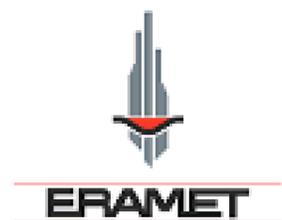
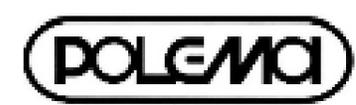


SAMATAN
LE 18 OCTOBRE 2018



LES POUDRES METALLIQUES EN FABRICATION ADDITIVE

QUELQUES FABRICANTS ET FOURNISSEURS DE POUDRES METALLIQUES



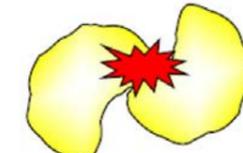
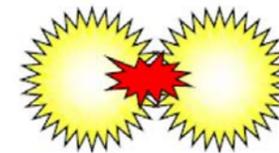
Laboratoires et centre de recherche français





CARACTERISTIQUES DE LA POUDRE IDEALE POUR LA FABRICATION ADDITIVE

- **Taille adaptée au process**
 - LBM : 10 - 53 μ m
 - LMD et EBM : 45 - 106 μ m
- **Microstructure homogène et spécifique à l'utilisation**
- **Bonne composition chimique**
- **Bonne densification (pas de porosités internes)**
- **Morphologie**
 - Hautement sphérique
 - Surface la plus lisse possible
- **Haute pureté (contamination due au process réduite)**
- **Bonnes propriétés physiques et rhéologiques d'un ensemble de grains**
 - Fluidité, coulabilité
 - Critère de densités et compactage
 - Autres propriétés (optiques, thermiques, hygroscopicité,...)

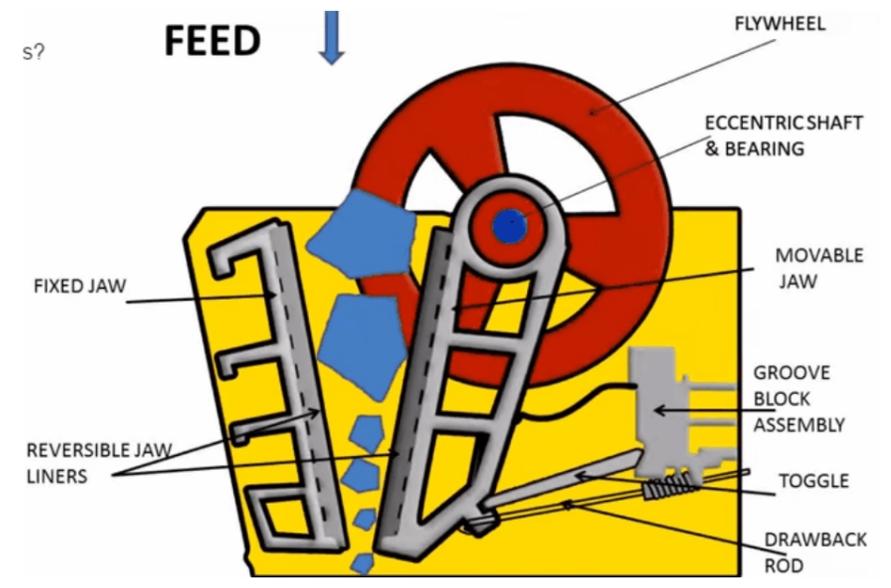


PROCEDES D'ELABORATION DES POUDRES

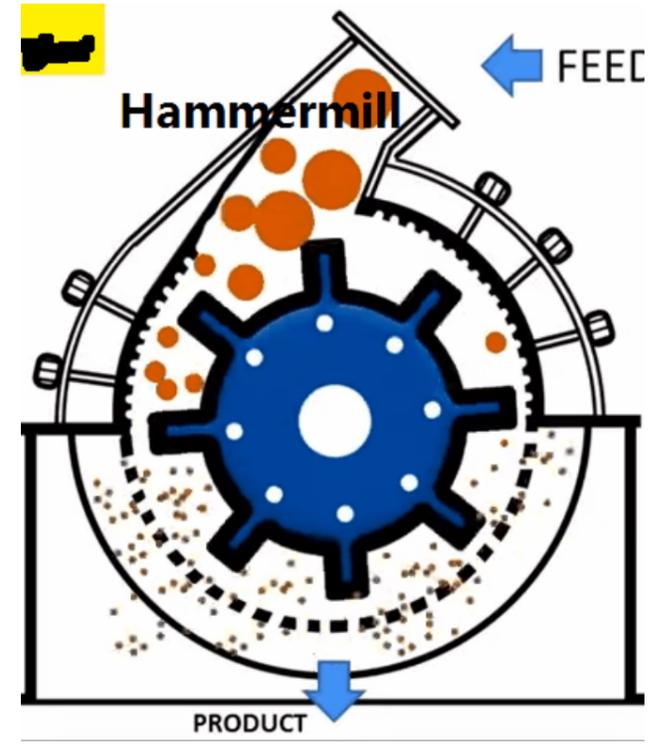
- **Les procédés mécaniques**
 - Broyage, concassage (broyeurs à mâchoires, à marteaux, à billes)
 - Attrition
- **Les procédés mécano-physiques**
 - Toutes les formes d'atomisations
- **Les procédés chimiques**
 - Réduction des composés métalliques par un autre élément
- **Les procédés physico-chimiques**
 - Electrochimie
 - Electrolyse de fusion

LES PROCÉDES MECANIQUES (1) : BROYAGE ET CONCASSAGE

● **Broyeur à mâchoires**

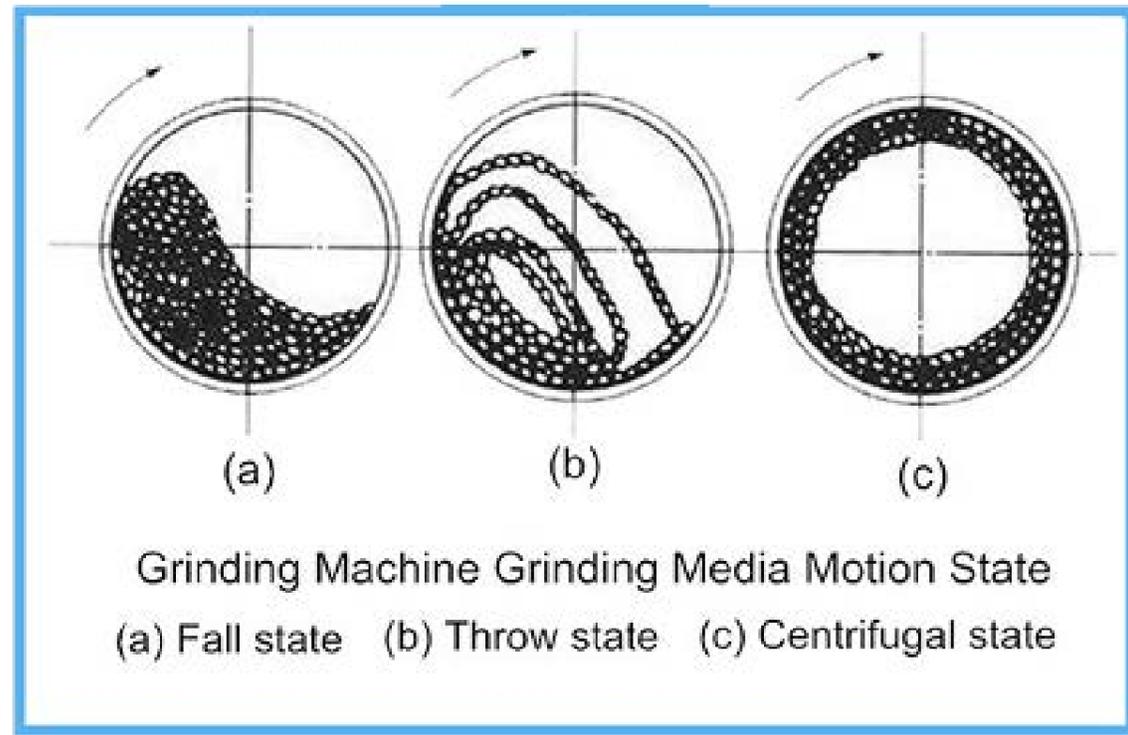
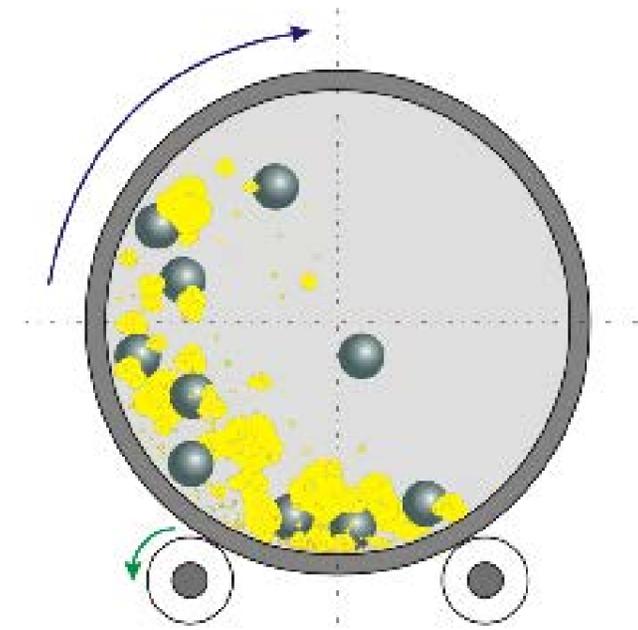
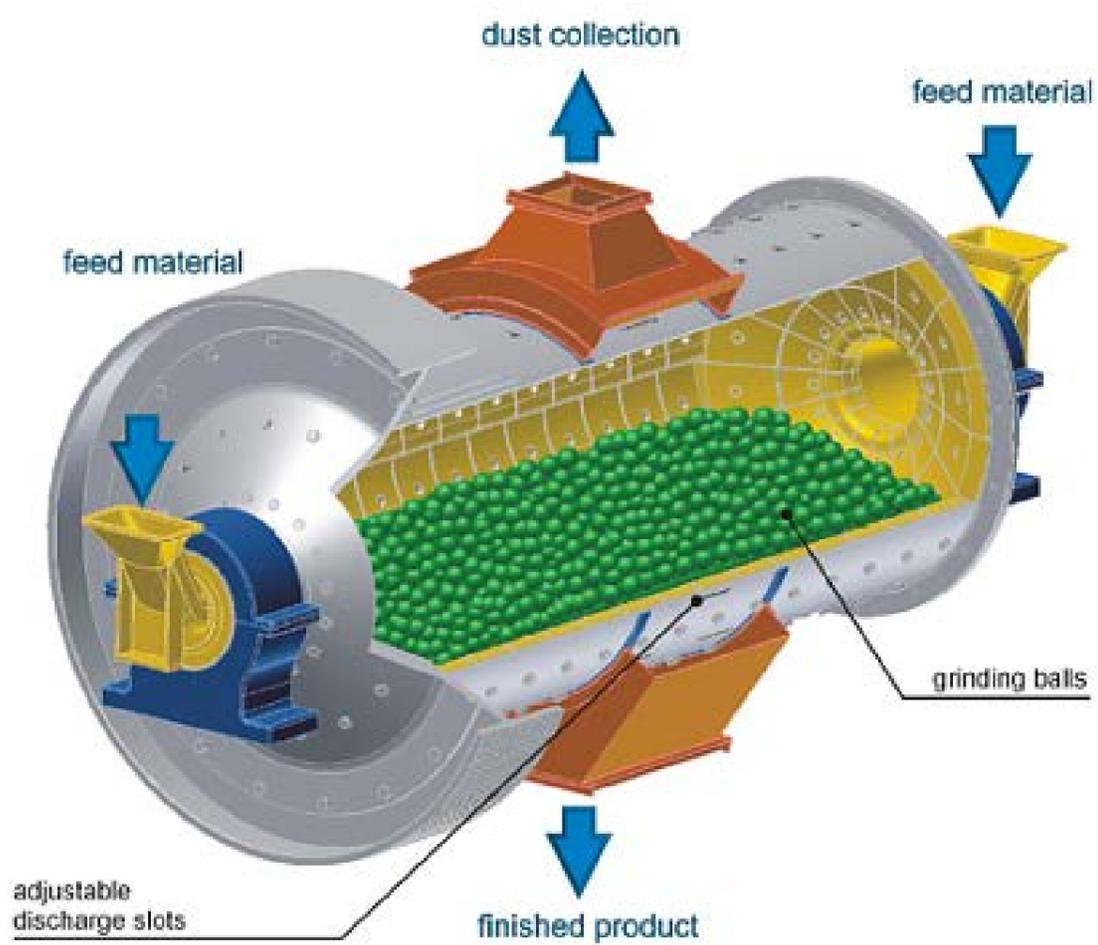


