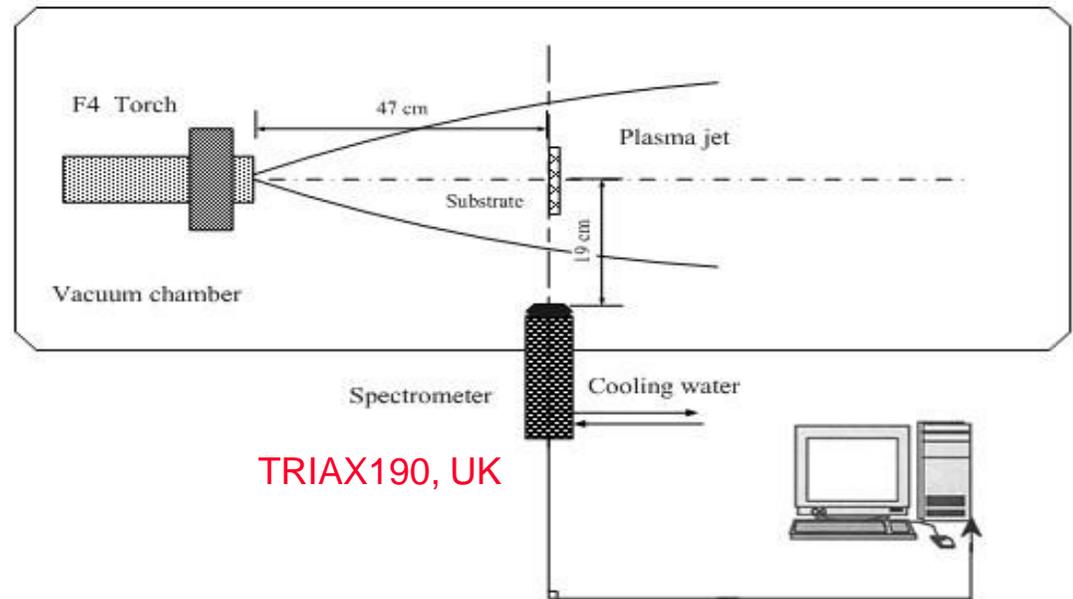
APS – SPS – VLPPS

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



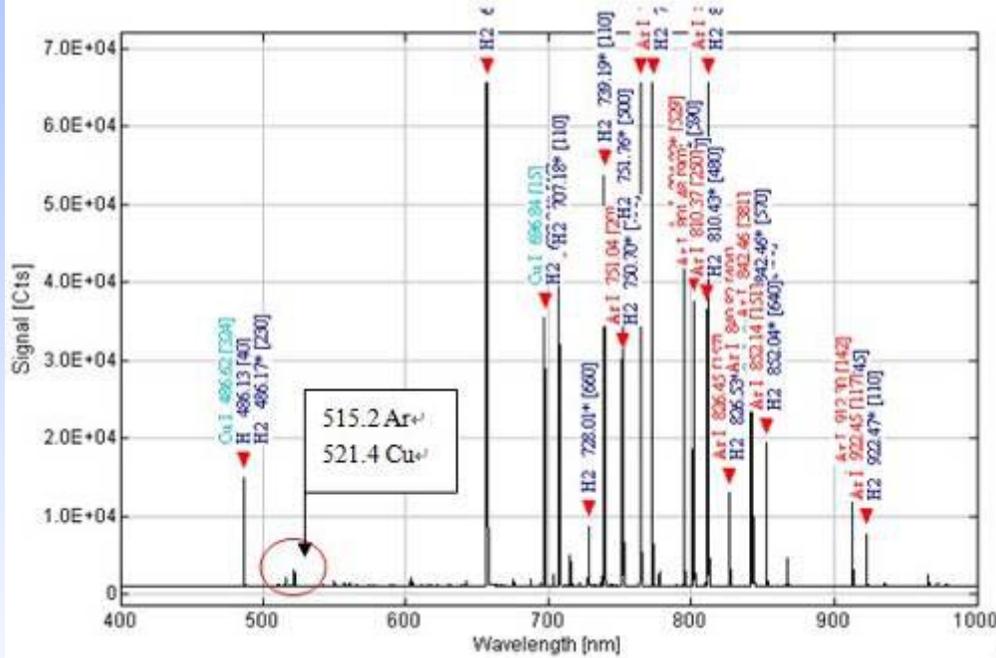
Domaine spectral: 100 à 1000 nm

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

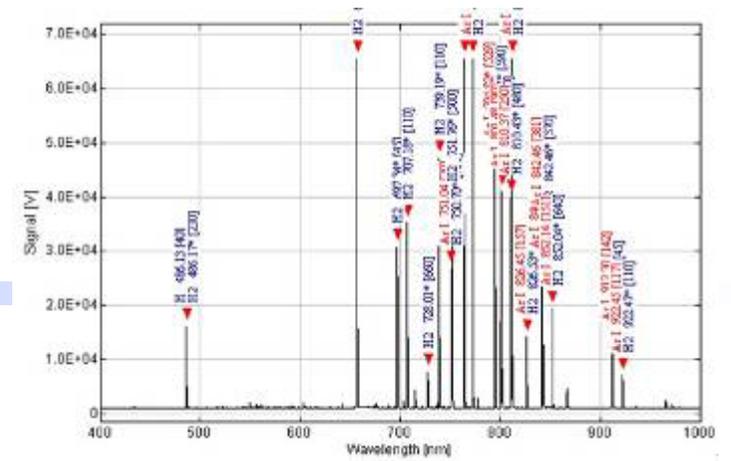
Procédé Plasma APS – SPS – VLPPS

30

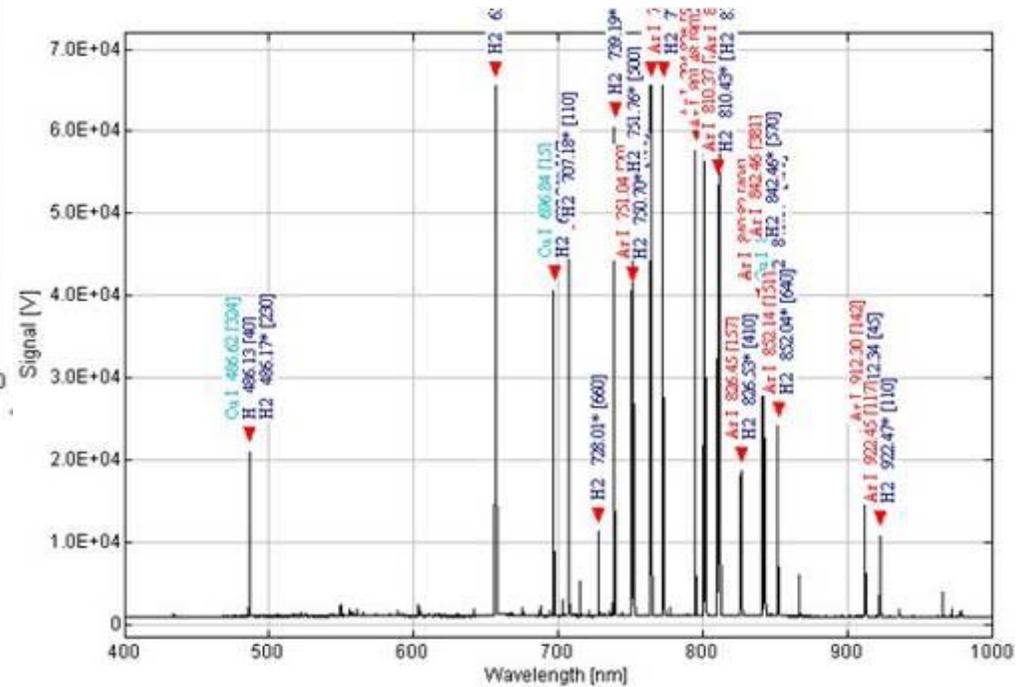
AAE – 17 mars 2010



