

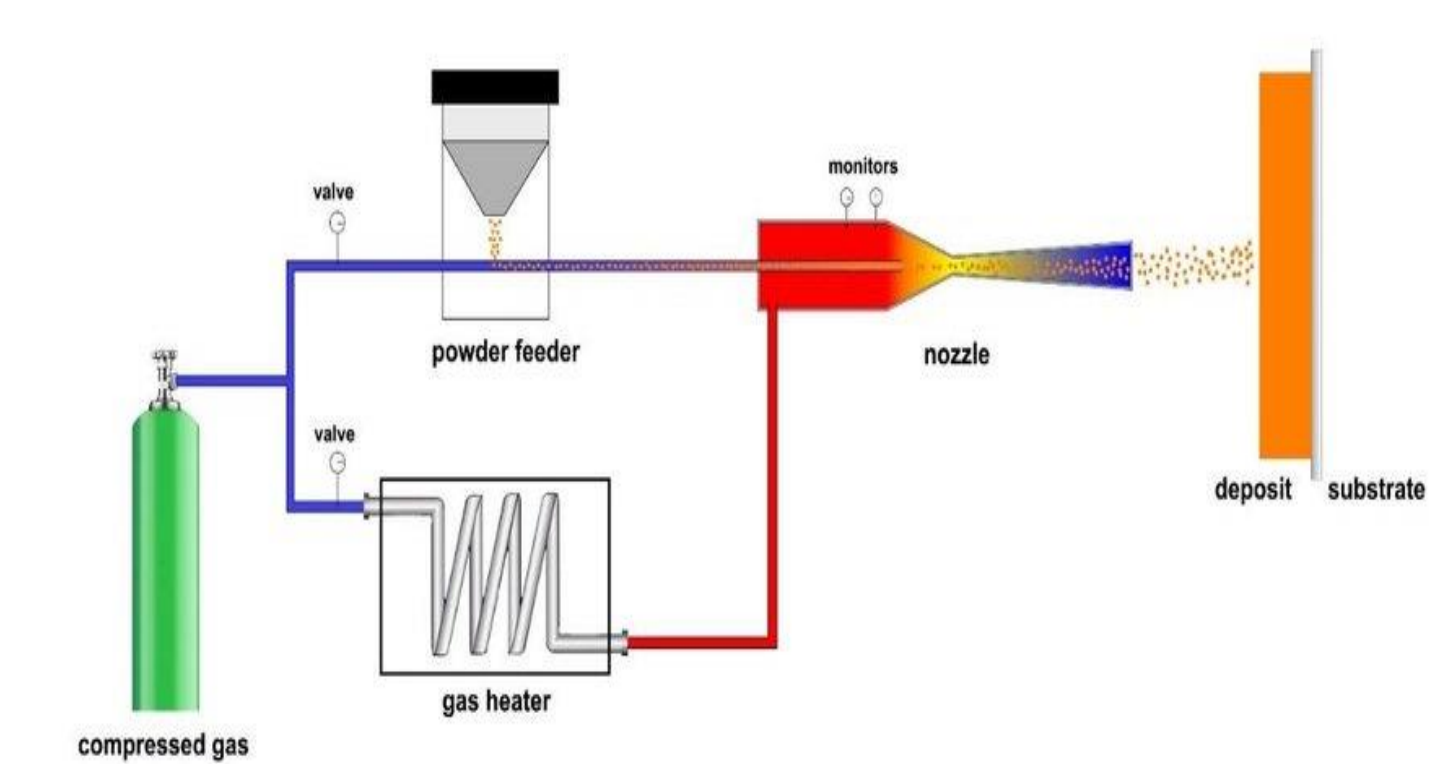
## Mise au point de poudres céramiques adaptées au cold spray

Dylan Chatelain<sup>1</sup>, Alain Denoirjean<sup>1</sup>, Vincent Guipont<sup>2</sup>, Alberto Ion<sup>1</sup>, Fabrice Rossignol<sup>1</sup>, Nicolas Tessier-Doyen<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Univ. Limoges, CNRS, IRCER, UMR 7315, 87068 Limoges, France

<sup>2</sup>Centre des Matériaux, MINES ParisTech, UMR CNRS 7633, Evry, 91000, France