● **Broyeur à marteaux**



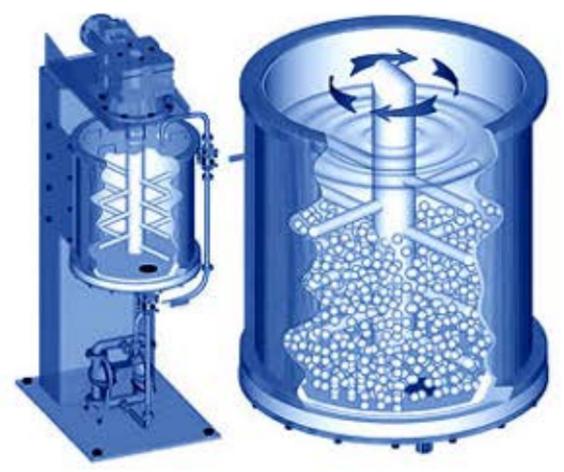
LES PROCEDES MECANQUES (2) : BROYAGE ET CONCASSAGE

● Broyeur à billes



LES PROCÉDES MECANIQUES (3) : BROYAGE ET CONCASSAGE

● Attriteur



LES PROCÉDES MECANIQUE (4) : BROYAGE ET CONCASSAGE

● Broyeurs de laboratoire



Broyeur planétaire PM 100 de Retsch



Broyeur cryogénique CryoMill de Retsch

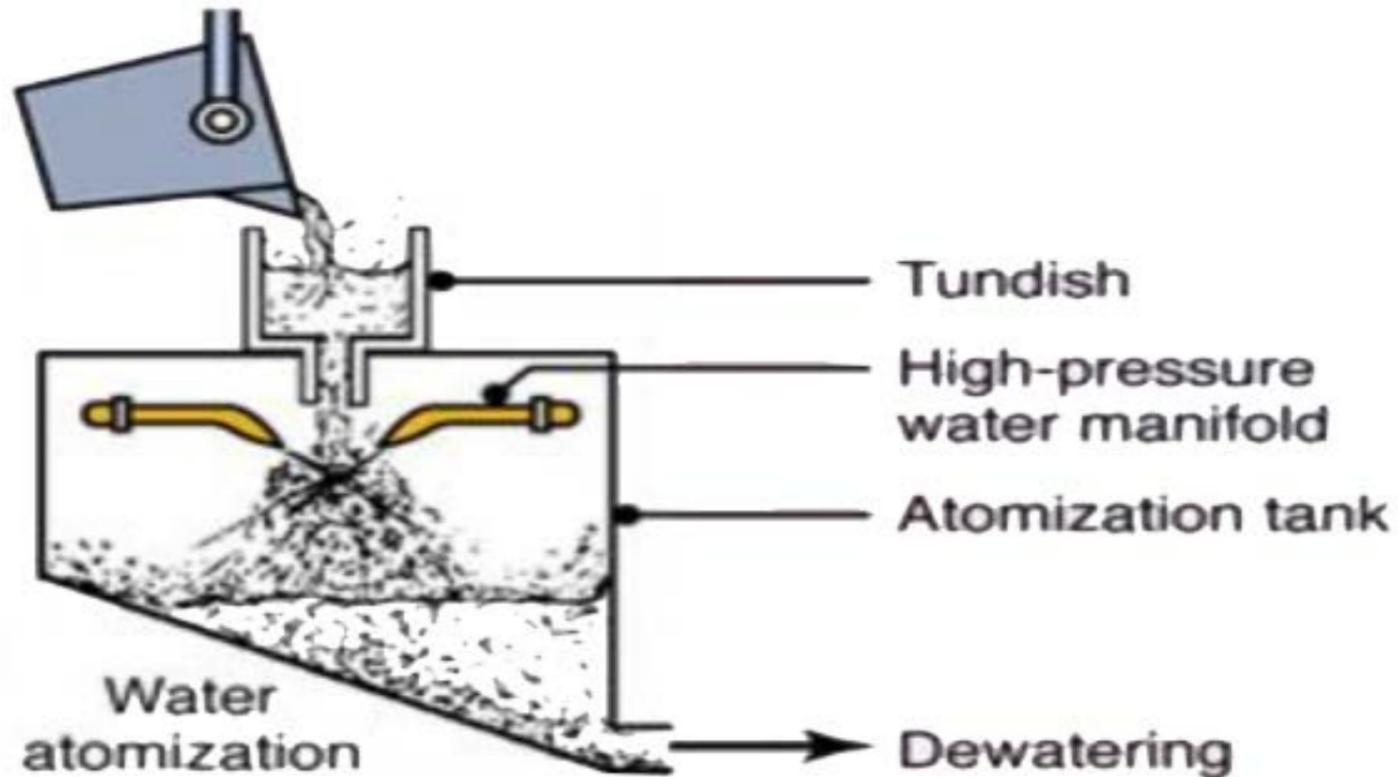
LES DIFFERENTS PROCEDES D'ATOMISATION (1)

Process de fabrication	Gamme de taille de particules	Productivité	Matière initiale	Coût
Atomisation par eau	0 - 500µm	30T/h	Lingot	
Atomisation par gaz	0 - 500µm	10 à 12T/h	Lingot ou poudre refondue	
VIGA	20 < D ₅₀ < 90µm	de 5kg à 2,5T	Lingot ou poudre refondue	
Vaccum Induction Melting Gaz Atomization				
EIGA	20 < D ₅₀ < 90µm	de 5kg à 2,5T	Tige usinée de longueur définie	
Electrode Induction Melting Gaz Atomization				
PIGA	0 - 200µm	Faible	Fil	
Plasma Melting Induction Guiding Gaz Atomization				
REP	0 - 150µm	1 à 10T/an	Barre servant d'électrode (usinage précis)	
Rotating Electrode Process				
PREP	0 - 150µm	1 à 10T/an	Barre servant d'électrode (usinage précis)	
Plasma Rotating Electrode Process				

LES DIFFERENTS PROCEDES D'ATOMISATION (2)

Process de fabrication	Pollutions	Sphéricité	Matériaux réactifs (Ti et Al)	Matériaux à haut point de fusion
Atomisation par eau	oxygène			
Atomisation par gaz	oxygène et autre gaz			
VIGA Vaccum Induction Melting Gaz Atomization				
EIGA Electrode Induction Melting Gaz Atomization				
PIGA Plasma Melting Induction Guiding Gaz Atomization				
REP Rotating Electrode Process	Pollution due à l'électrode de tungstène	+		
PREP Plasma Rotating Electrode Process		+		

L'ATOMISATION PAR EAU (1)



Utilisé essentiellement pour les matériaux non réactifs comme les aciers.

● Particularités

- Vitesse de refroidissement très rapide
- Procédé économique
- Grande productivité : 30T/h
- Large gamme de taille de particules (jusqu'à 500 μ m)
- Processus de séchage de la poudre après atomisation
- Particules de formes irrégulières (avec présence de satellites) et parfois rugueuse
- Poudres ayant une forte teneur en oxygène

● Les interactions metal/eau

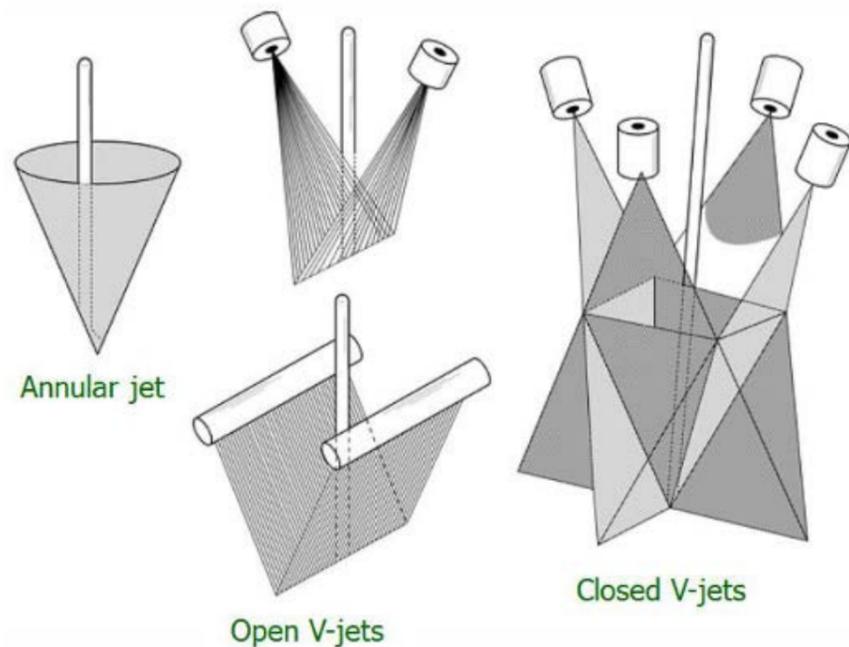
- Cratering
- Splashing
- Stripping
- Bursting

P.10

ATOMISATION PAR EAU PARAMETRES PROCEDE

● Au niveau de l'atomisation

- Longueur du flux de métal (distance de parcours moyenne)
- Diamètre de la buse de sortie
- Propriétés physiques du métal : densité, viscosité, tension de surface
- Vitesse et pression de l'eau
- Géométrie du jet d'eau (diamètre, longueur)
- Angle au sommet entre les jets d'eau



● Au niveau de l'atomisation

- Chimie de l'alliage
- Atmosphère de chauffe (gaz neutre par exemple)
- Température de chauffe