Taille des poudres : 14-20µm



Sans poudre



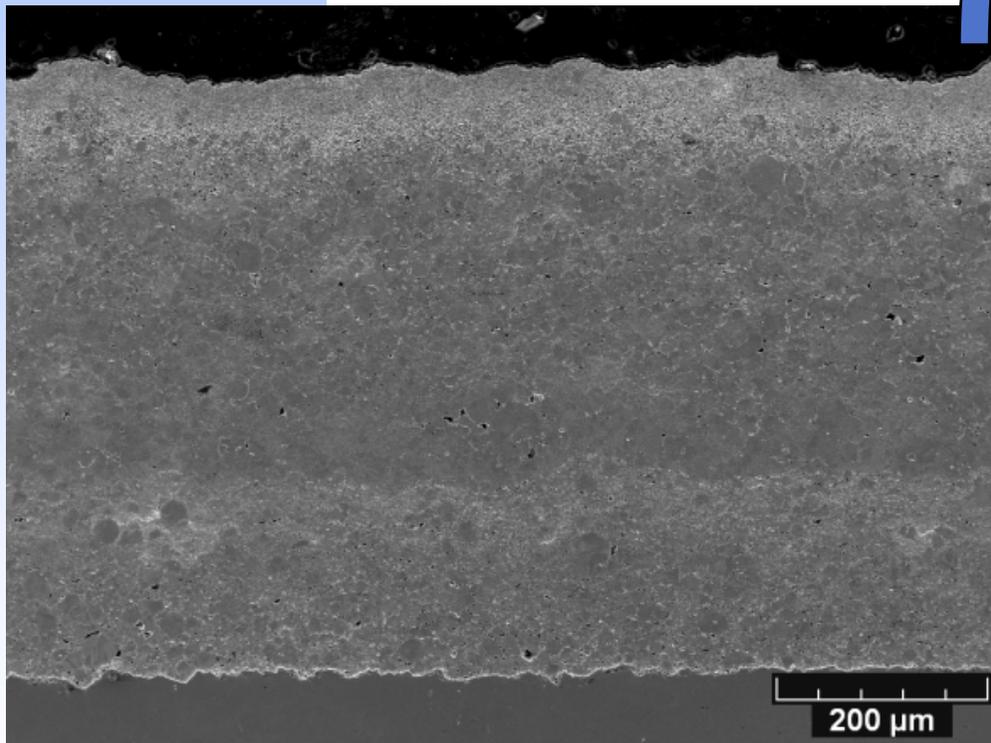
Taille des poudres : 40-64µm

Procédé Plasma

APS – SPS – VLPPS

31

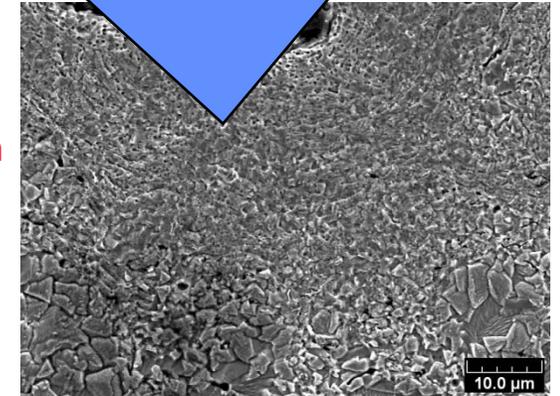
AAE – 17 mars 2010



Distance de 40 cm
sans H₂

Distance de 47cm

Distance de 40 cm,
Grains plus gros
Température plus forte



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