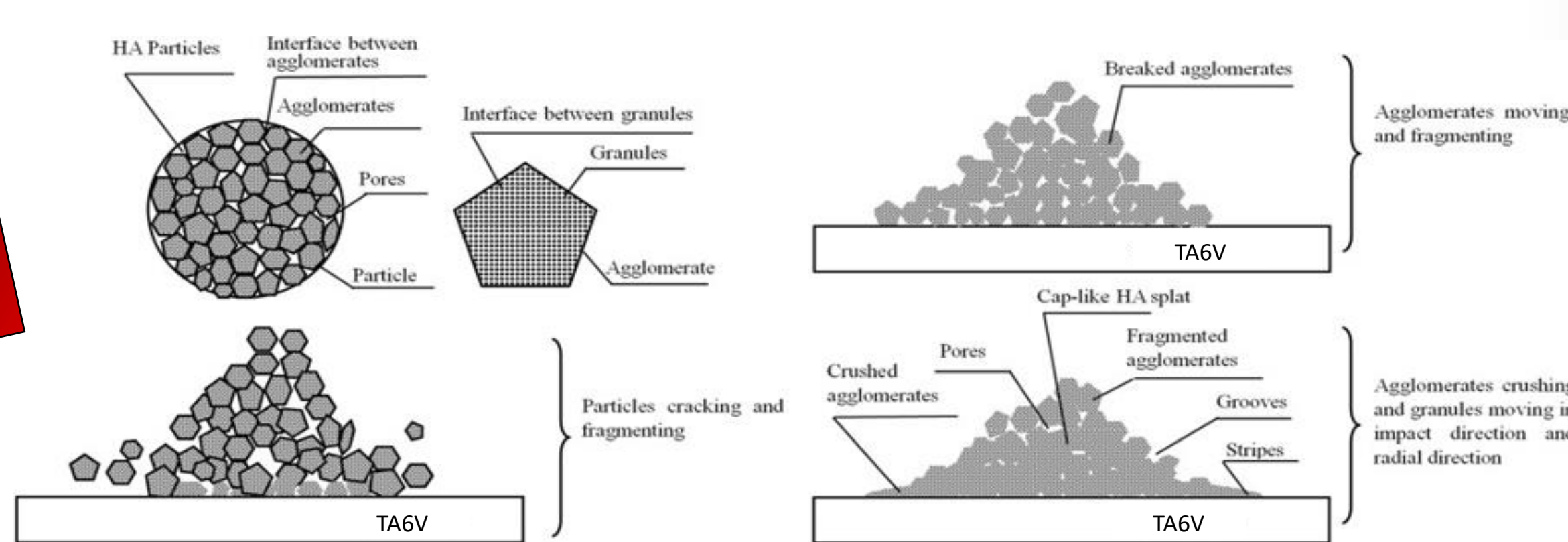
dylan.chatelain@unilim.fr



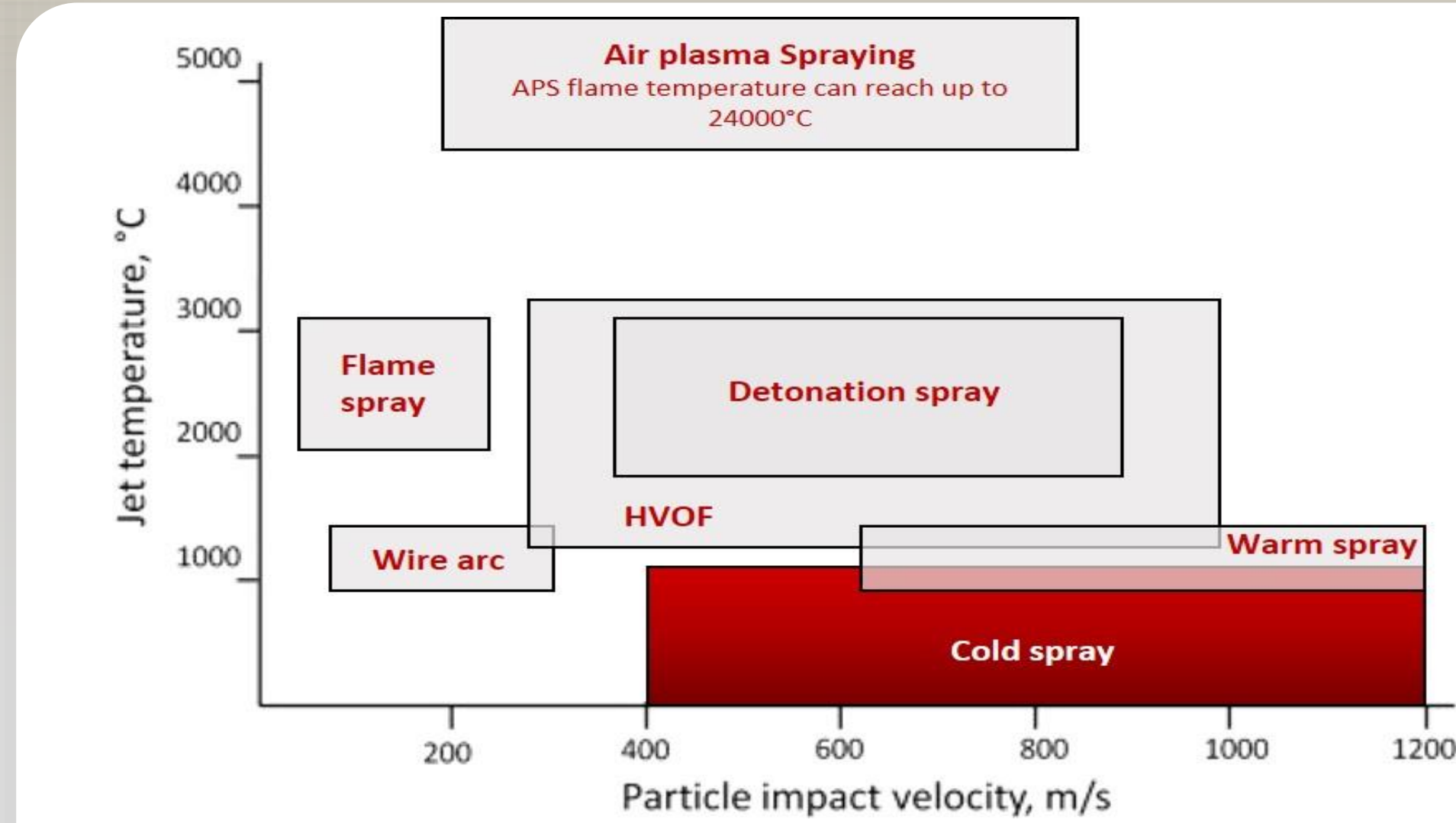
Flux de particules accéléré par un gaz sous pression à travers un convergent-divergent afin d'atteindre une vitesse supersonique.

YIN SHUO & ALL, « Cold spray additive manufacturing and repair: Fundamentals and applications », *Additive Manufacturing*, 1 avril 2018, vol. 21  
CHEN QING-YU & ALL, « Morphological, structural and mechanical characterization of cold sprayed hydroxyapatite coating », *Surface and Coatings Technology*, 15 janvier 2019, vol. 357, p. 910-923.