● Au niveau de la solidification des particules

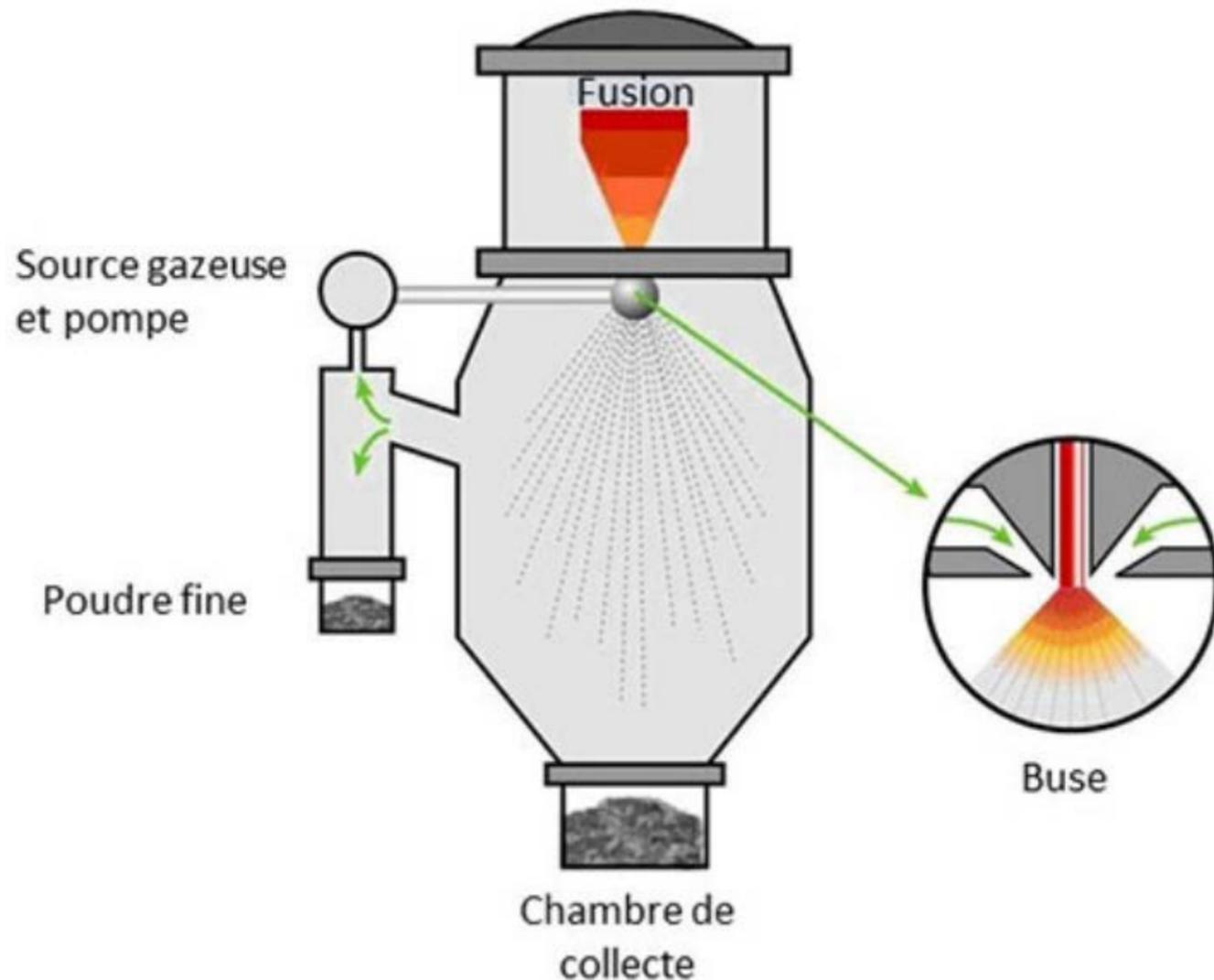
- Taille des gouttes
- Transfert de chaleur
- Trempe moyenne
- Distance de parcours

Exemple de configurations de buses d'eau

ATOMISATION PAR EAU



ATOMISATION PAR GAZ (1)



● Particularités

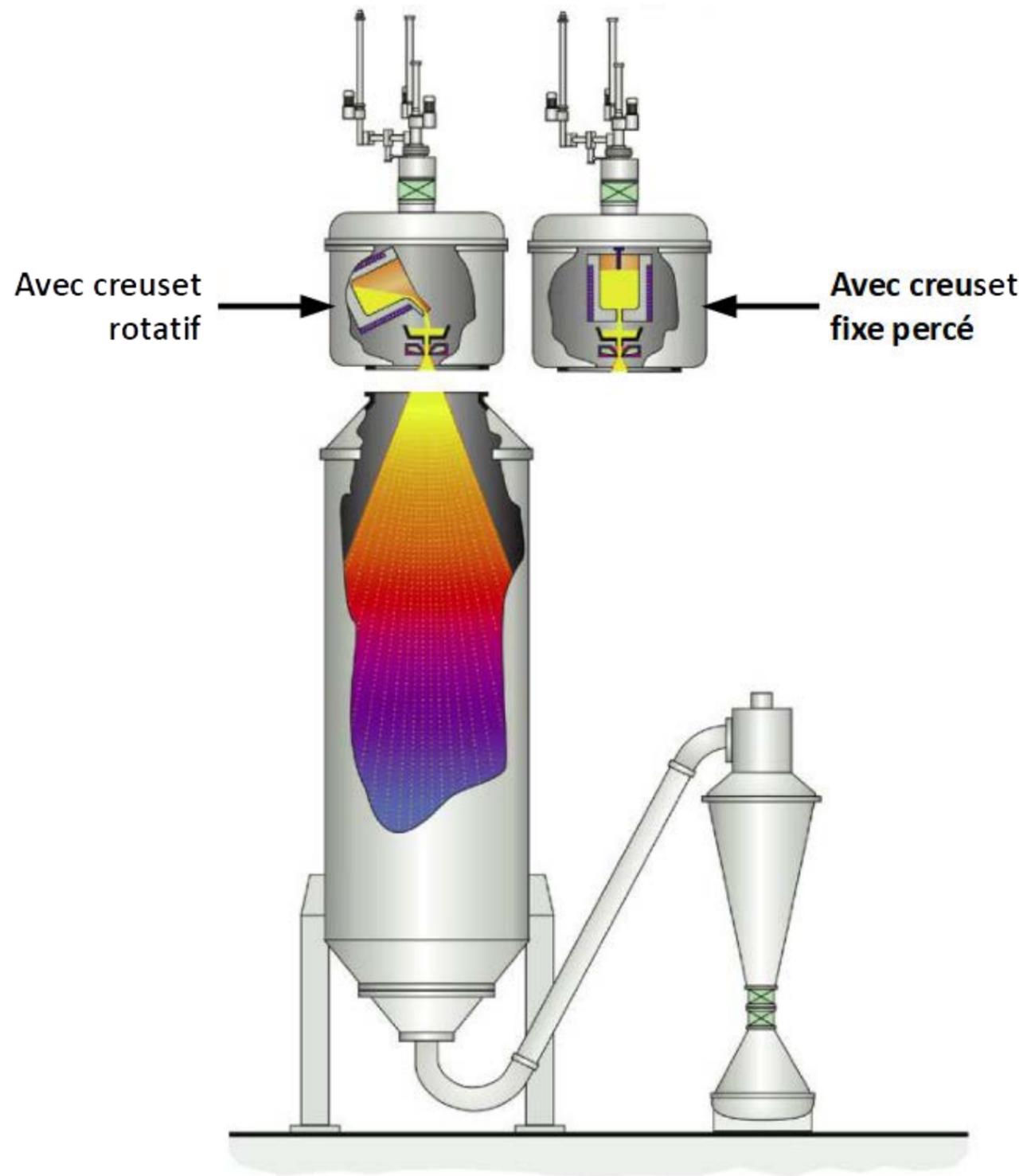
- Gaz d'atomisation : argon, azote ou nitrogène
- Grande productivité : 10 à 12T/h
- Gamme de taille de particules : de 20 à 300 μ m (20 à 50% de rendement pour la gamme de 20 à 150 μ m)
- Poudres ayant une teneur faible en oxygène et d'une grande pureté
- Particules sphérique et certaines possédant des satellites

● Matériaux

- Alliages Nickel, Chrome et Fer.
- Alliages de titane et d'aluminium possibles.

ATOMISATION PAR GAZ (2) : VIGA

VACUUM INDUCTION MELTING GAZ ATOMIZATION



● Particularités

- VIM : Chauffage par induction dans une chambre à vide (Vide maxi atteignable : 10^{-2} à 10^{-3} mbar)
- Gaz d'atomisation : argon, hélium ou nitrogène
- Lots de 5kg à 2,5T
- Particules assez fines $20 < D_{50} < 90\mu\text{m}$
- Poudres ayant des teneurs faibles en O, N et H et d'une très grande pureté
- Particules sphériques
- Solidification rapide et microstructure homogène

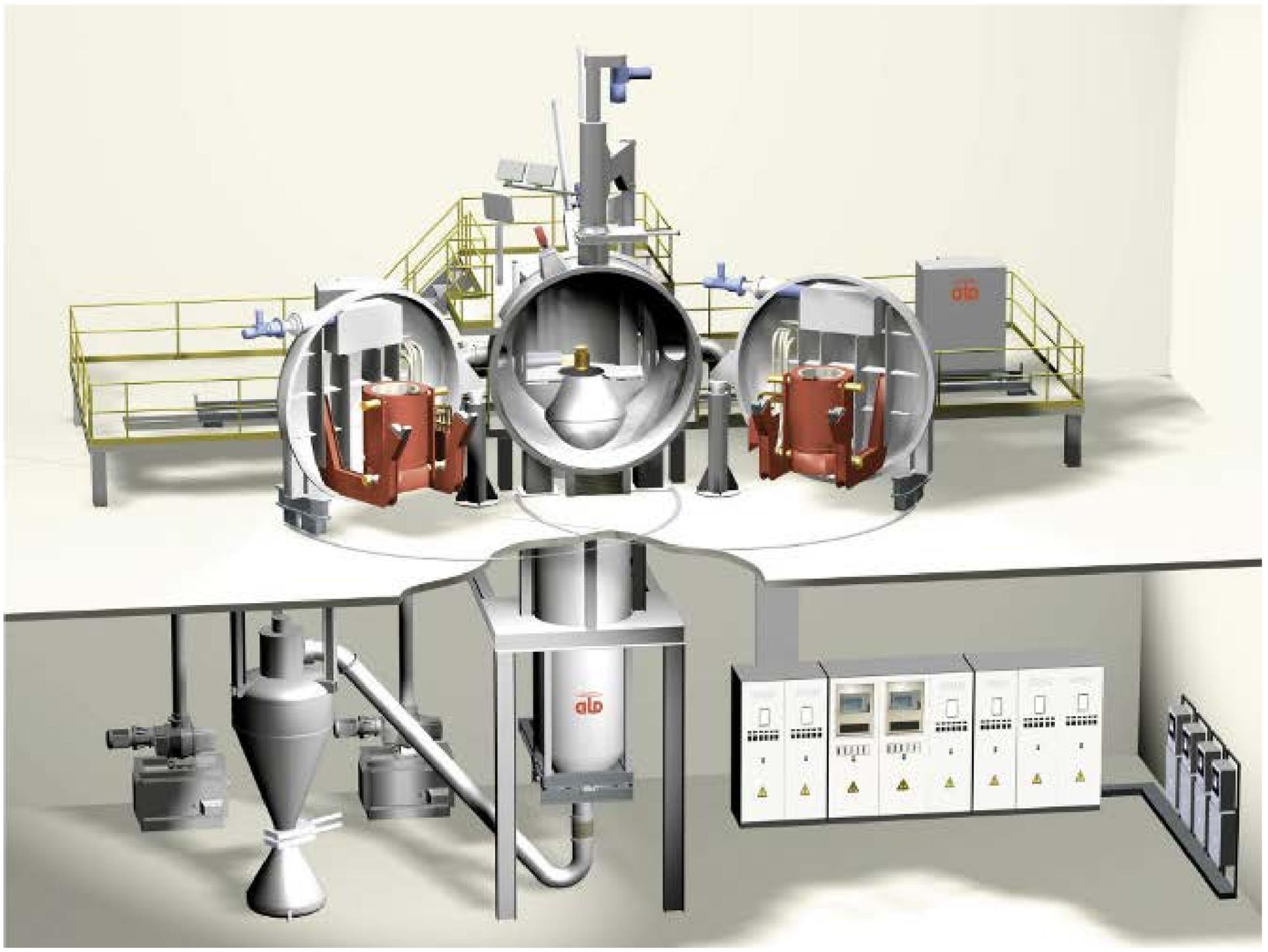
● Matériaux

- Alliages et superalliages base Ni, Fe, Cr, Co
- Alliages à éléments réactifs (Ti et Al)
- Alliages Cu, Al et Mg très purs
- Métaux précieux et leurs alliages