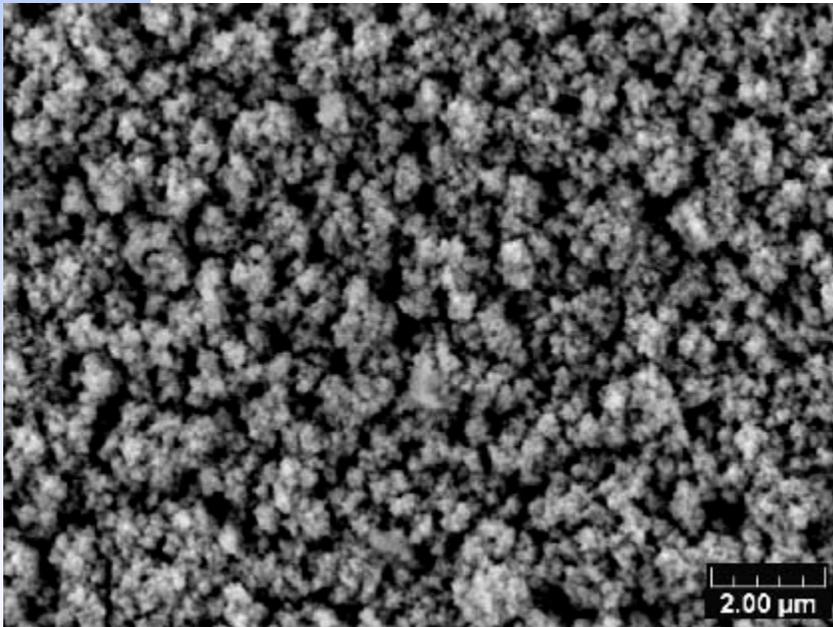
Procédé Plasma

APS – SPS – VLPPS

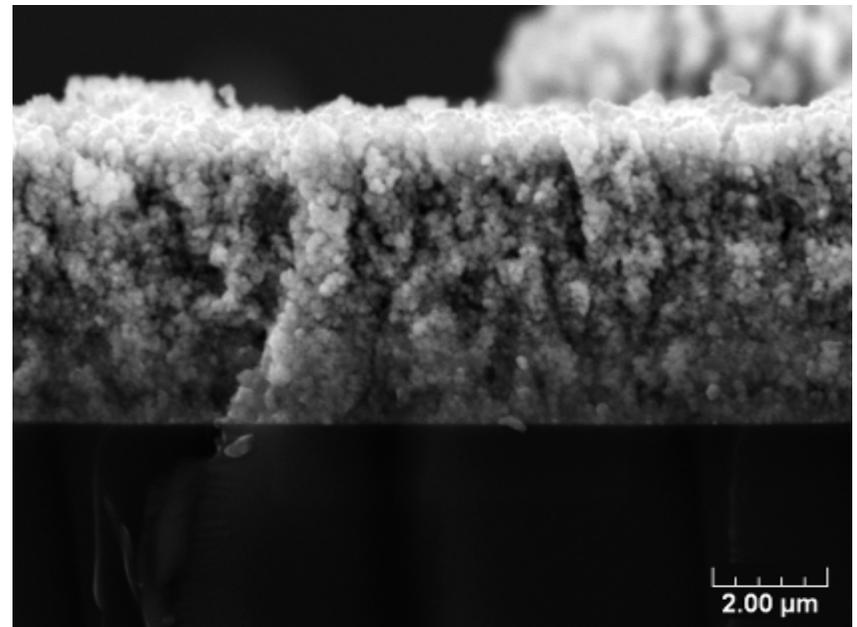
32

AAE – 17 mars 2010

Film Cu déposé sur un substrat en verre



Surface du dépôt

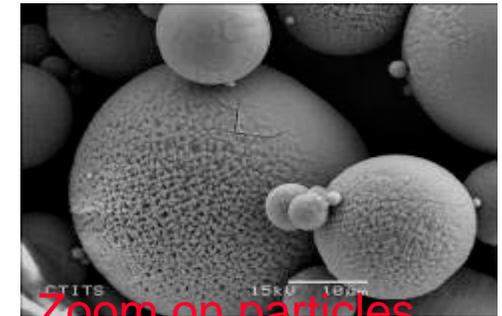
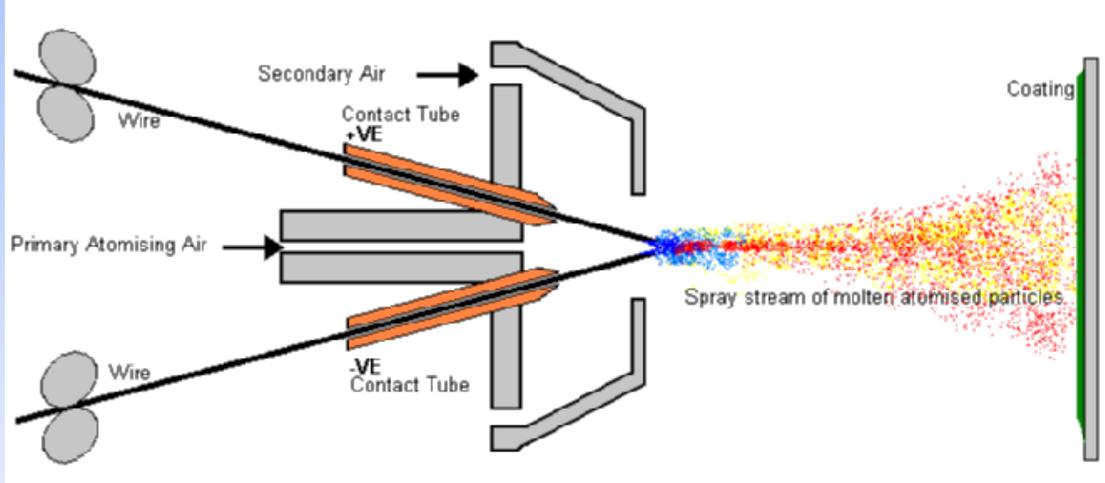


Croissance des grains dans le dépôt

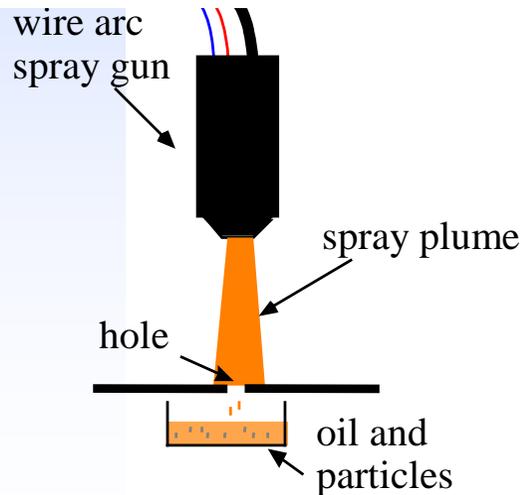
Procédé Arc fil (TAFA 9000)