### Contexte

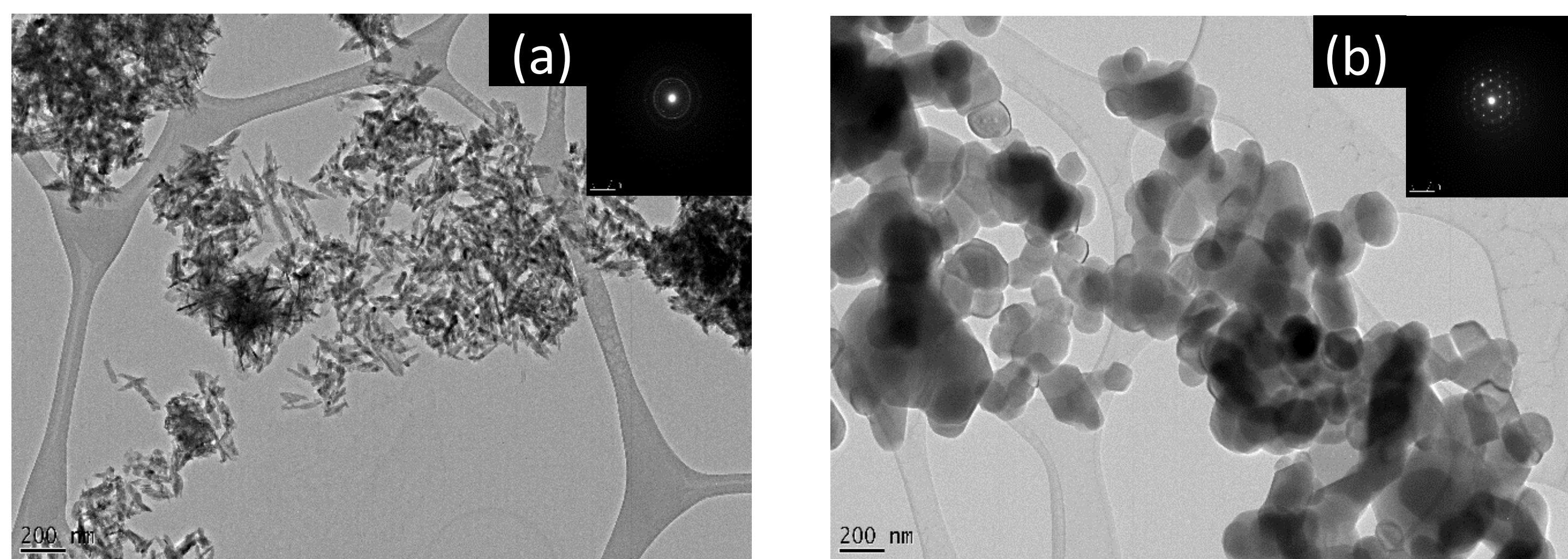


Poudre constamment à l'état solide, et adhésion assurée par la force d'impact, associée à des mécanismes de déformation plastique et de fragmentation.