P.14

ATOMISATIONS PAR GAZ : EXEMPLE D'INSTALLATION INDUSTRIELLE

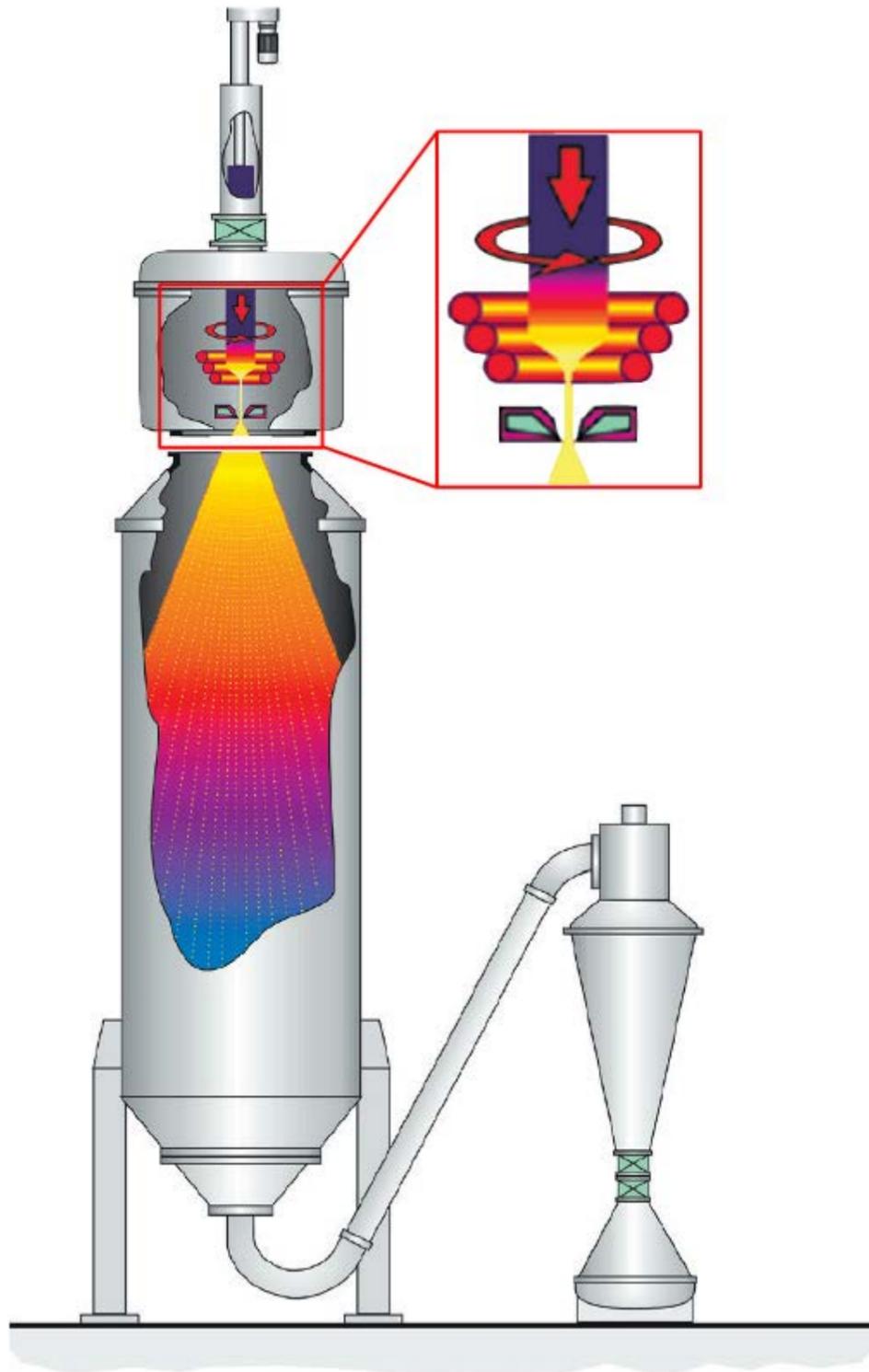
Unité d'atomisation VIGA à grande échelle avec four à induction à porte deux battants
(Capacité de chaque four : 2000Kg)



Source : ALD Vacuum Technologies

ATOMISATION PAR GAZ (3) : EIGA

ELECTRODE INDUCTION MELTING GAZ ATOMIZATION



● Particularités

- Alimentation en matériau : Tige pré-alliée usinée sous forme d'électrode (pas de creuset)
- Température pouvant atteindre 2400°C
- Gaz d'atomisation : argon, hélium ou nitrogène
- Lots de 5kg à 2,5T
- Particules assez fines $20 < D_{50} < 90\mu\text{m}$
- Poudres d'une très grande pureté (pas d'oxydes)
- Particules sphériques
- Solidification rapide et microstructure homogène

● Matériaux

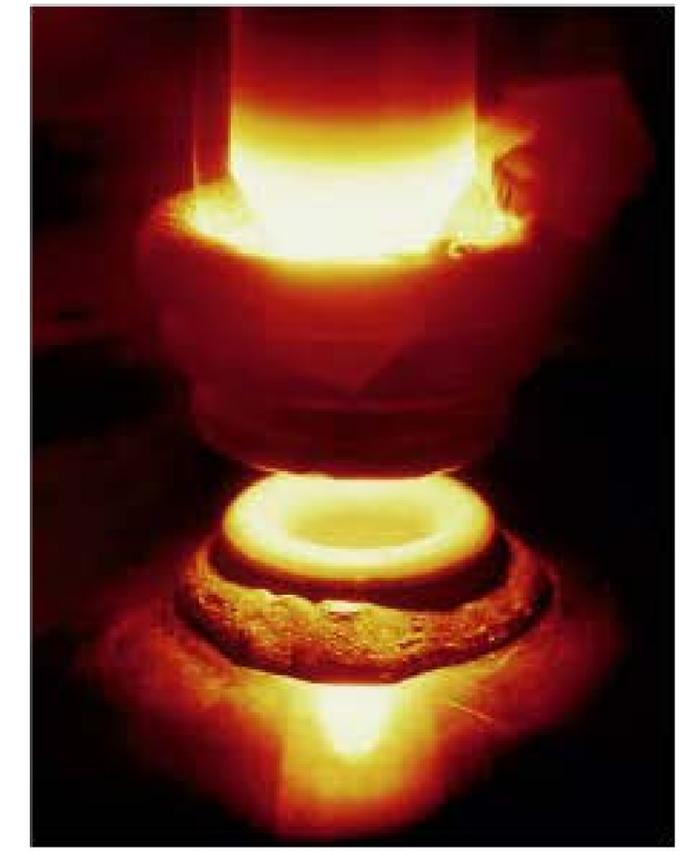
- Alliages à éléments réactifs (Ti et Al)
- Alliages à haut point de fusion

