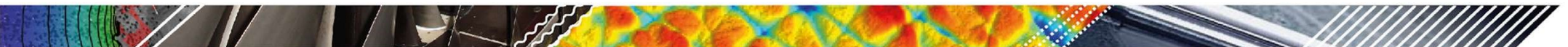




Effet du traitement par plasma inductif sur une poudre TA6V

Elodie CABROL (Centrale Lyon ENISE, LTDS)
Hocine SI-MOHAND (Centrale Lyon ENISE, LTDS)
Florent MISSEMER (Centrale Lyon ENISE, LTDS)
Agathe DEBORDE (IRT M2P)
Jérôme DELFOSSE (Safran)
Layla SASAKI (Aubert & Duval)



Fabrication additive à l'ENISE/LTDS

Traitement des poudres

- Sphéroïdisation par plasma inductif
- Tamisage
- Mélangeage

Procédés de fabrication additive

- Fusion laser sur lit de poudre (L-PBF)
- Dépôt de matière sous faisceau laser (L-DED)
- Projection dynamique à froid (cold spray)

Post-traitements

- Usinage
- Finition de surface
- Traitement thermique

Caractérisations

Caractérisations des poudres

- Densités
- Coulabilité
- Morphogranulométrie
- Microstructure

Caractérisations des procédés

- Analyse de faisceau laser
- Caméra infrarouge
- Caméra rapide

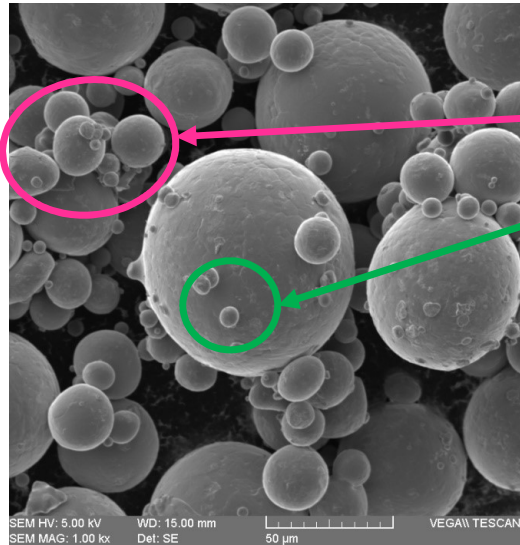
Caractérisations des pièces

- Topographie de surface
- Contraintes résiduelles
- Essais mécaniques
- Microstructure
- Densités

Contexte de l'étude

Contexte

- Poudre TA6V (45 - 105 μm) produite par atomisation au gaz (EIGA)
- Défauts de mise en couche dans le procédé EB-PBF

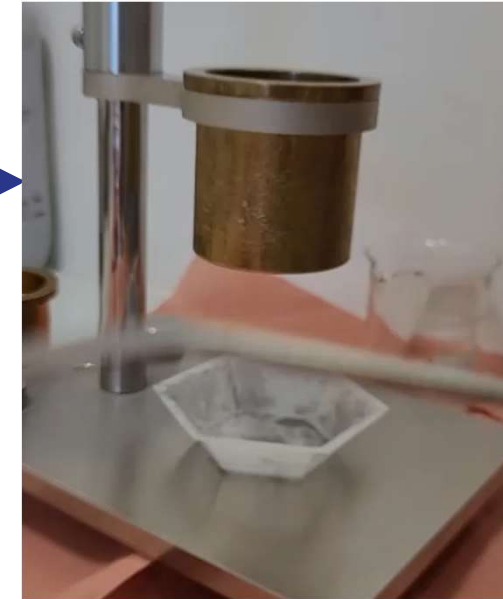


Poudre constituée de particules sphériques avec :

- agglomérats
- satellites

Poudre s'écoule mal

La présence de satellites et d'agglomérats peut générer un blocage mécanique qui réduit l'écoulement de la poudre.



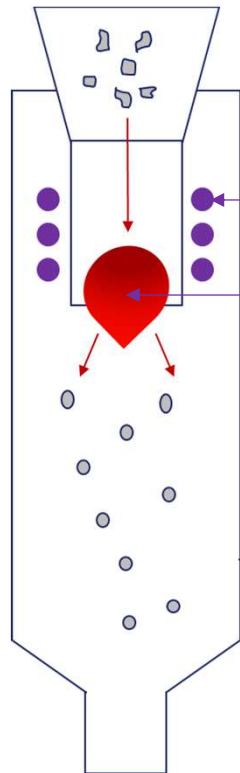
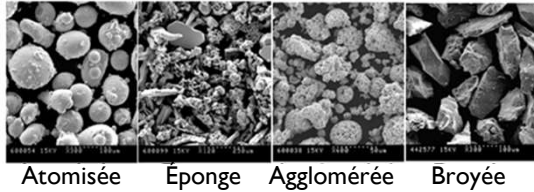
Objet de l'étude

- Impact de la présence de satellites/agglomérats sur la coulabilité de la poudre
- Effets du traitement plasma sur les propriétés physicochimiques de la poudre TA6V

DÉMARCHE EXPERIMENTALE

Plasma inductif : principe

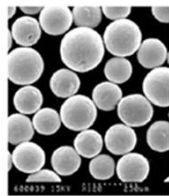
MATIÈRE PREMIÈRE
(5 – 200 µm)



Bobine
Plasma } **TORCHE**

Puissance	20 - 40 kW
Température	~ 11 000 K
Pression	Atmosphérique
Temps de résidence	10 à 500 ms

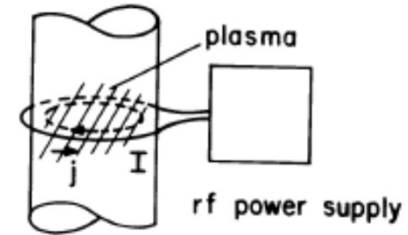
[Données TEKNA]



- Sphériques
- Denses

Génération du Plasma:

Le plasma est créé par un couplage inductif entre un gaz argon et un courant RF circulant dans une bobine.



Les particules de poudre traversent le plasma chaud et subissent trois effets principaux :

- Sphéroïdisation :

Le temps de chute dans le réacteur est suffisant pour donner une forme sphérique aux particules.