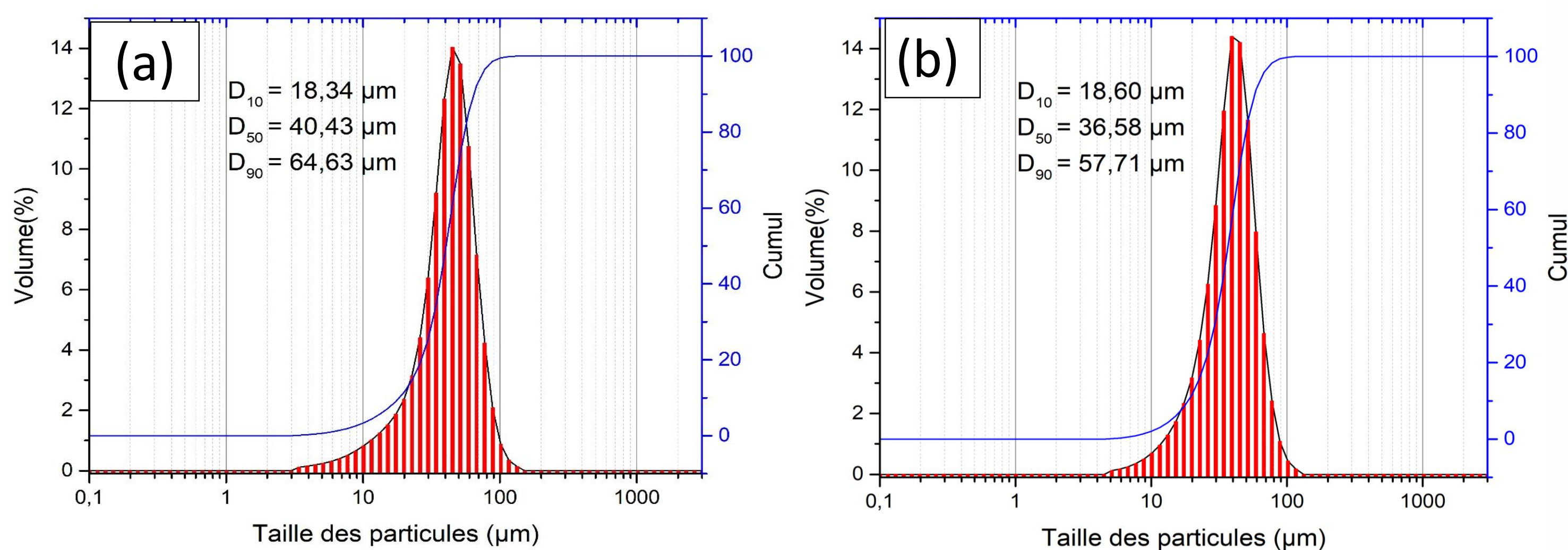


Domaines de température du cold spray et des autres techniques de projection très différents → CS produit des dépôts avec des propriétés non conventionnelles (peu oxydés et denses par exemple).

### Etude des poudres avant projection



Les particules sans traitement thermique (a) sont aciculaires tandis que celles