P.16

ATOMISATION PAR GAZ (3) : EIGA

ELECTRODE INDUCTION MELTING GAZ ATOMIZATION

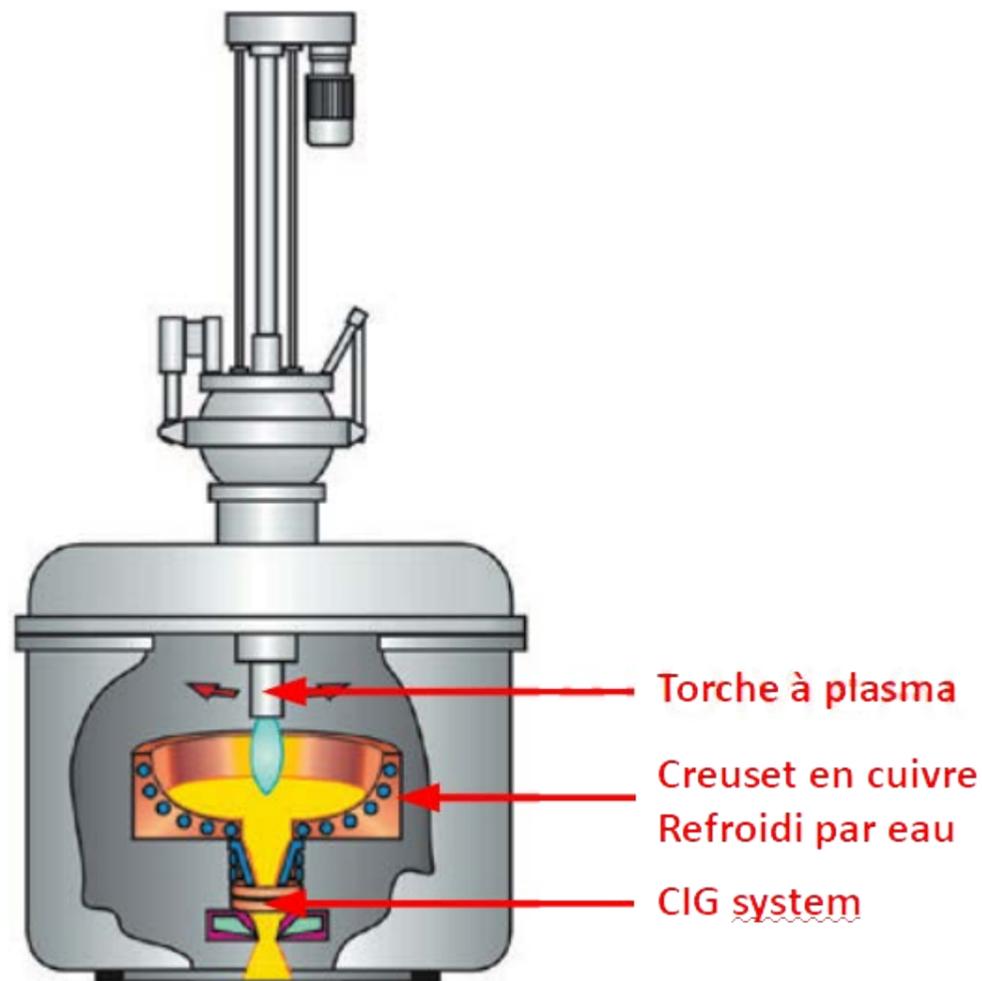
P. 21



P.17

ATOMISATION PAR GAZ (4) : PIGA

PLASMA MELTING INDUCTION GUIDING GAZ ATOMIZATION



● Particularités

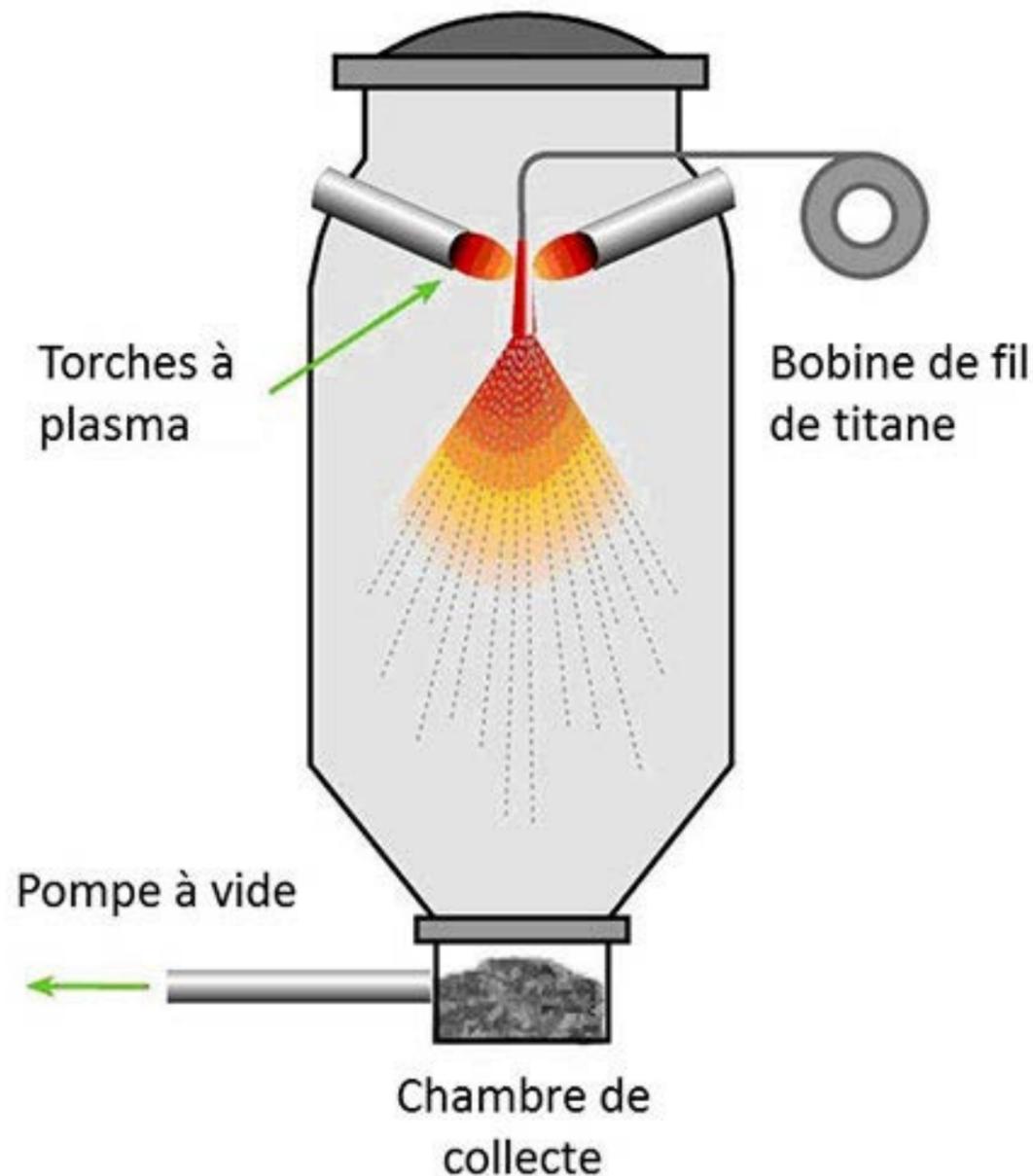
- CIG system (Cold Wall Induction Guiding)
- Gaz d'atomisation : argon, hélium ou nitrogène
- Gamme de taille de particules : de 20 à 250 μ m (meilleur rendement autour de 100 μ m)
- Poudres ayant des teneurs faibles en O, N et H et d'une très grande pureté
- Particules extrêmement sphériques

● Matériaux

- Alliages de Ti
- Matériaux réfractaires : Ta, W, Nb et Mo

ATOMISATION PAR GAZ (4) : PIGA

PLASMA MELTING INDUCTION GUIDING GAS ATOMIZATION



● Particularités

- Alimenté par un fil
- Gaz d'atomisation : argon, hélium ou nitrogène
- Gamme de taille de particules : de 20 à 200 μm (meilleur rendement autour de 100 μm)
- Poudres ayant des teneurs faibles en O, N et H et d'une très grande pureté
- Particules extrêmement sphériques

● Matériaux

- Alliages de Ti
- Matériaux réfractaires : Ta, W, Nb et Mo

ATOMISATIONS PAR GAZ

PARAMETRES D'INFLUENCE (1)

- **Gaz**
 - Nature
 - Débit (18-25Nm³/min)
 - Pression (entre 15 et 40 bars)
- **Rapport Débit de gaz / Débit matière**
- **Viscosité du fluide liquide (puissance de l'inducteur)**
- **Configurations d'atomisation**
 - Types de buses
 - Angle entre les jets de gaz et le fluide métallique

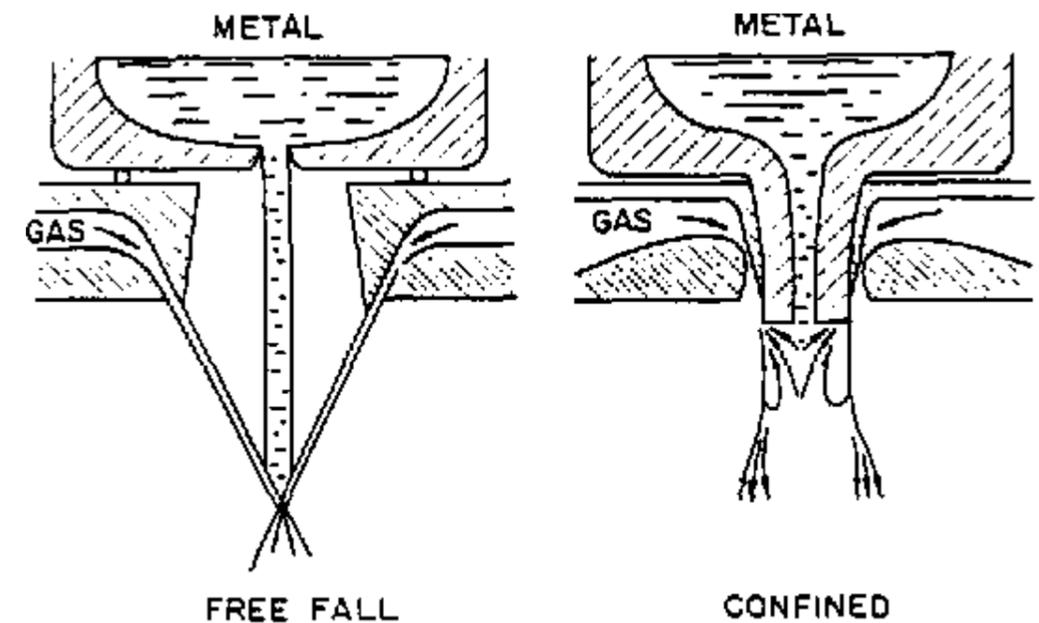


Fig. 1. Atomizer nozzle geometries: (a) free-fall nozzle;

ATOMISATIONS PAR GAZ

PARAMETRES D'INFLUENCE (2)

Matière	%Ti	%Al	%Cr	%Nb
Lingot de départ	60,1	32,5	2,7	4,6
Poudre (16 bar)	60,1	32,4	2,7	4,6
Poudre (26 bar)	60,2	32,5	2,6	4,6

Tableau 1 - Analyse chimique (en masse) de la poudre

Pression du gaz d'atomisation (bar)	Rapport des débits (Q_g/Q_m)	D_{10} (μm)	D_{50} (μm)	D_{90} (μm)
16	62	49	99	193
26	122	29	80	187
40	178	29	63	140

Tableau 2 - Relation entre la pression d'atomisation, le rapport des débits massiques gaz / métal et la granulométrie

Essais réalisés sur un alliage de Ti-48Al-2Cr-2Nb

ATOMISATIONS PAR GAZ



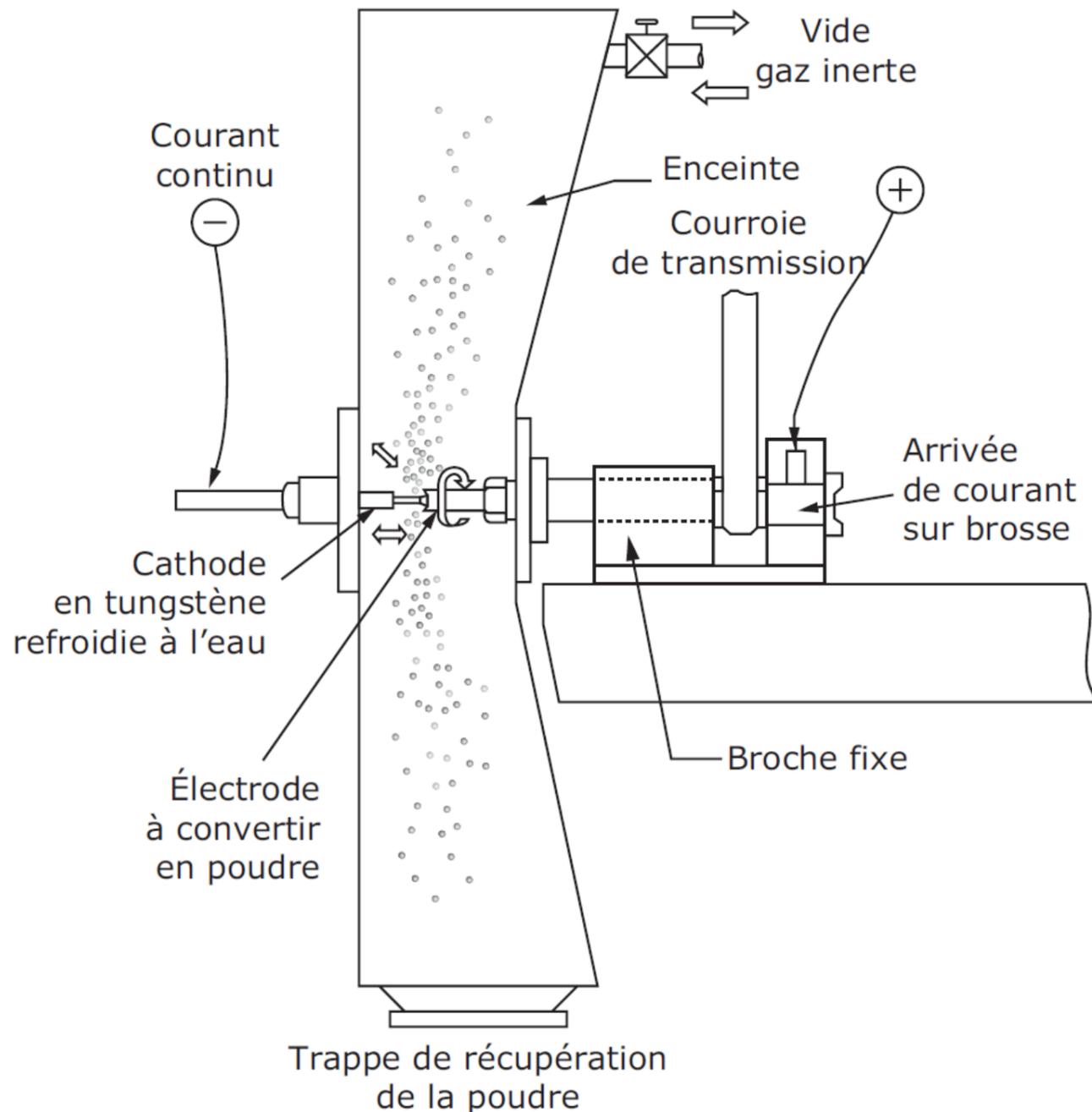
Cisailage par le gaz du métal en fusion



Atomisation par procédé EIGA

ATOMISATIONS PAR GAZ (6)