- Densification :

Fusion des particules.

- Purification :

Évaporation des impuretés de surface et utilisation d'une atmosphère réductrice avec de l'hydrogène.

Énergie élevée fournie par la particule

⇒ **Tendance à la formation de nanoparticules**

⇒ **Tendance à l'évaporation sélective**

Plasma inductif : paramètres



Bol d'alimentation

Torche plasma

Réacteur

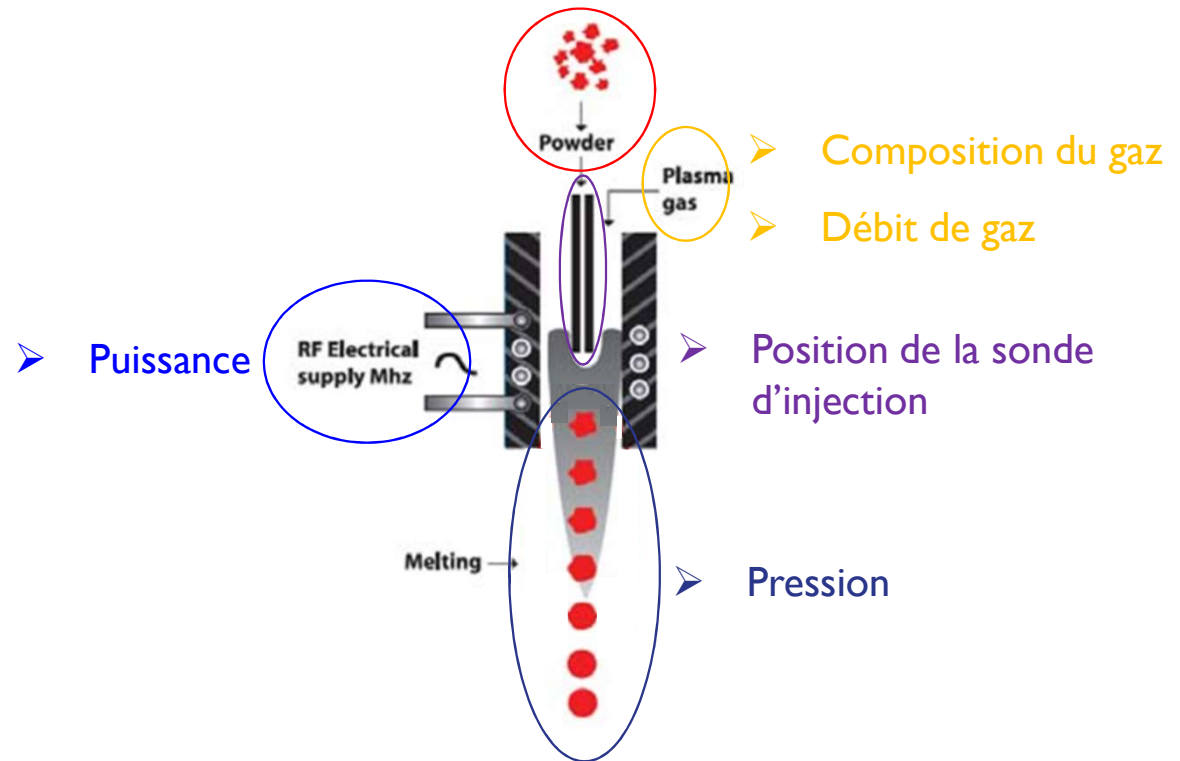
Bol de collecte

Boîte à gants

TEKNA

TekSphero 40

➤ Débit d'alimentation en poudre



➤ Puissance

➤ Composition du gaz

➤ Débit de gaz

➤ Position de la sonde d'injection

➤ Pression

Plasma inductif : paramètres utilisés

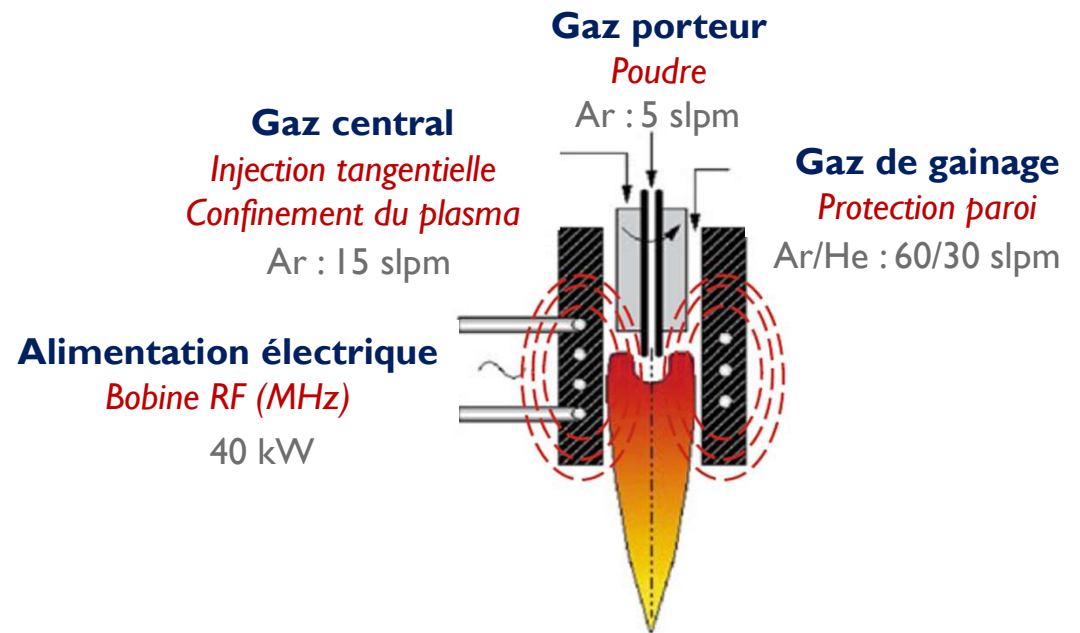
Paramètres FIXES

- Puissance : 40 kW
- Composition du gaz : 71 %Ar / 29 %He
- Pression du réacteur : 15 psi
- Position de la sonde d'injection : centre