33

AAE – 17 mars 2010



Zoom on particles

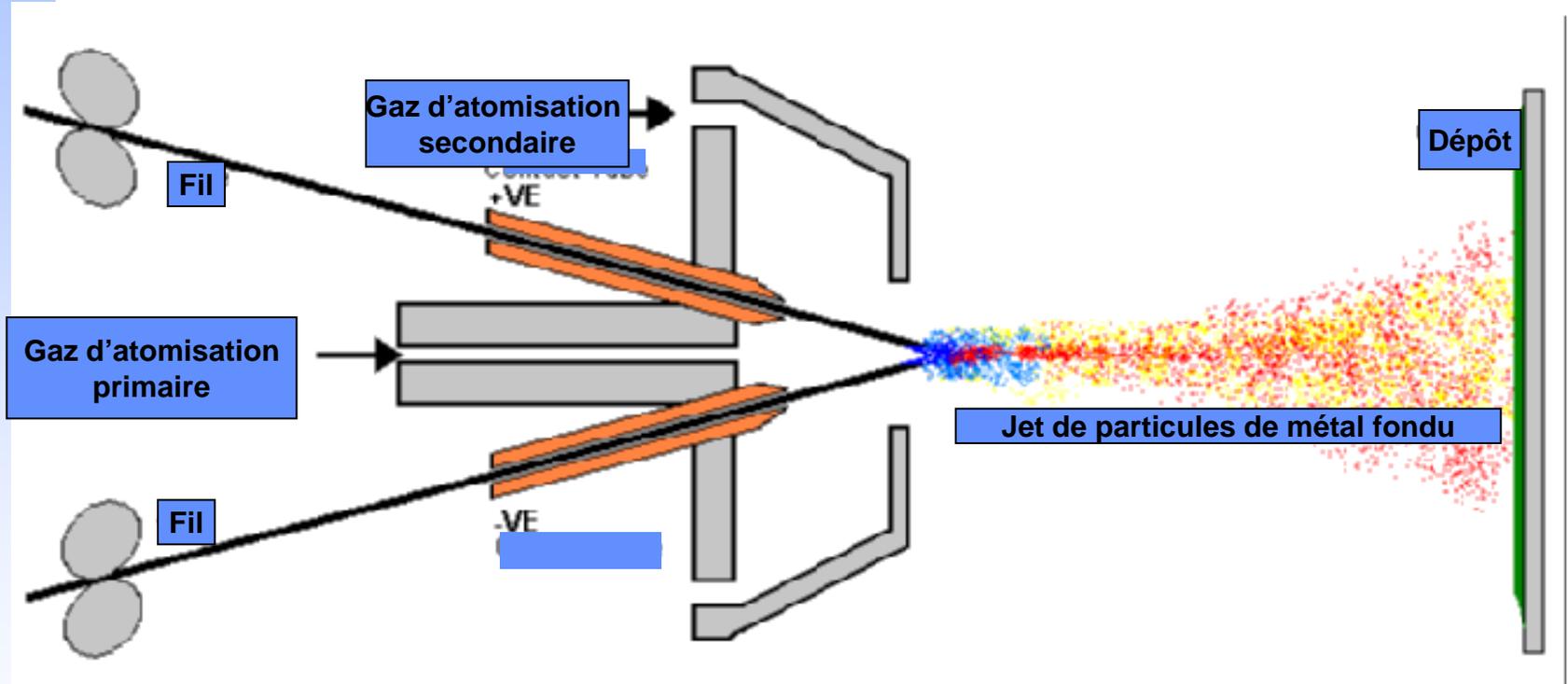


Gas flow rate (m ³ /h)	94	110	122	144
Average diameter(µm)	42	38	31	18
Standard deviation (µm)	29	17	14	7

Procédé Arc fil (TAFA 9000)

34

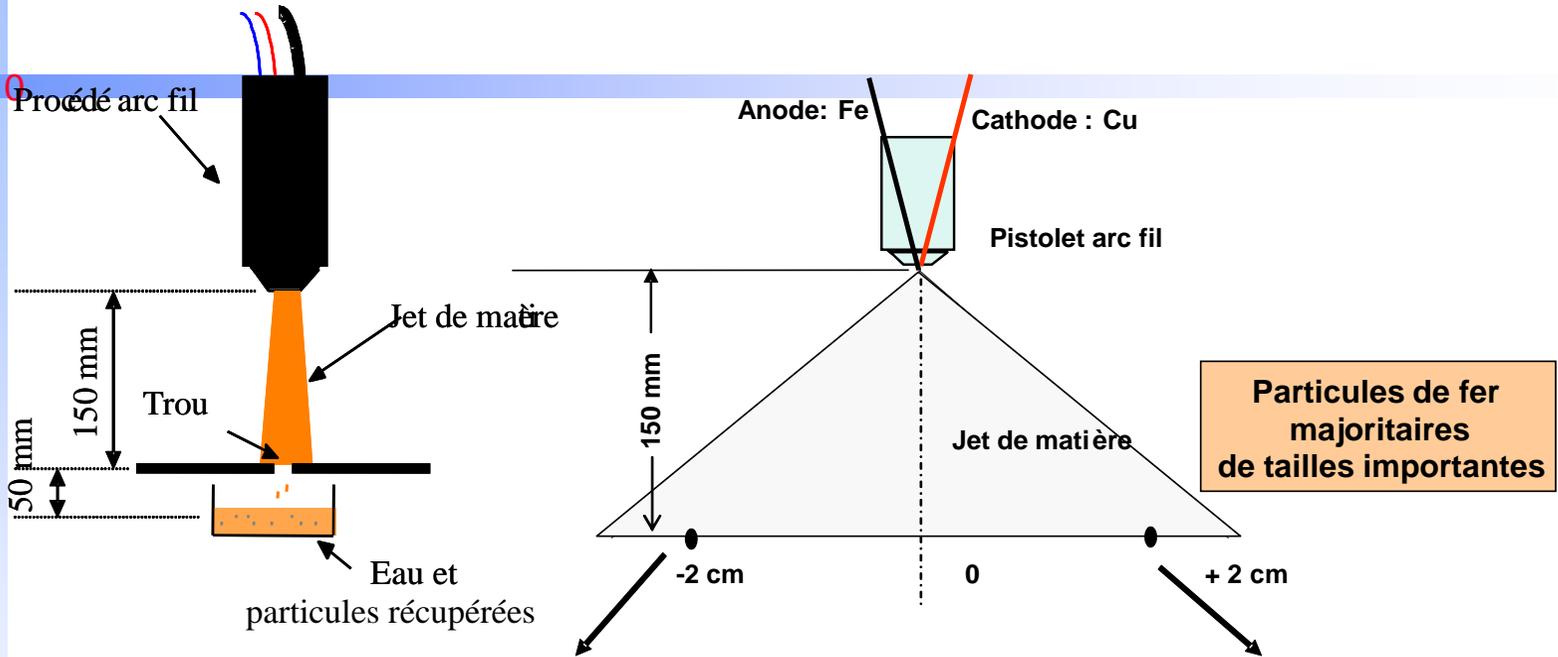
AAE – 17 mars 2010



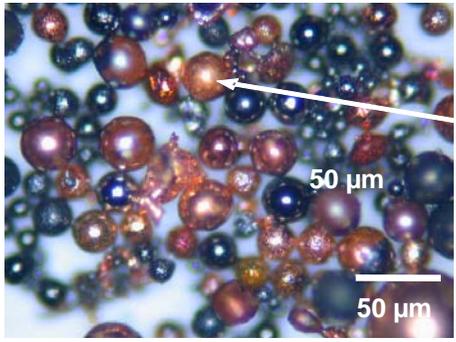
Procédé Arc fil (TAFA 9000)