ROTATING ELECTRODE PROCESS



● Particularités

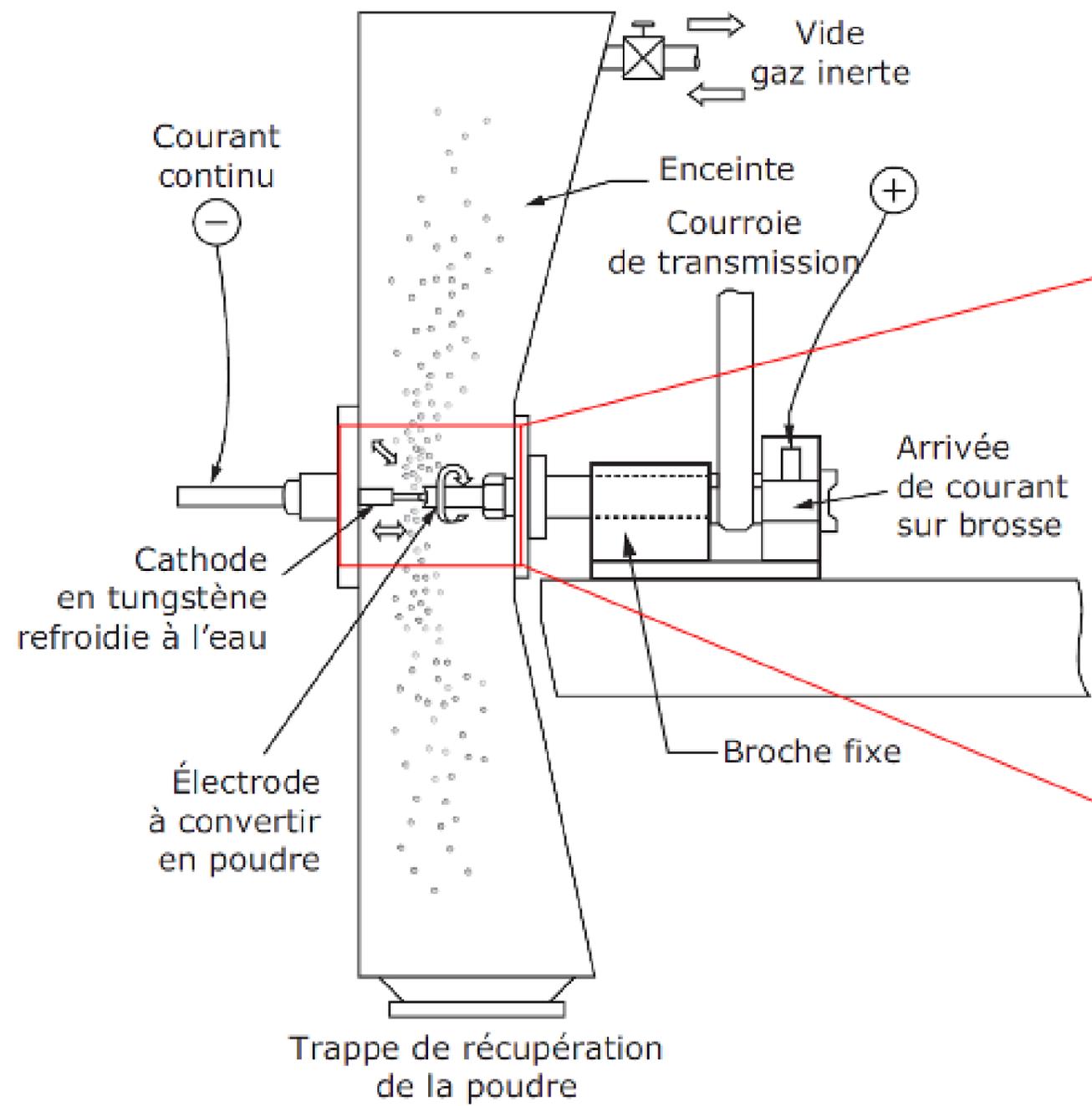
- Alimentée par une barre consommable
- Électrode créant l'arc en tungstène (polluante)
- Gaz de protection : argon ou hélium
- Production : 1 à 10T/an
- Gamme de taille de particules : de 20 à 150 μ m (D_{50} autour de 70 μ m)
- Particules sphériques et sans porosités
- Pas adaptée pour la production de masse (coûteuse)
- Teneur en oxygène entre 100 et 200ppm

● Matériaux

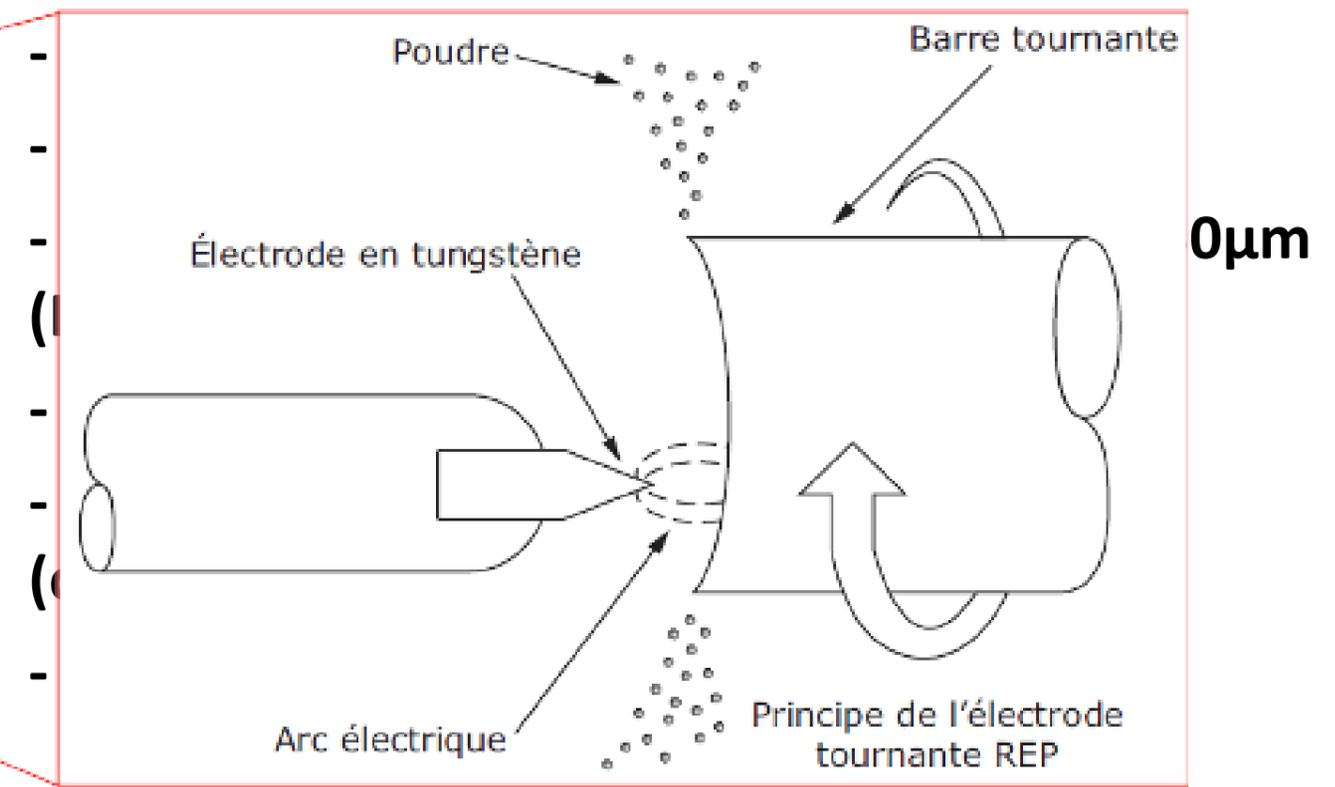
- Alliages et superalliages base Ni, Cr, Co
- Alliages de Ti
- Matériaux réfractaires : Nb, Mo et Zr

ATOMISATIONS PAR GAZ (6)

ROTATING ELECTRODE PROCESS



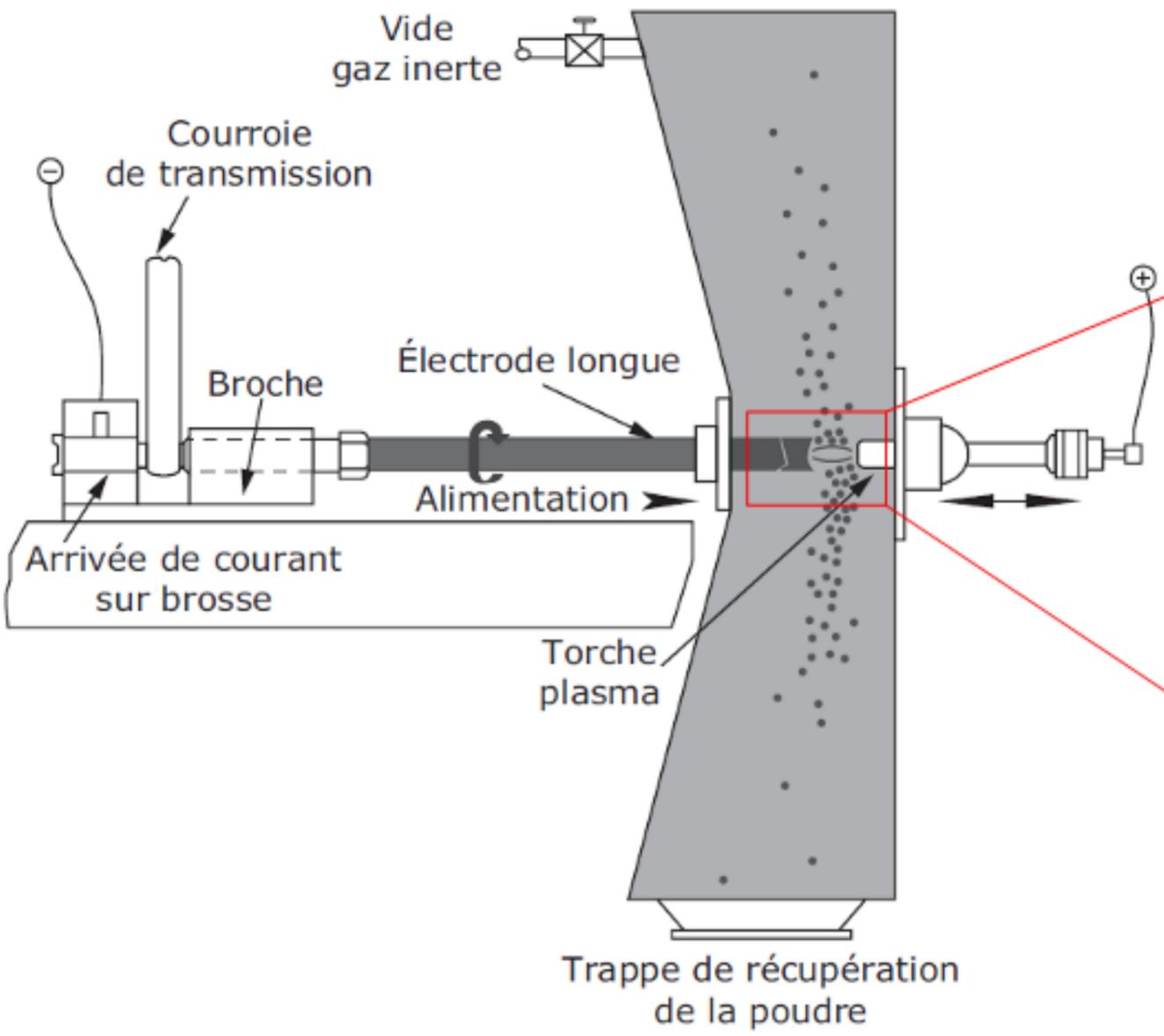
- **Particularités**
 - Alimentée par une barre consommable
 - Électrode créant l'arc en tungstène (polluante)



- **Matériaux**
 - Alliages et superalliages base Ni, Cr, Co
 - Alliages de Ti
 - Matériaux réfractaires : Nb, Mo et Zr