Paramètre VARIABLE

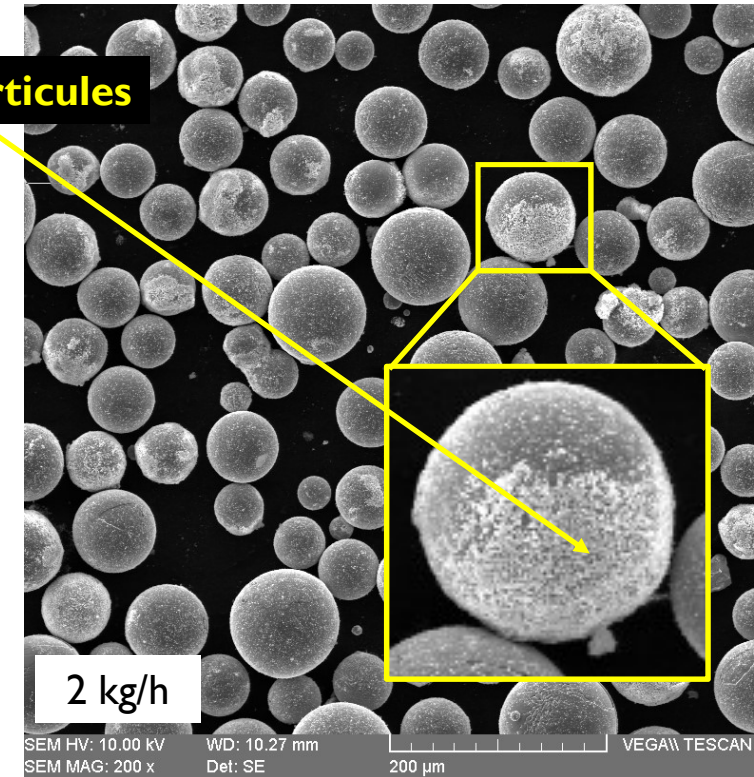
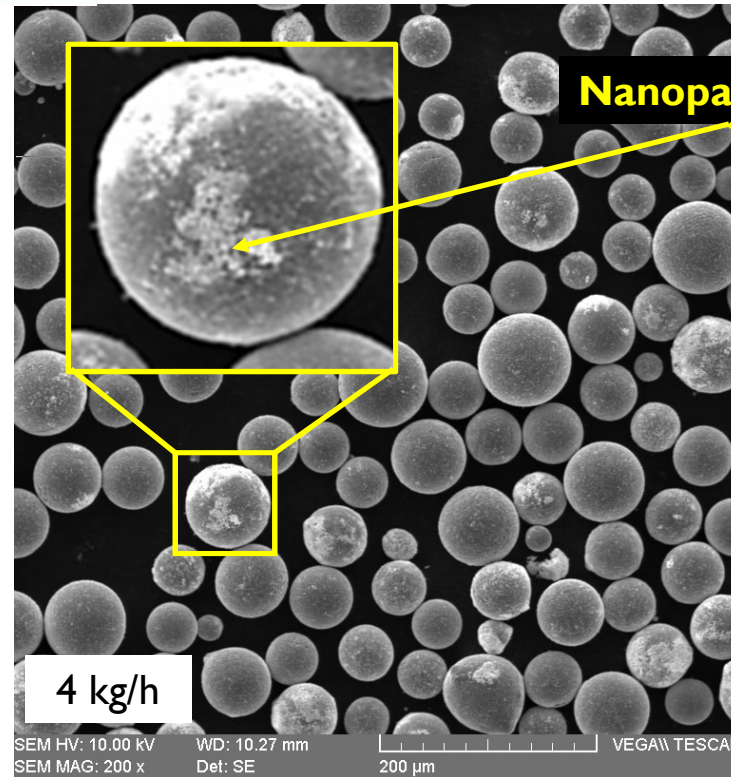
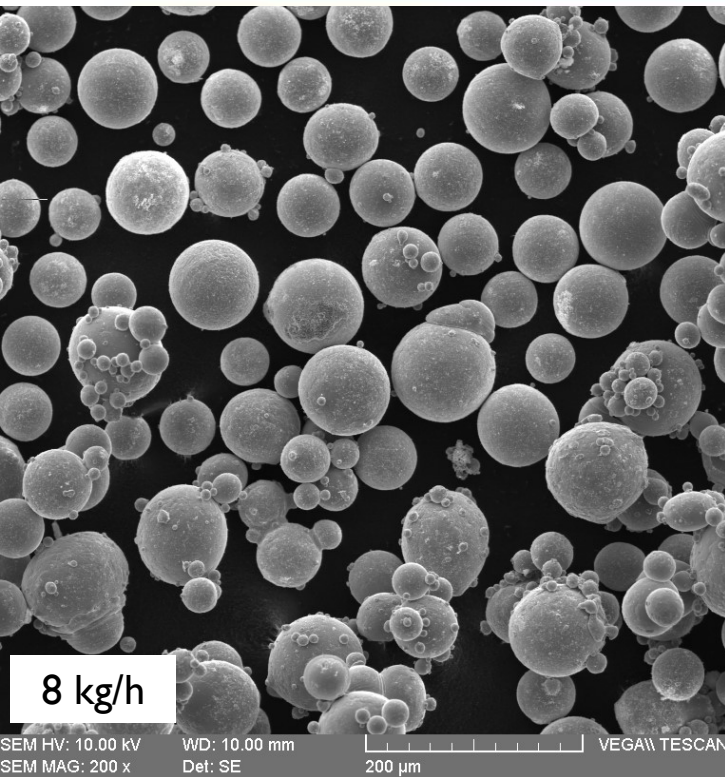
⇒ Débit d'alimentation en poudre :