35

AAE – 17 mars 2010

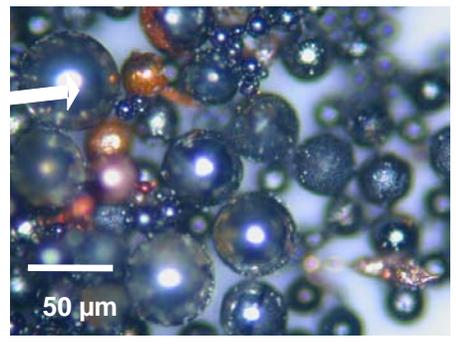


Particules de cuivre majoritaires de tailles assez faibles



Particules de Cu

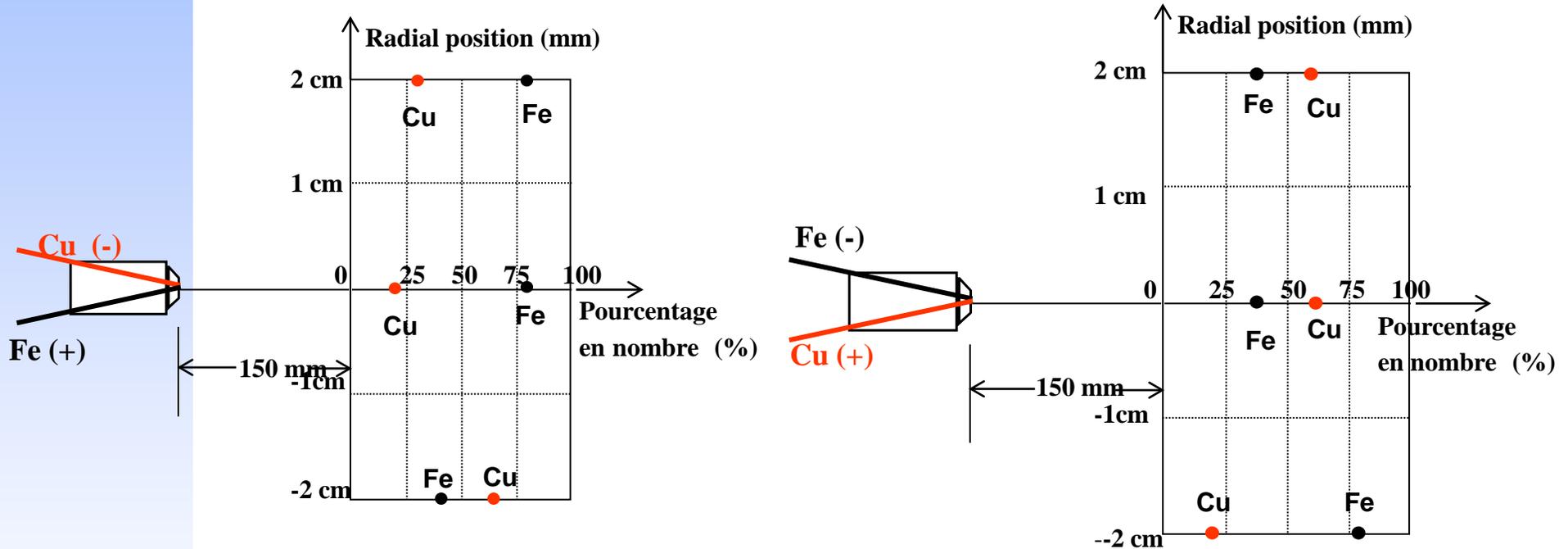
Particules de Fe



Procédé Arc fil (TAFA 9000)

36

AAE – 17 mars 2010



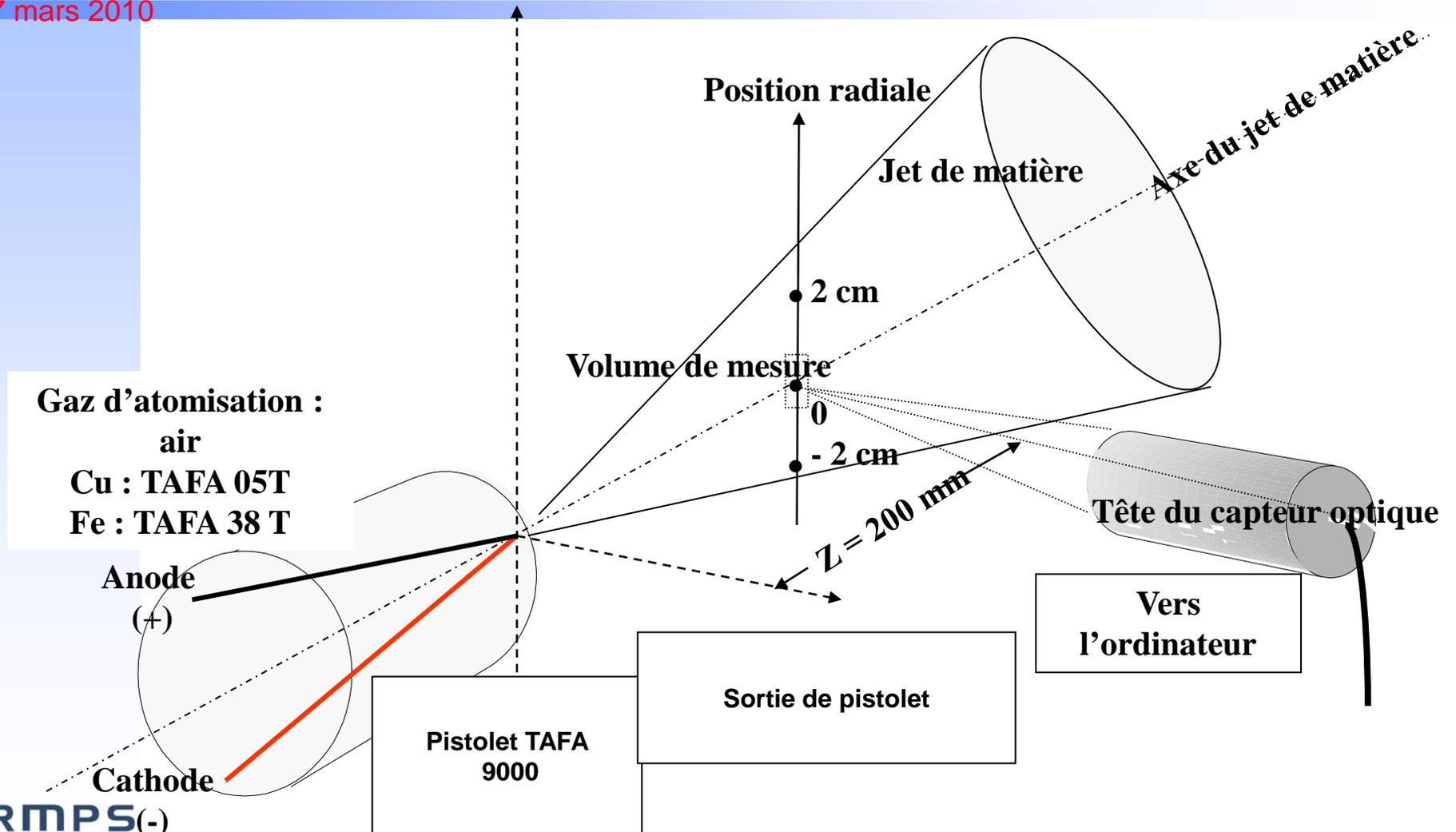
Mise en évidence de l'existence d'une direction croisée de projection