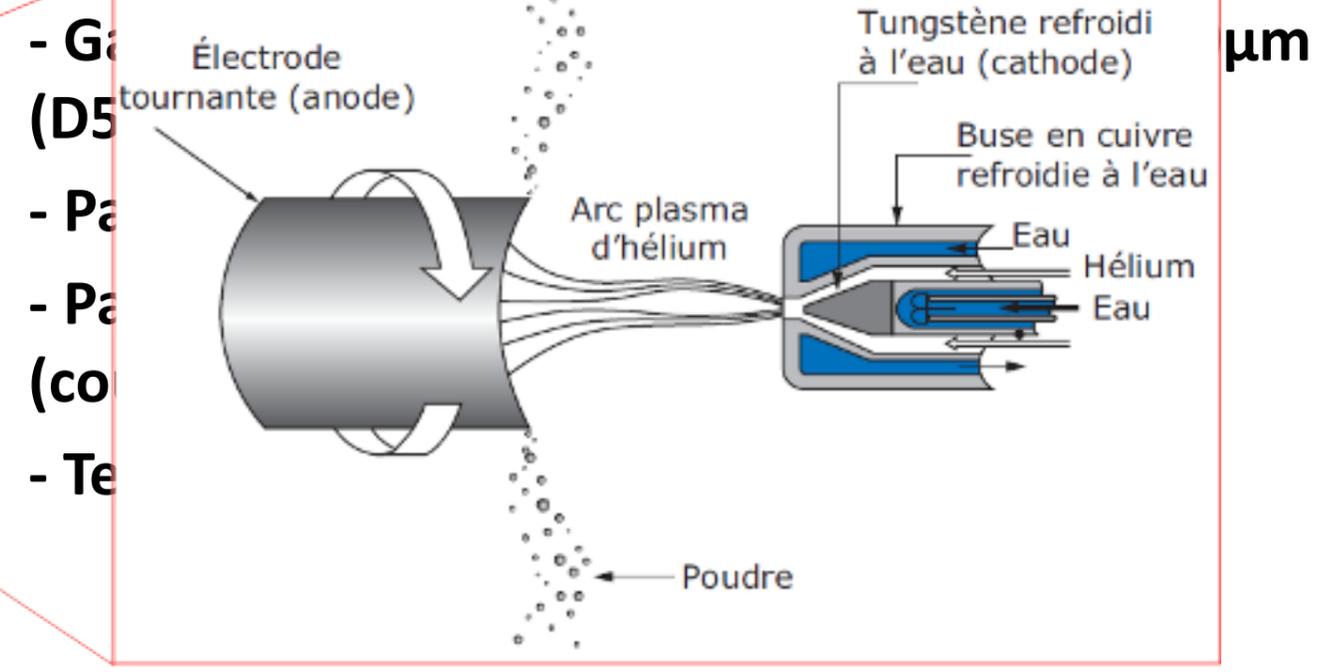
ATOMISATIONS PAR GAZ (6)

PLASMA ROTATING ELECTRODE PROCESS



Particularités

- Alimentée par une barre consommable
- Gaz de protection : argon ou hélium
- Production : 1 à 10T/an



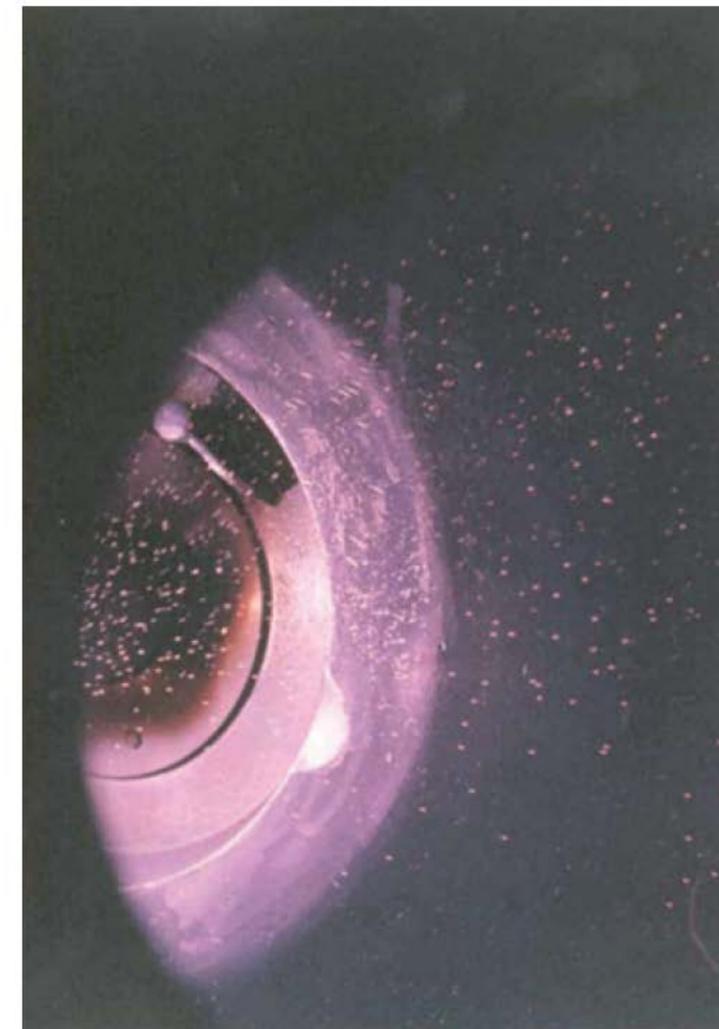
Matériaux

- Alliages et superalliages base Ni, Cr, Co
- Alliages de Ti
- Matériaux réfractaires : Nb, Mo et Zr

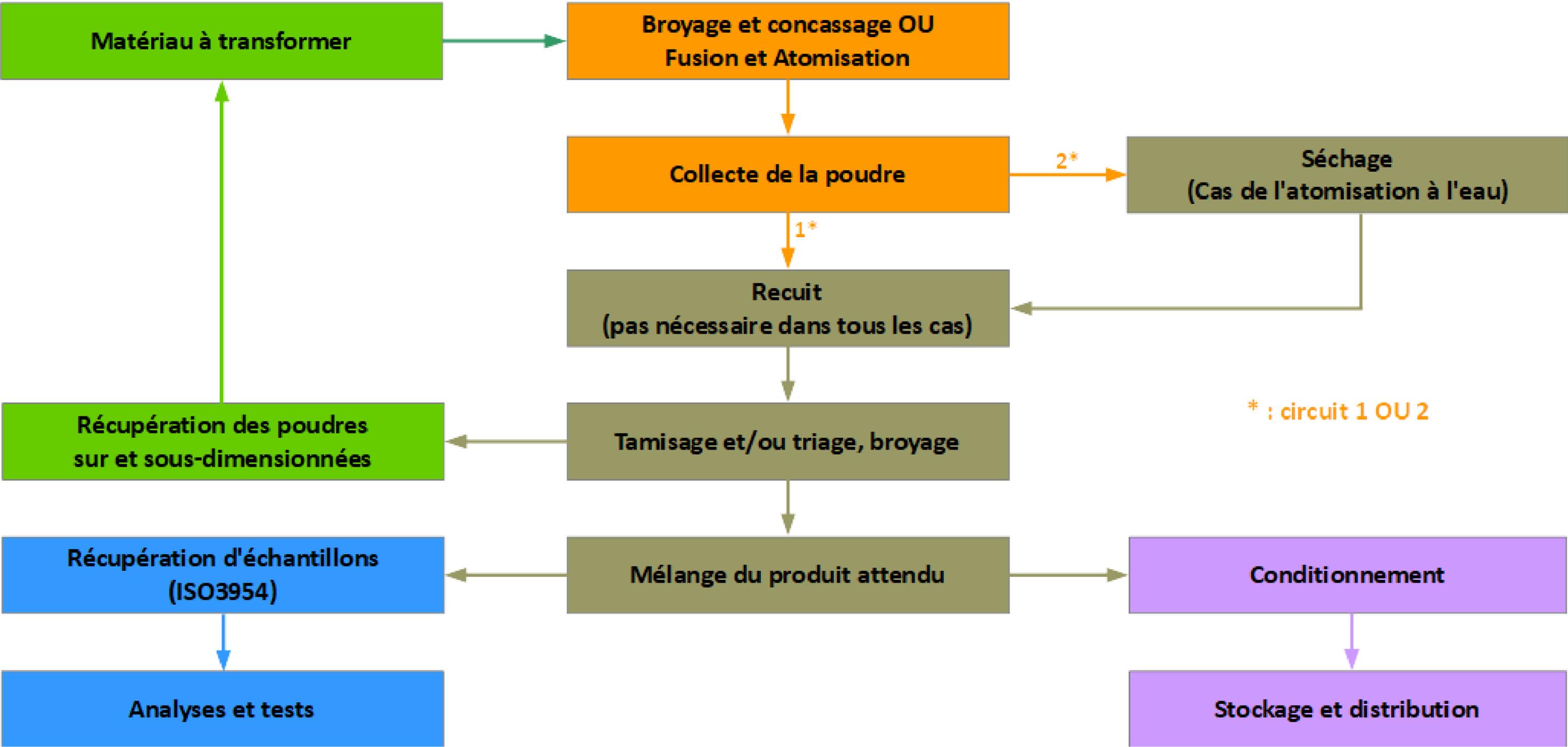
ATOMISATIONS PAR GAZ (6)

PLASMA ROTATING ELECTRODE PROCESS

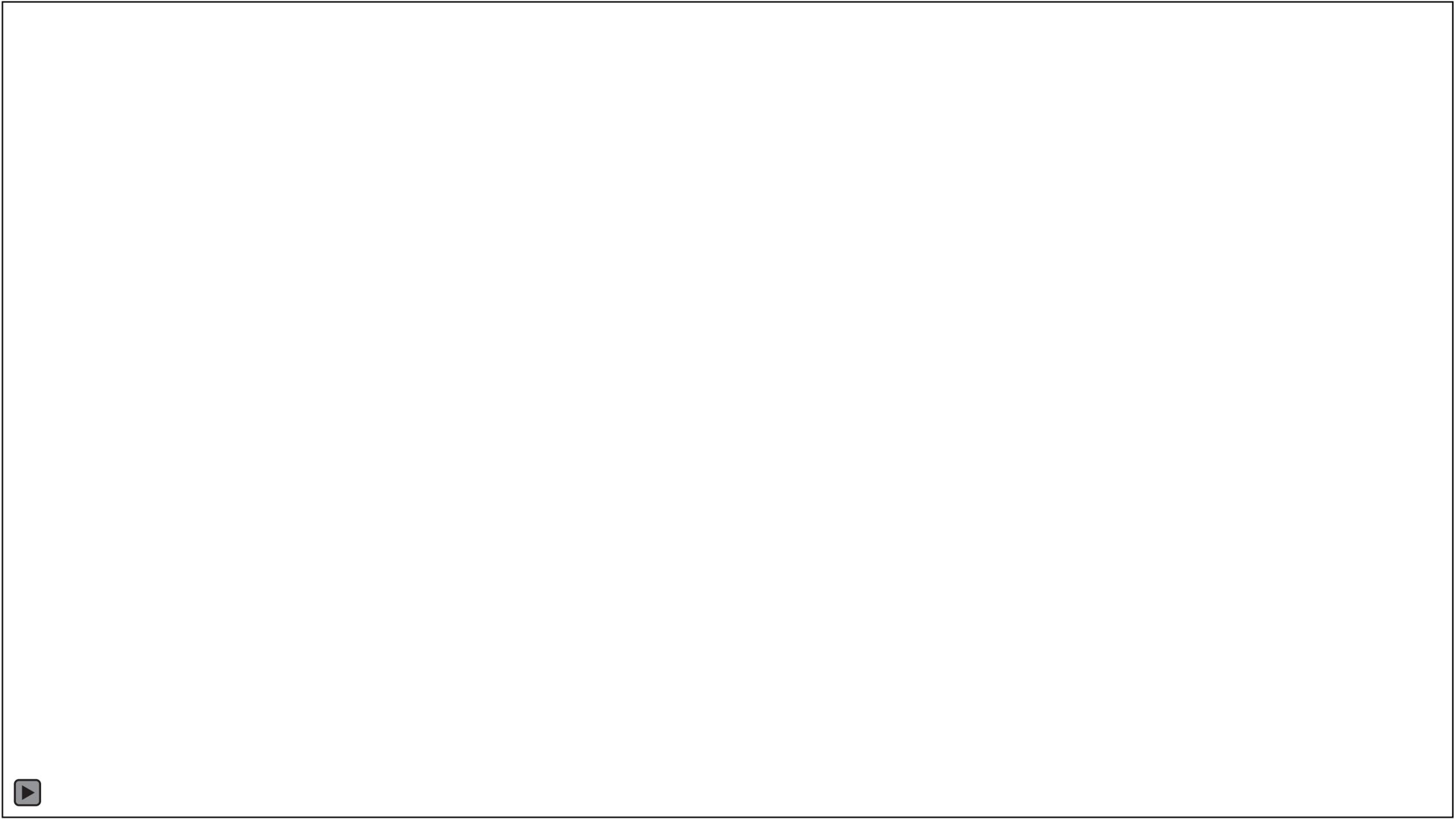
- Taille des particules inversement proportionnelle à la vitesse de rotation de l'électrode