- 8 kg/h
- 4 kg/h
- 2 kg/h



RÉSULTATS

Observations MEB – Après traitement plasma

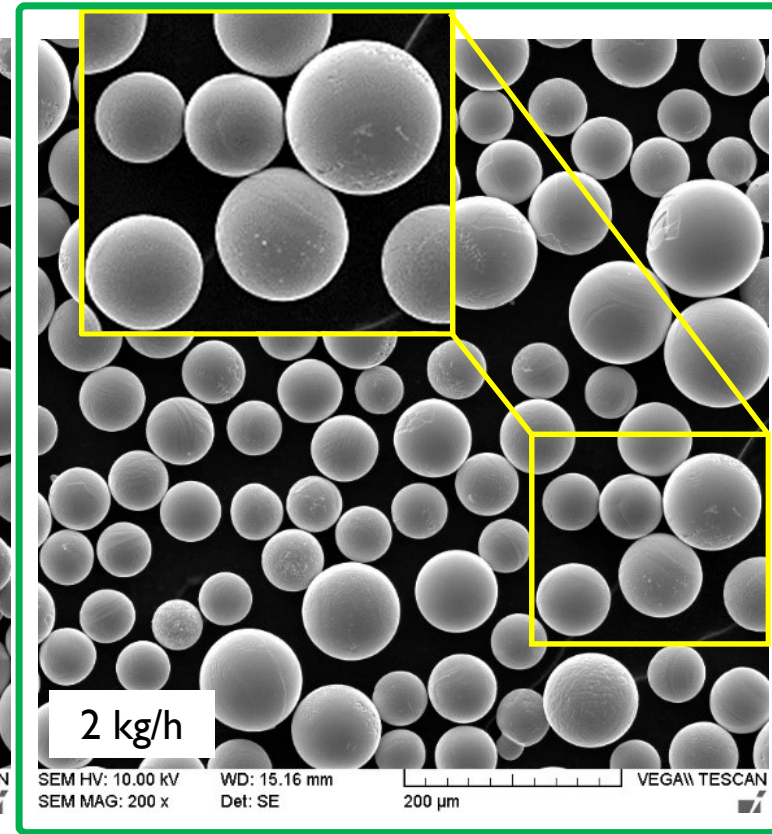
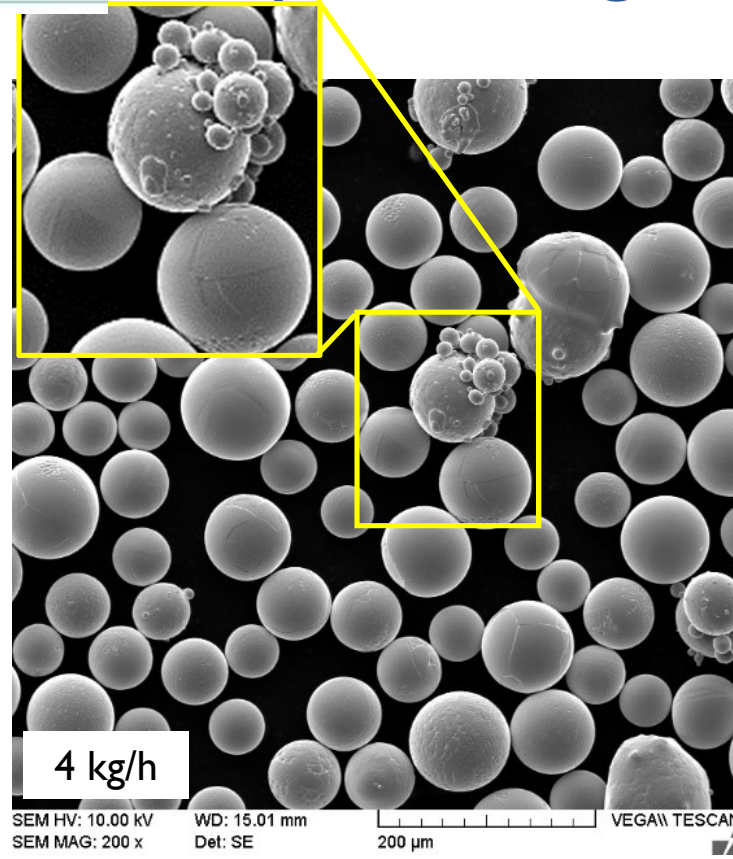
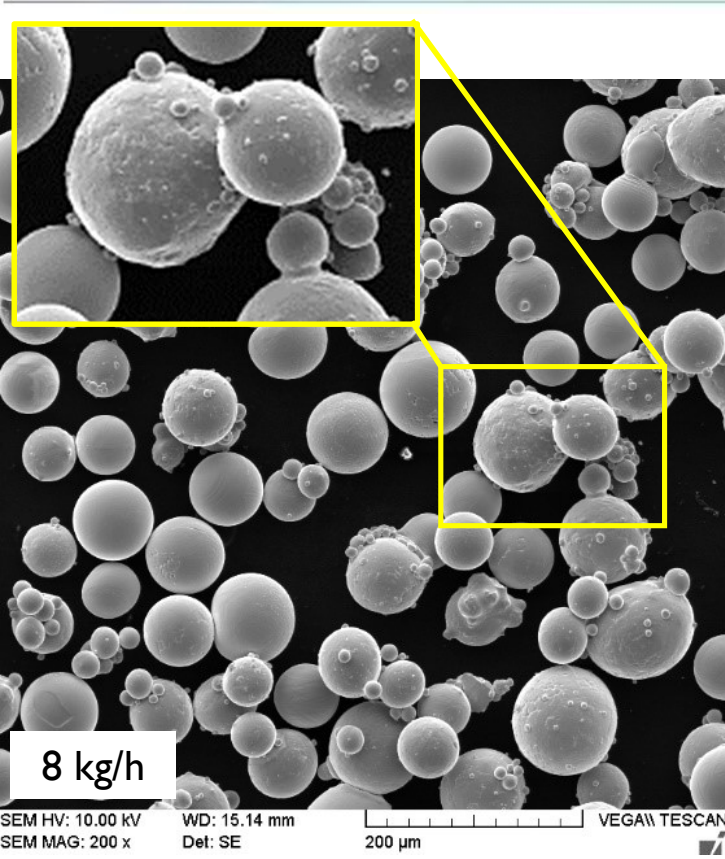


↘ Débit d'alimentation en poudre (càd ↗ énergie fournie par particule)

⇒ ↗ Sphéroidisation

⇒ ↗ Nanoparticules and pyrophoricité ⇒ lavage : passivation + élimination nanoparticules