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

Procédé Arc fil (TAFAs 9000)

37

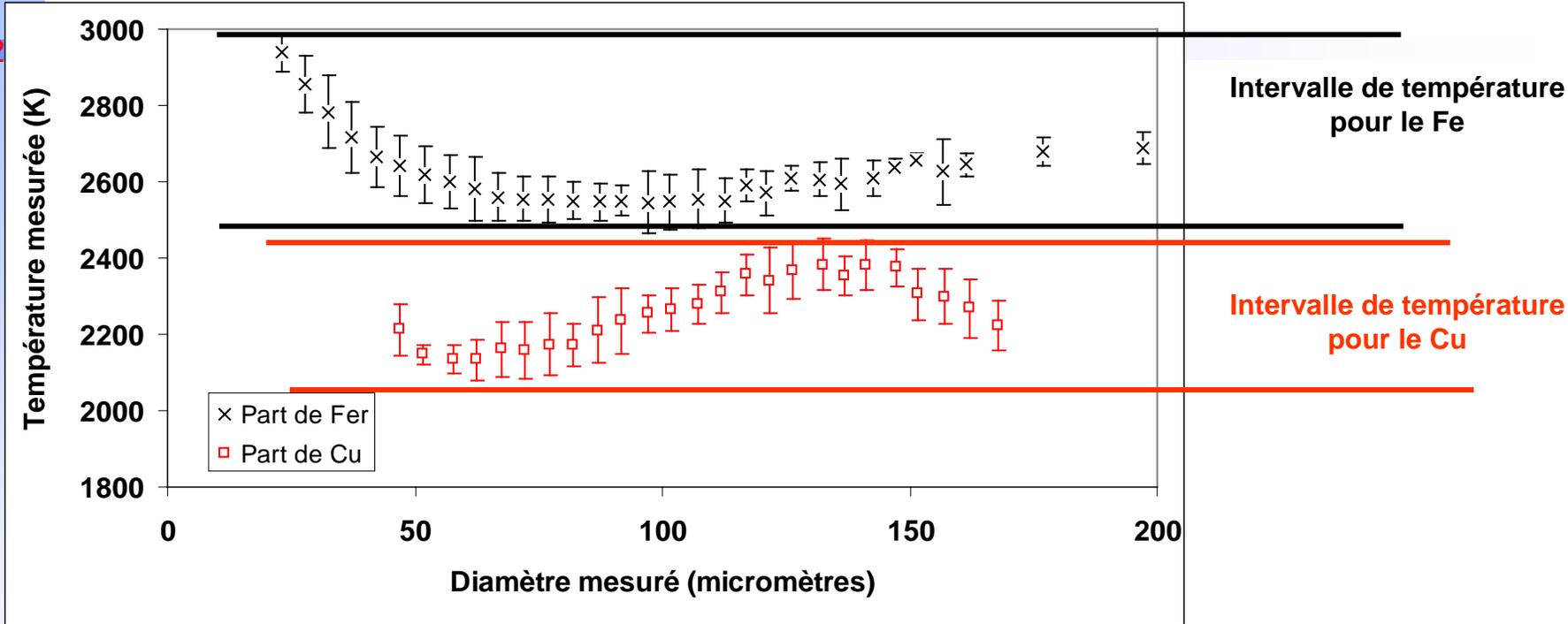
AAE – 17 mars 2010



Procédé Arc fil (TAFA 9000)