qui ont été calcinées (b) ont une forme plutôt sphérique. Cette morphologie à l'échelle nanométrique aura son importance lors de l'impact de la poudre sur le substrat.



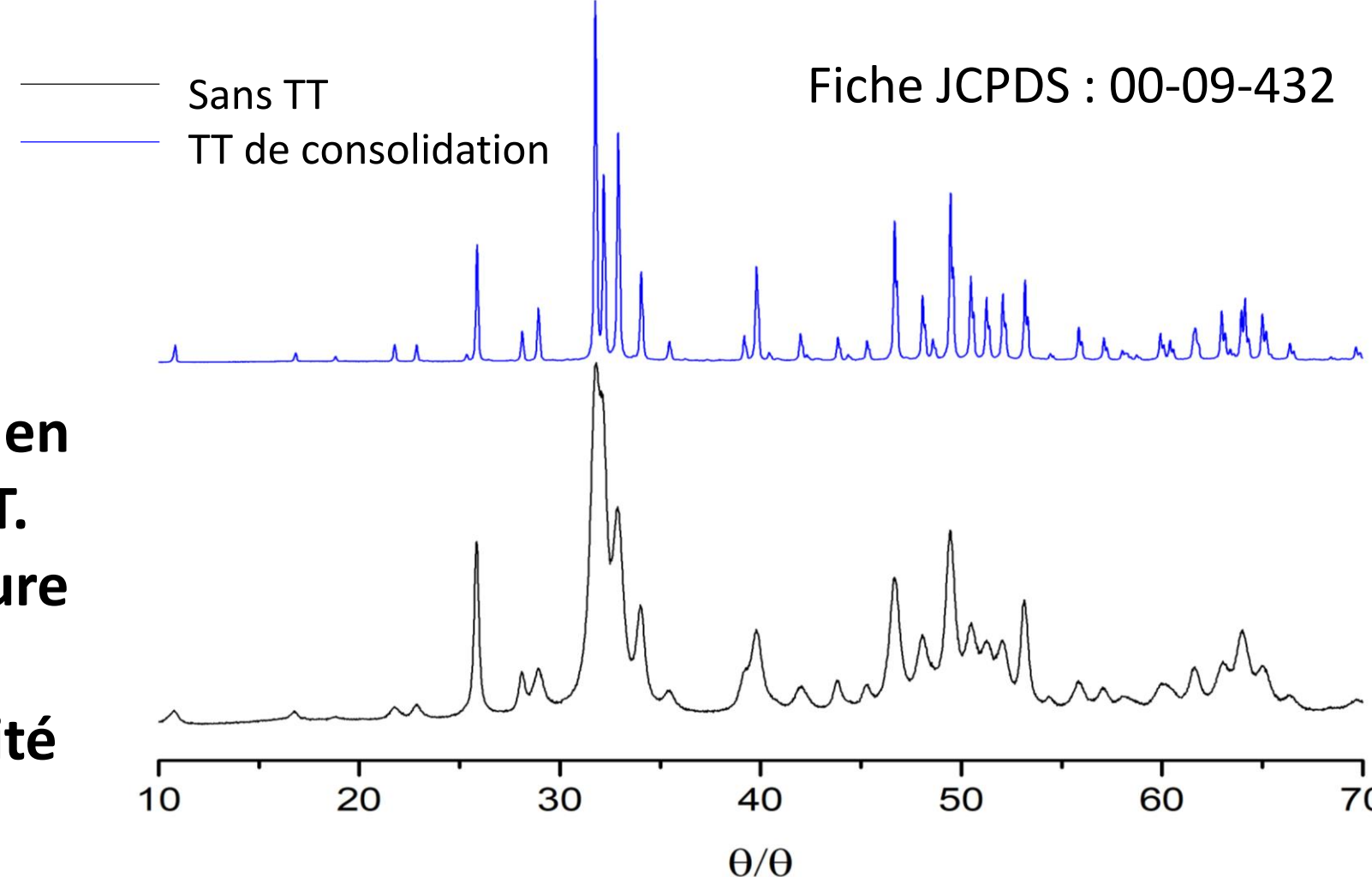
Répartition granulométrique similaire sans ou avec traitement thermique → paramètre qui n'aura pas d'influence sur les revêtements réalisés.