Observations MEB – Après lavage

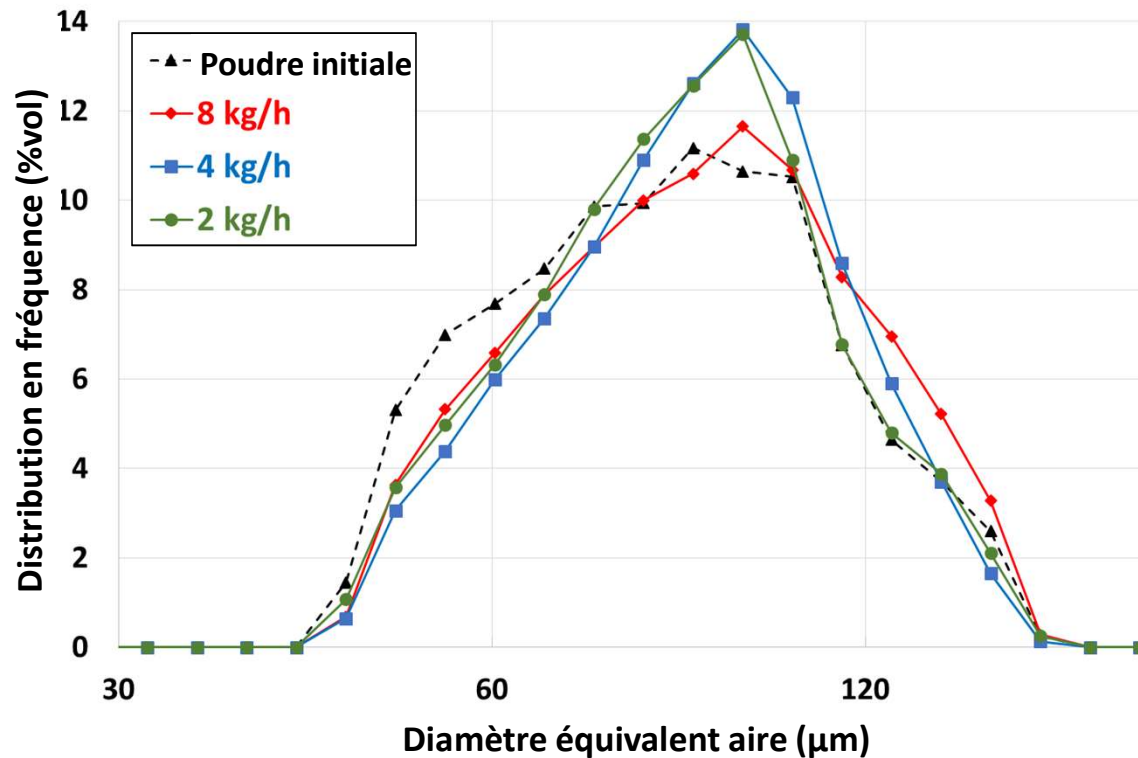


- ↘ Débit d'alimentation en poudre
- ⇒ ↘ Satellites et agglomérats
- ⇒ ↗ Particules sphériques

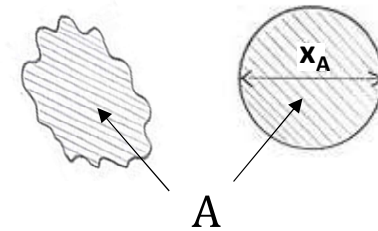
Résultats satisfaisants
pour un débit de 2 kg/h

Caractérisations granulométriques (TAILLE)

Analyse d'image en statique



$$\text{Diamètre équivalent aire} = x_A = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

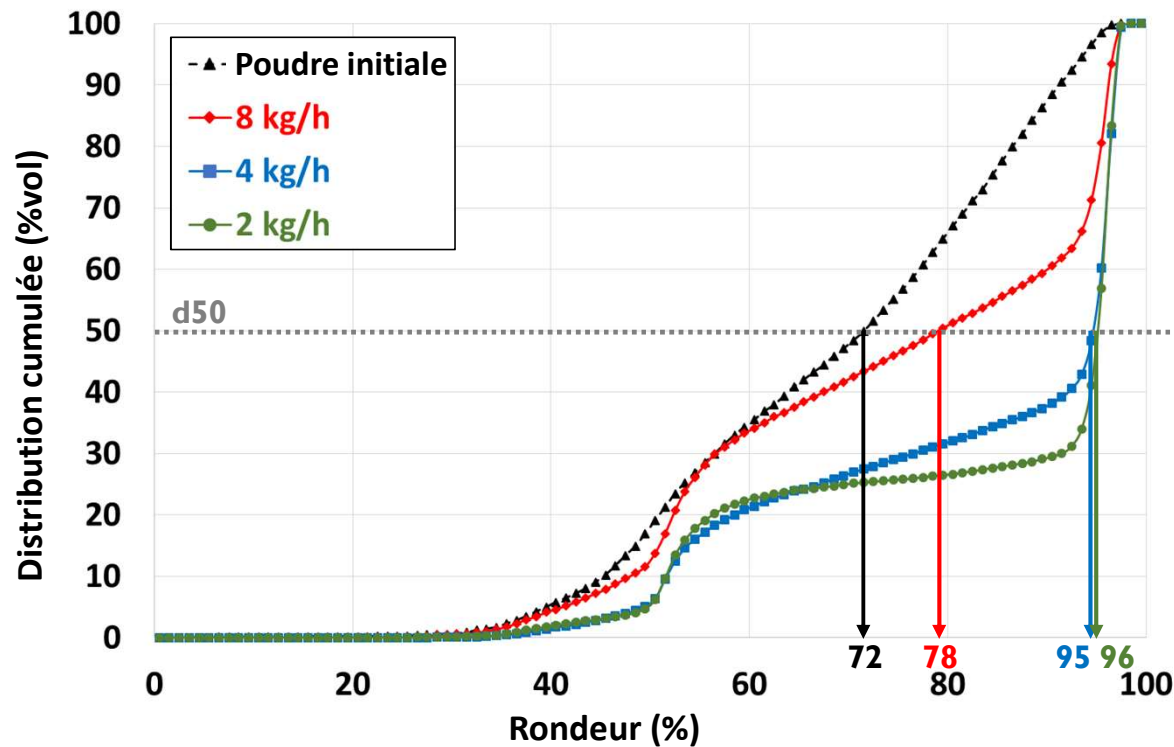


A : Aire de la projection de la particule

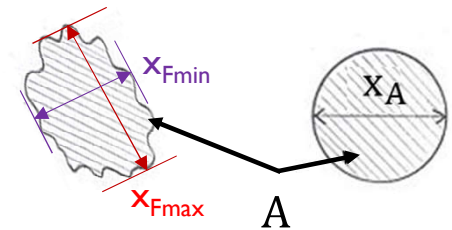
Pas d'effet significatif sur la taille des particules
(légère augmentation de la taille des particules après sphéroïdisation)