38

AAE – 17 mars 202



Pas de recouvrement des intervalles de température

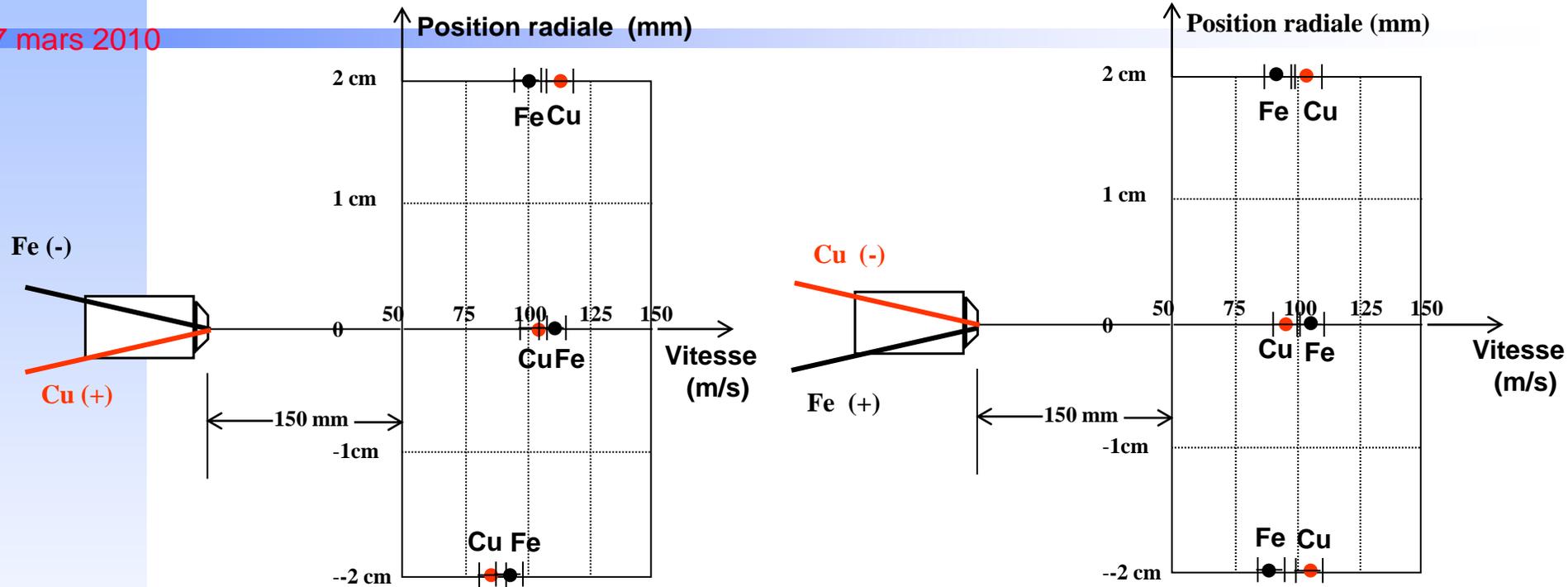
Identification des particules possible

Concordance des résultats entre analyses d'images et mesures DPV

Procédé Arc fil (TAFA 9000)

39

AAE – 17 mars 2010



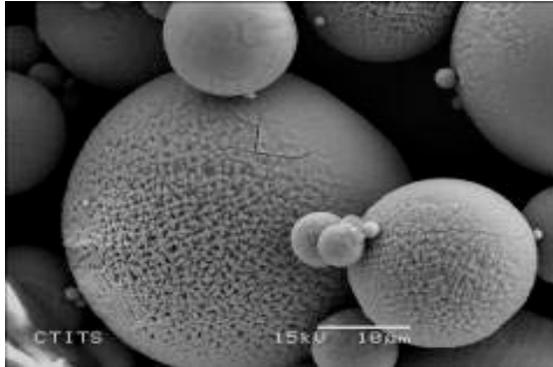
Vitesses des particules de Fe et de Cu sensiblement les mêmes pour une configuration d'électrodes donnée

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

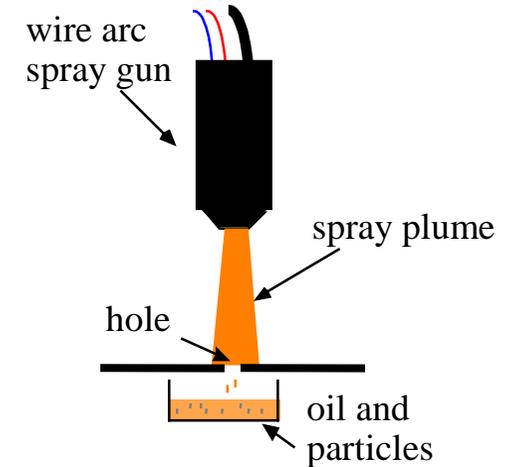
Procédé Arc fil (TAFA 9000)

40

AAE – 17 mars 2010



Zoom sur les
particules



Modification des paramètres opératoires

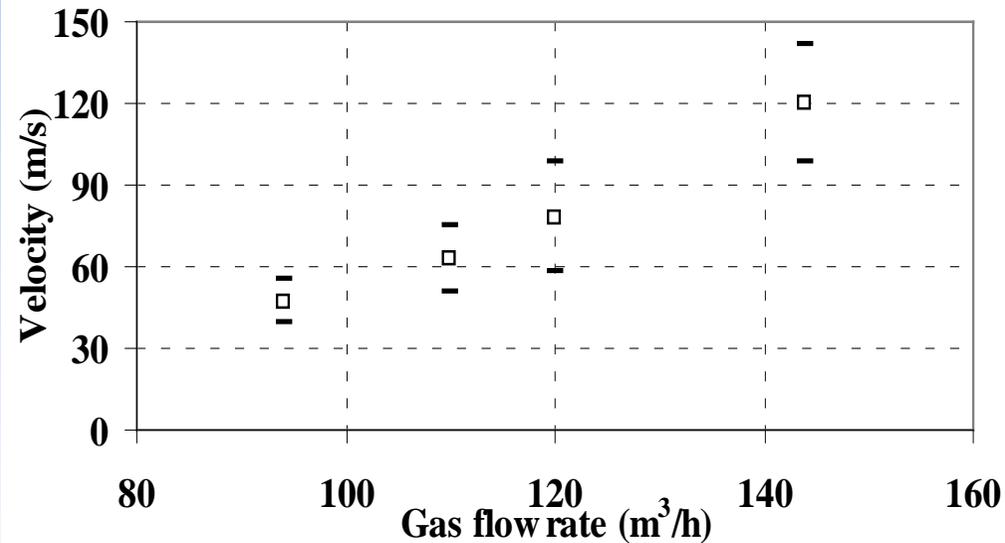
Débit d'air comprimé (m ³ /h)	94	110	122	144
Diamètre moyen (µm)	42	38	31	18
Ecart type sur le diamètre (µm)	29	17	14	7

Procédé Arc fil (TAFA 9000)

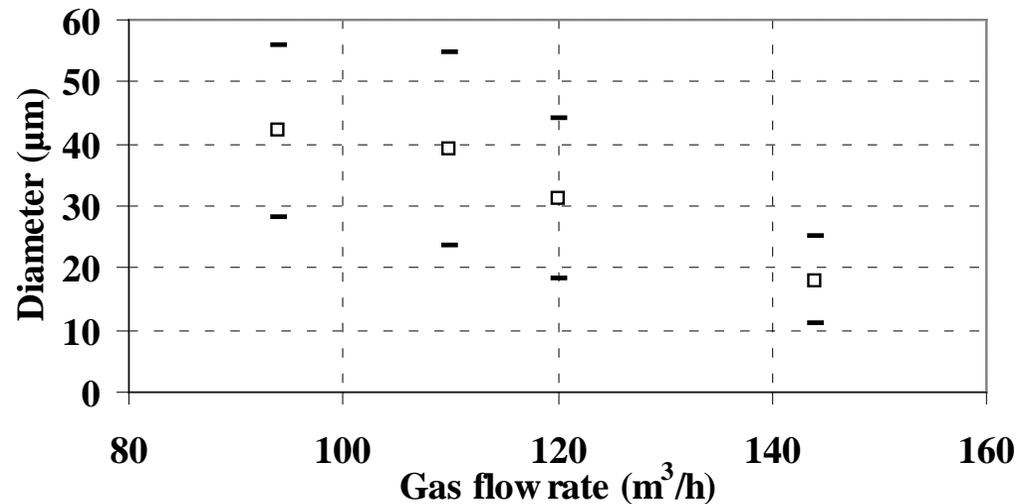
41

AAE – 17 mars 2010

Evolution of de la vitesse en fonction du débit



Evolution of de la température en fonction du débit

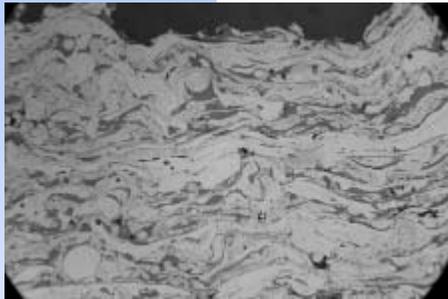


Procédé Arc fil (TAFA 9000)