#### Surface spécifique ( $\text{m}^2/\text{g}$ )

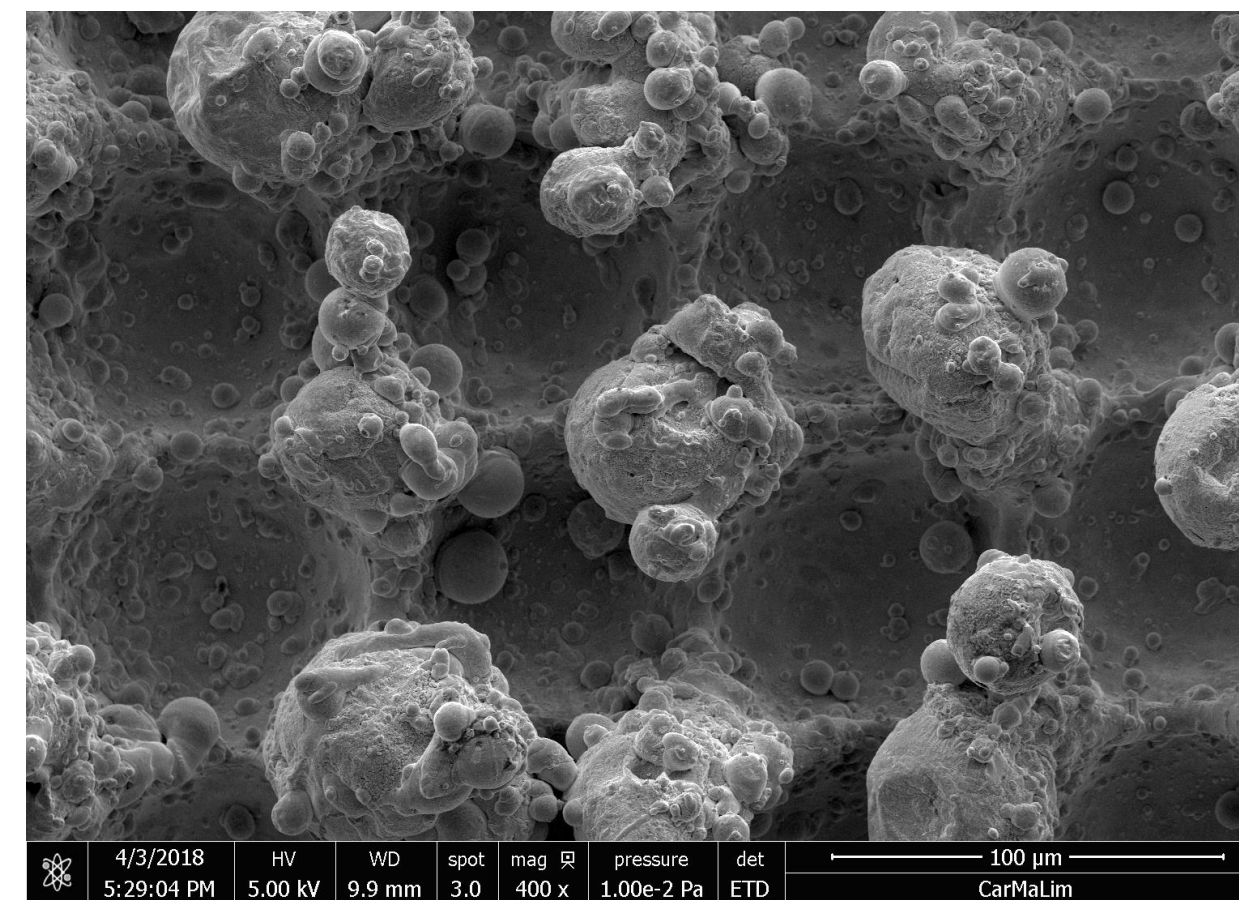
Sans TT	Avec TT
85,11	5,56

Résultats de mesure de surface spécifique en accord avec les images obtenues par MET. Poudre calcinée a une cristallinité supérieure à celle non traitée.

→ Compromis à trouver entre la cristallinité et la forme des nanoparticules.



### Préparation des substrats

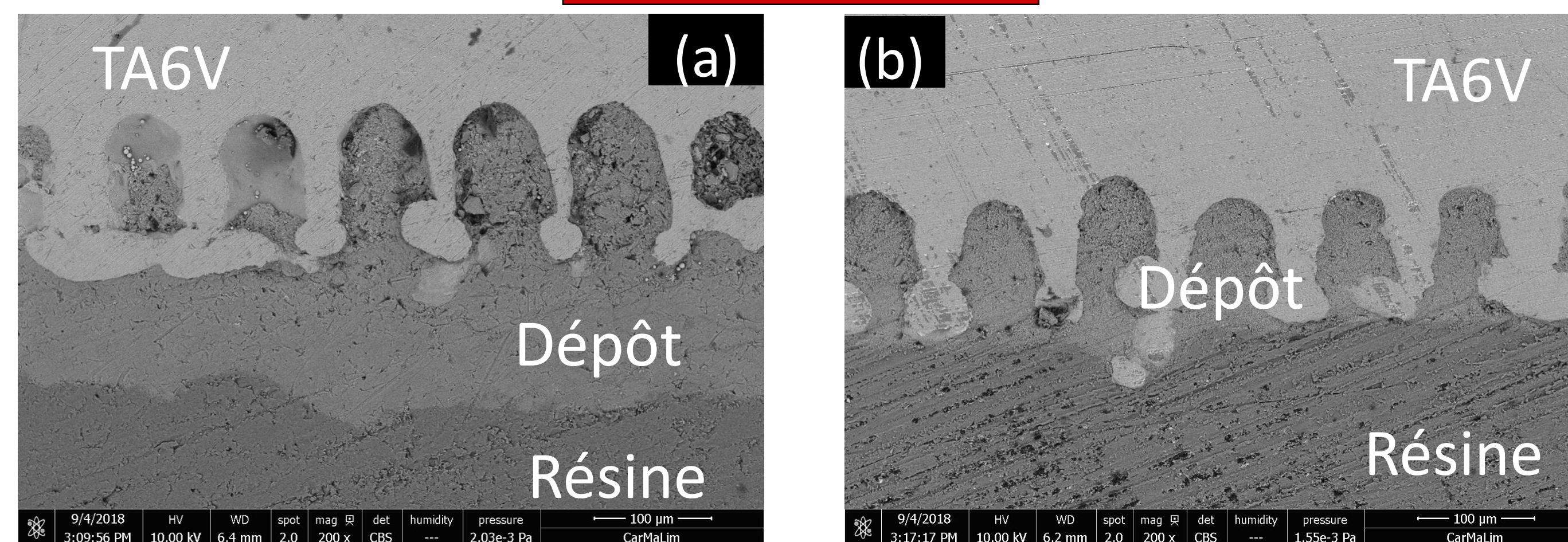


Substrats en TA6V, texturés par laser selon les paramètres suivants → rugosité plus fine et régulière que par sablage → adhérence facilitée.