Caractérisations morphologiques (FORME)

Analyse d'image en statique



$$\text{Rondeur} = \frac{x_A^2}{x_{F\max}^2}$$

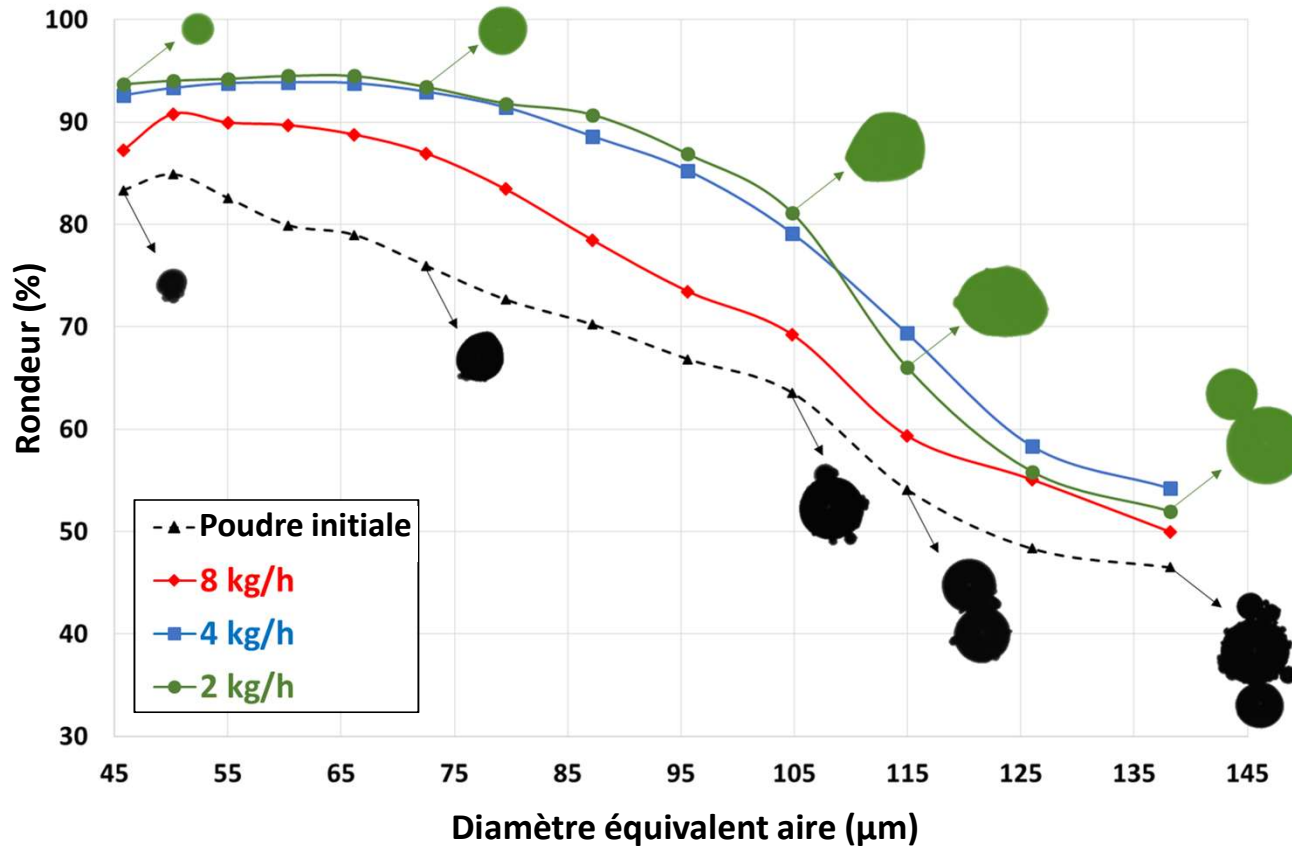


$x_{F\max}$: Distance maximale entre tangentes parallèles à l'aire projetée de la particule

↘ Débit d'alimentation en poudre
⇒ ↗ Rondeur

Caractérisations morphogranulométriques

Analyse d'image en statique



↗ diamètre des particules ⇒ ↘ Rondeur

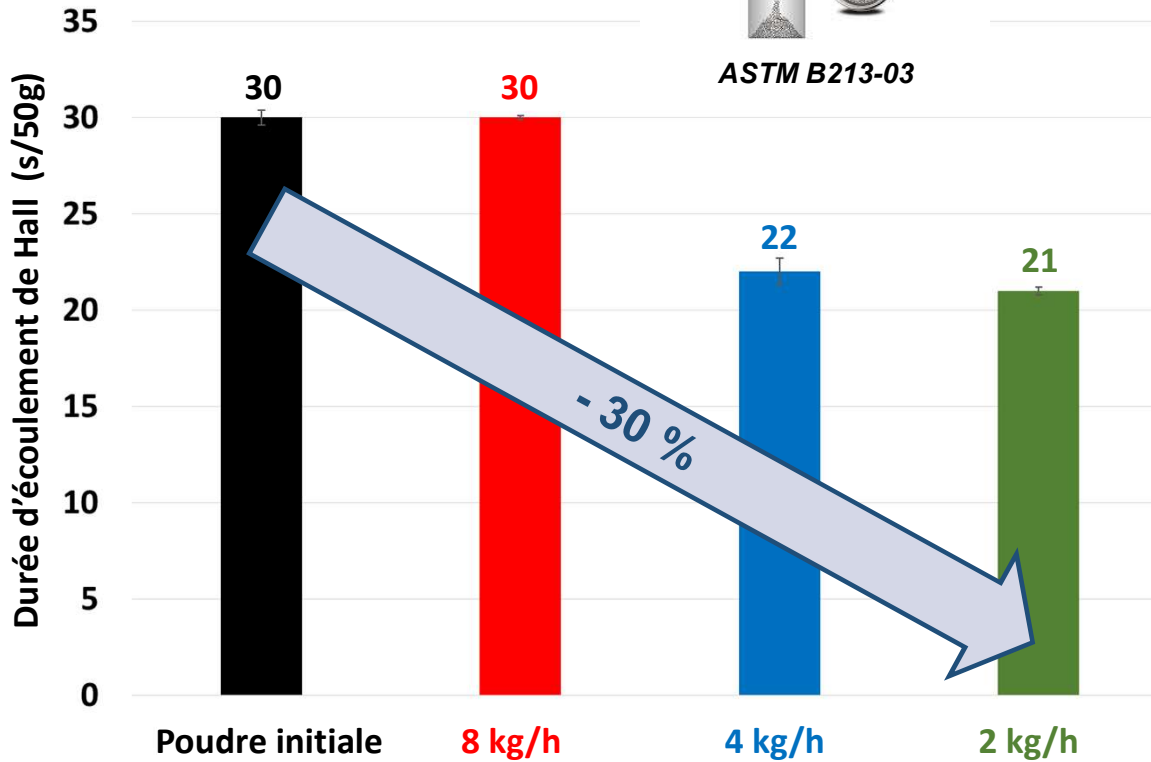
Pour une taille de particule donnée :
↘ Débit d'alimentation ⇒ ↗ Rondeur