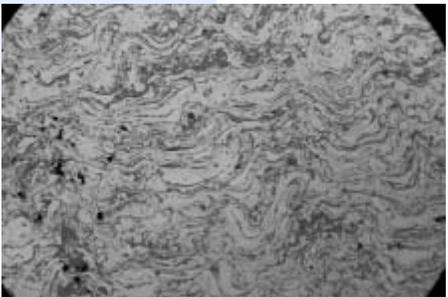
42

AAE – 17 mars 2010

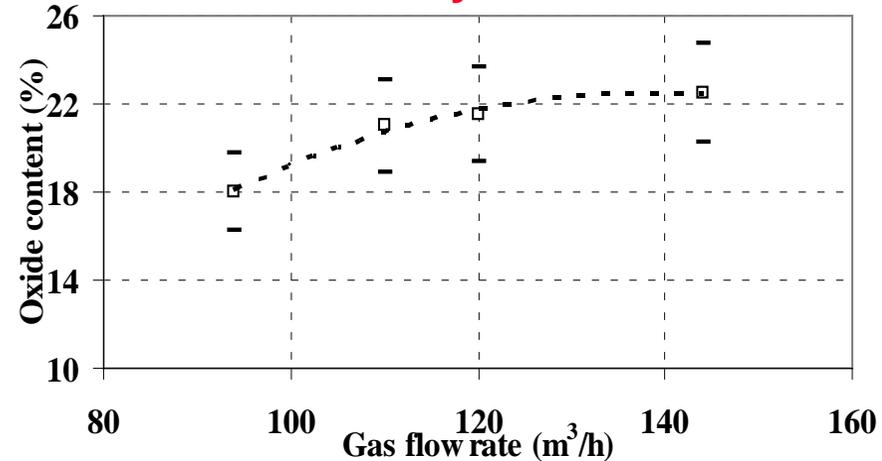
Débit d'air: 94 m³ / h



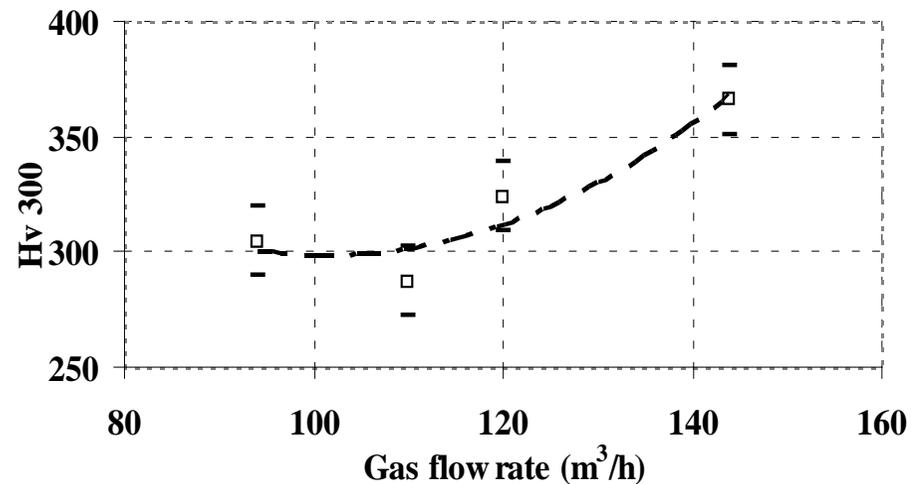
Débit d'air: 144 m³ / h



Evolution du taux d'oxydes en fonction du débit

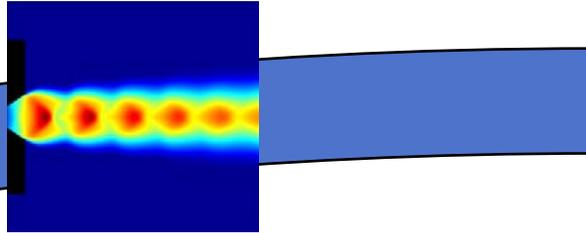


Evolution de la dureté en fonction du débit

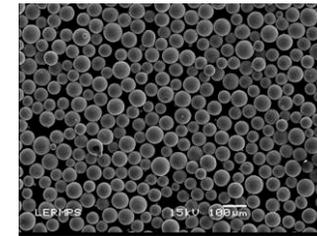


AAE – 17 mars 2010

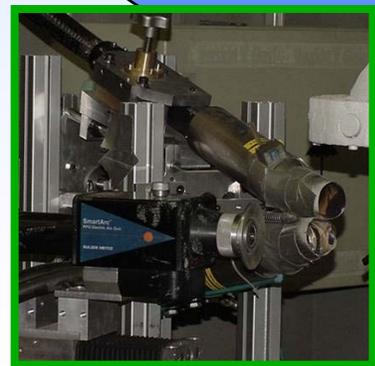
Diagnostic – Modélisation - Robotique



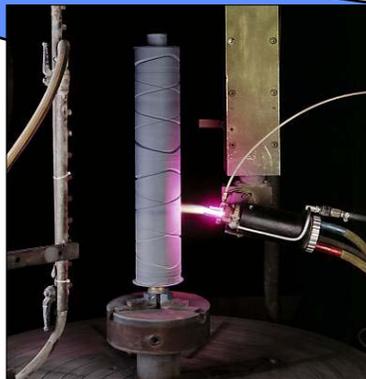
Elaboration des poudres



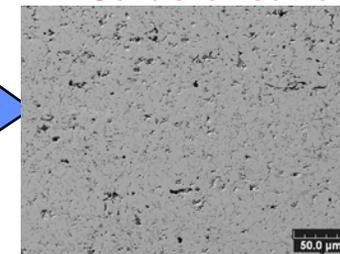
Procédés de projection



LERMPS



Caractérisation des dépôts



Principe des mesures

44

AAE – 17 mars 2010