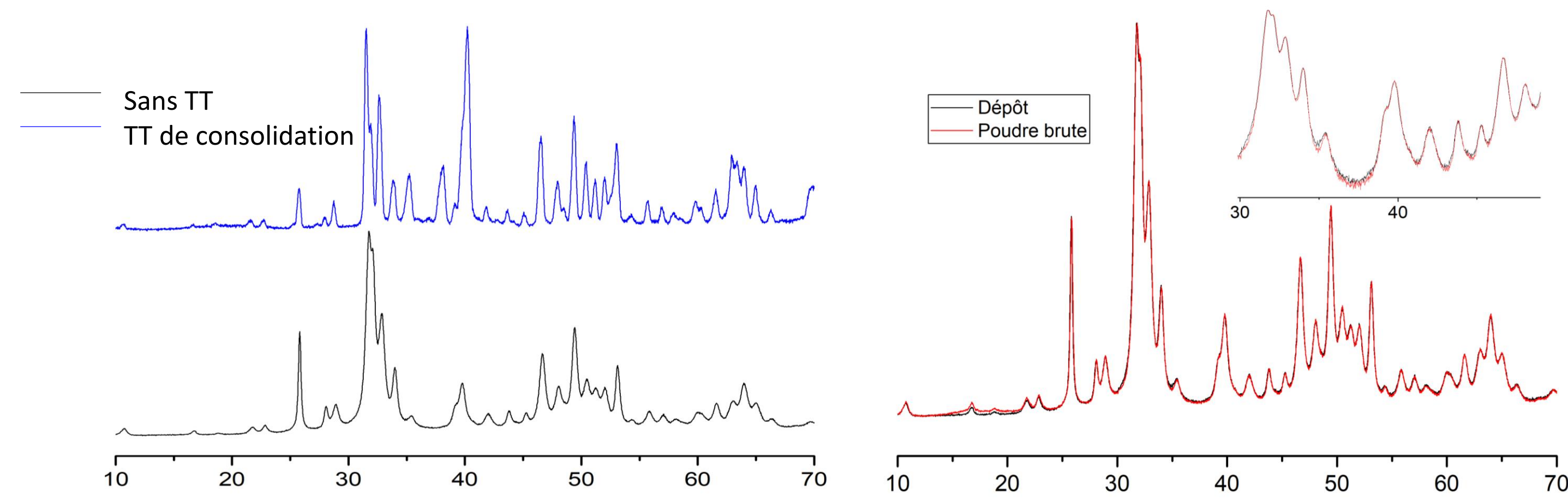
#### Paramètres de la texturation laser (Nd:YAG)

Longueur d'onde	1.06 $\mu\text{m}$
Durée d'une pulsation	100 ns
Puissance	20 W
Fréquence	20 kHz

### Dépôts obtenus



Avec la poudre sans TT (a), dépôt d'une centaine de microns alors que pour celle avec calcination, seuls les creux de texturation sont remplis → avec TT, nanoparticules davantage liées, et fragmentation plus délicate lors de l'impact → dépôt non continu

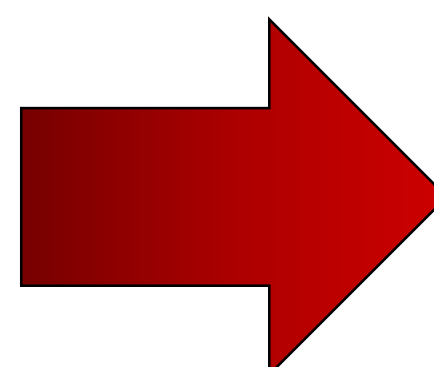


Avec TT, dépôt non continu ; sur le diagramme correspondant, certains pics correspondent au Ti du substrat

Pour le dépôt avec la poudre sans TT, diagramme de diffraction superposable à celui de la poudre brute → Conservation des propriétés de la poudre, pas de contraintes résiduelles, ...

### Conclusion et Perspectives

- Deux poudres d'HAp très différentes, en terme de morphologie et de cristallinité projetées par cold spray
- Selon DRX, poudre de départ et dépôts de même nature → microstructure et phases initiales conservées avec le cold spray
- La géométrie et la densité des nanoparticules est un paramètre clé pour obtenir un dépôt épais et continu



- Expériences complémentaires sur ces poudres, et poudre supplémentaire avec traitement thermique intermédiaire
- Tests de vitesse et étude de splats pour mieux comprendre les phénomènes mis en jeu lors de l'impact
- Substrat revêtu d'une sous couche de titane (moins dur) pour faciliter l'adhésion
- Trouver un compromis entre l'obtention d'un dépôt épais et continu et la cristallinité