Caractérisations de coulabilité

Méthode du cône de Hall

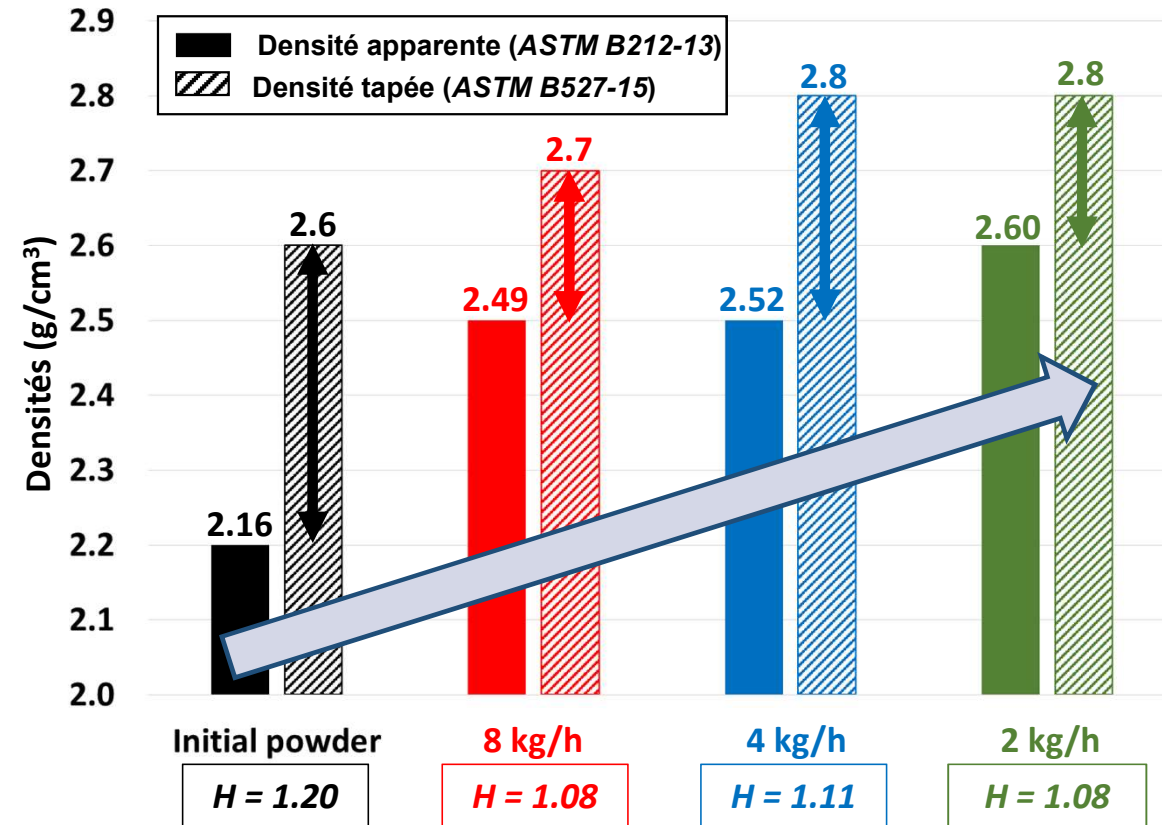


ASTM B213-03



↘ Débit alimentation poudre
⇒ ↗ Coulabilité

Caractérisations de densités



L'indice de Hausner (H)

Grandeur qui caractérise l'aptitude à l'écoulement d'une poudre :

$$H = \frac{\rho_{\text{tapée}}}{\rho_{\text{apparente}}}$$

Flow Character	Hausner Ratio
Excellent/very free flow	1.00-1.11
Good/free flow	1.12-1.18
Fair	1.19-1.25
Passable	1.26-1.34
Poor/cohesive	1.35-1.45
Very Poor/very cohesive	1.46-1.59
Very, very poor/ approx. non-flow	>1.60

↘ Débit alimentation poudre

⇒ ↗ Densité apparente

⇒ ↗ Densité tapée

Analyses de composition chimique

Element	Microanalyses EDS			Analyses de gaz		
	Ti	Al	V	O	N	H
Spécification TA6V	Bal.	5.5 – 6.75 %m	3.5 – 4.5 %m	≤ 2000 ppm	≤ 500 ppm	≤ 150 ppm
Poudre initiale	Bal.	5.7 ± 0.1 %m	3.5 ± 0.3 %m	1179 ± 3 ppm	26 ± 12 ppm	< 10 ppm
Poudre traitée à 2 kg/h	Bal.	5.5 ± 0.2 %m	3.8 ± 0.5 %m	1290 ± 38 ppm	47 ± 1 ppm	< 10 ppm

Évaporation sélective

Élement	T _{Fusion} (°C)	T _{ébullition} (°C)
Ti	1668	3287
Al	660	2519
V	1910	3407

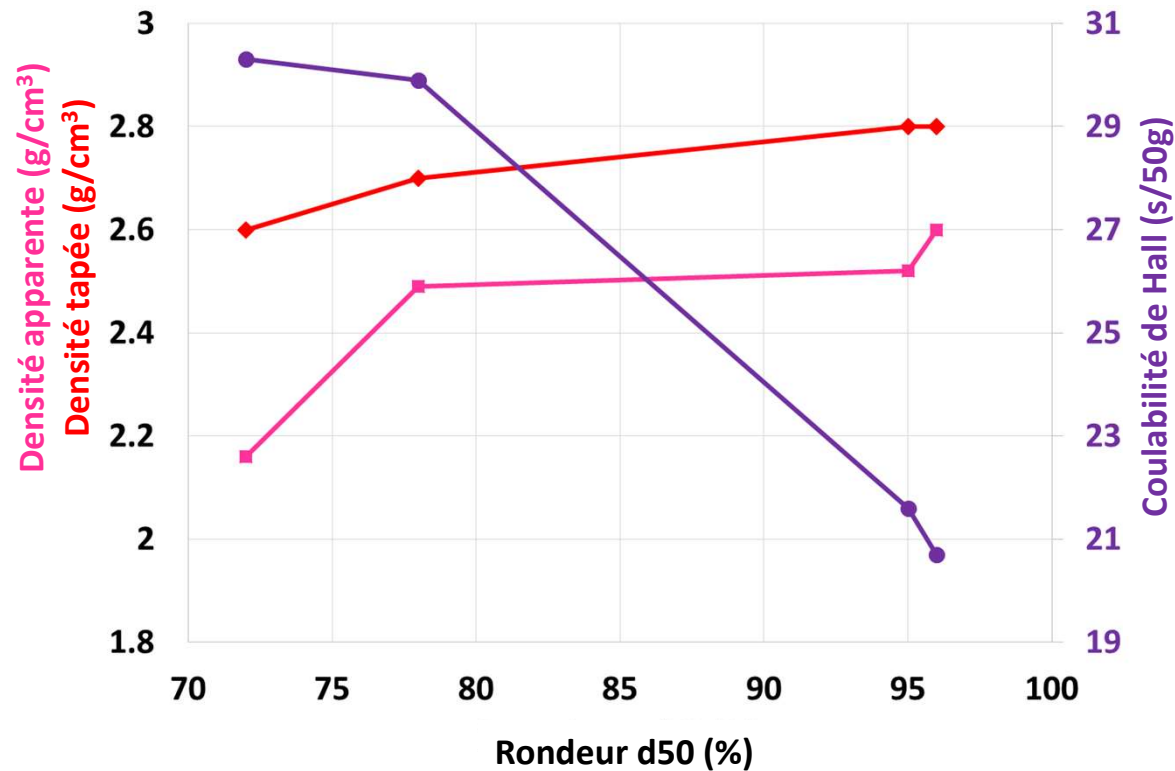
→ Le + volatile
→ Non affecté

Le traitement de plasma thermique ne dénature pas le TA6V

CONCLUSIONS

Conclusions

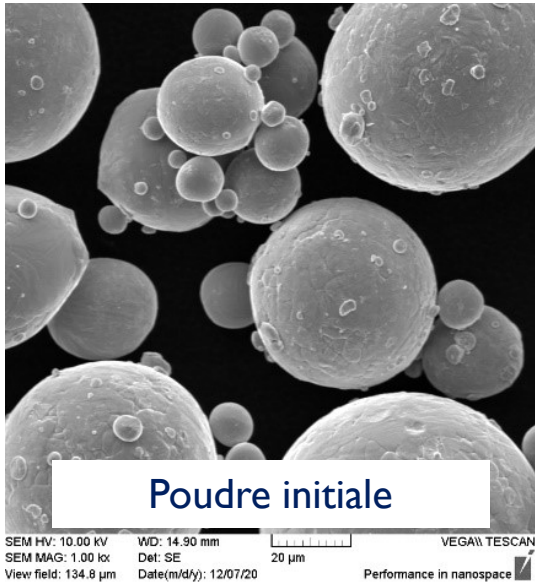
Influence de la morphologie des particules sur la coulabilité et les densités de la poudre



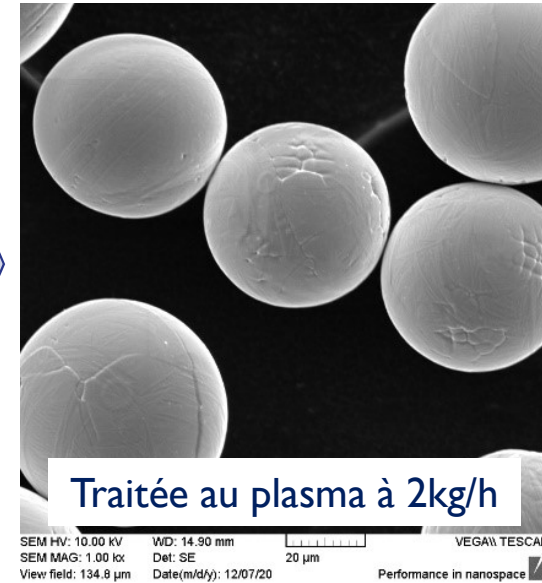
↗ **Rondeur des particules de la poudre**

- ⇒ ↗ **Coulabilité (+ 30 %)**
- ⇒ ↗ **Densité apparente (+ 20 %)**
- ⇒ ↗ **Densité tapée (+ 8 %)**

Conclusions



Élimination des satellites et agglomerats
par traitement plasma thermique



Traitement plasma thermique d'une poudre TA6V 45 – 105 µm

→ amélioration de :

- **Rondeur** des particules (élimination des satellites et agglomérats)
- **Coulabilité** de la poudre
- **Densités apparente** and **tapée** de la poudre

→ pas de modification significative de la composition chimique

Merci pour votre attention

Elodie CABROL
Centrale Lyon ENISE, LTDS,
elodie.cabrol@enise.fr



CENTRALE LYON
ENISE



SAFRAN



IRTM2P

Institut de Recherche
Technologique
Matériaux Métallurgie
et Procédés

AUBERT & DUVAL