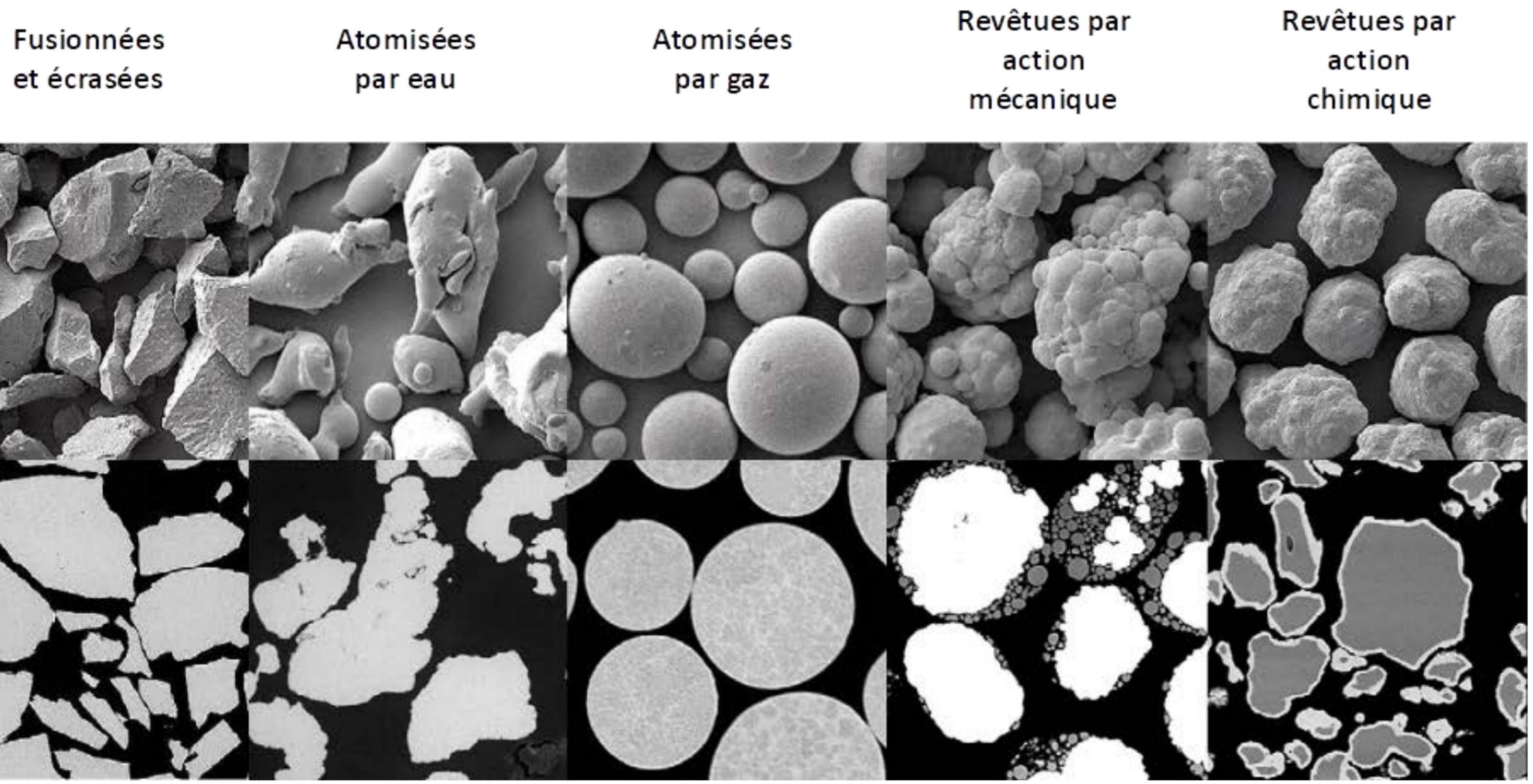
CHAÎNE DE FABRICATION DE LA POUDRE (1)



CHAÎNE DE FABRICATION DE LA POUDRE (2)



EXEMPLES DE POUDRES OBTENUES PAR DIFFERENTS PROCEDES



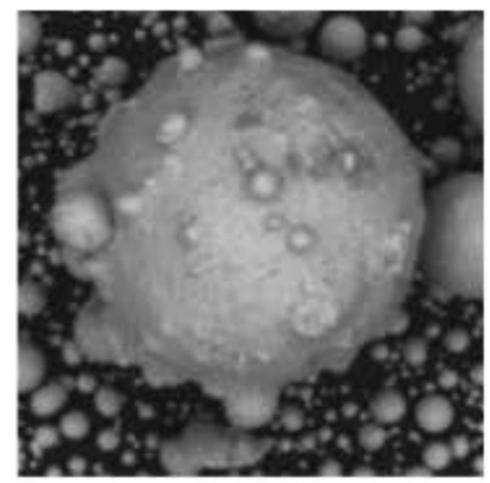
Source : Oerlikon Metco

MORPHOLOGIES DE GRAIN COMMUNEMENT RENCONTREES

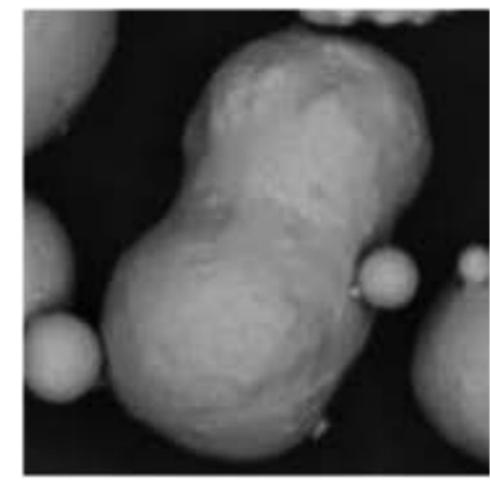
Sphérique



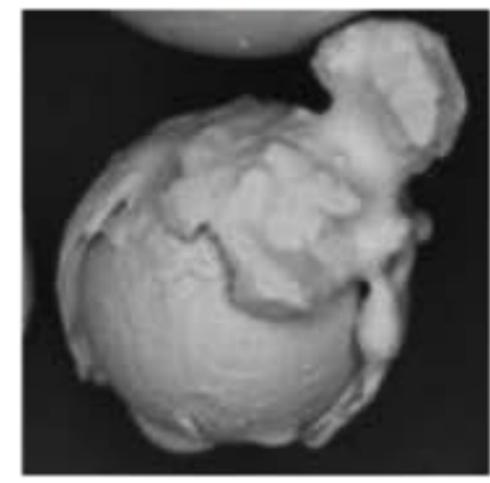
Avec des satellites



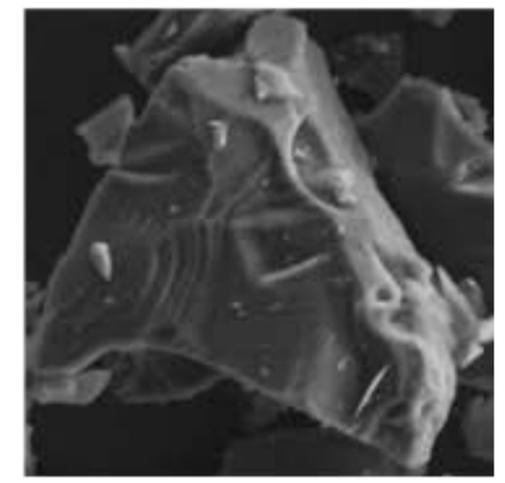
Allongée



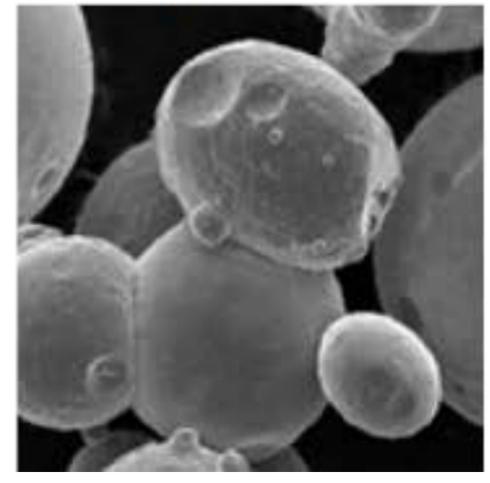
Eclaboussée



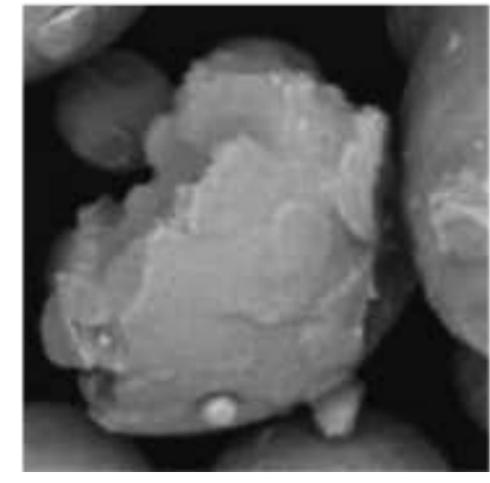
Irrégulière



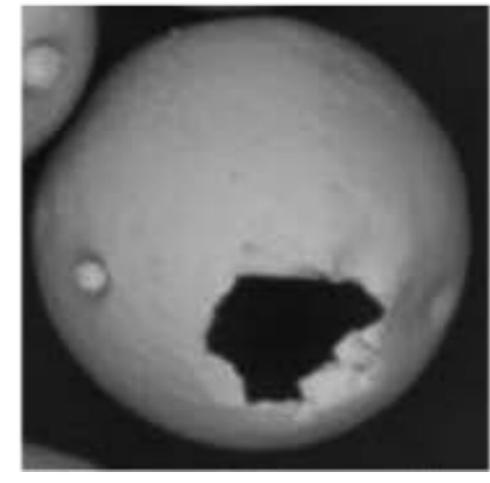
Agglomérée



Cassée



Porosité ouverte



Aciculaire



STANDARDS INTERNATIONAUX POUR LA CARACTERISATION DES POUDRES



THEMES ETUDIES DANS UN LABORATOIRE D'ANALYSE DES POUDRES

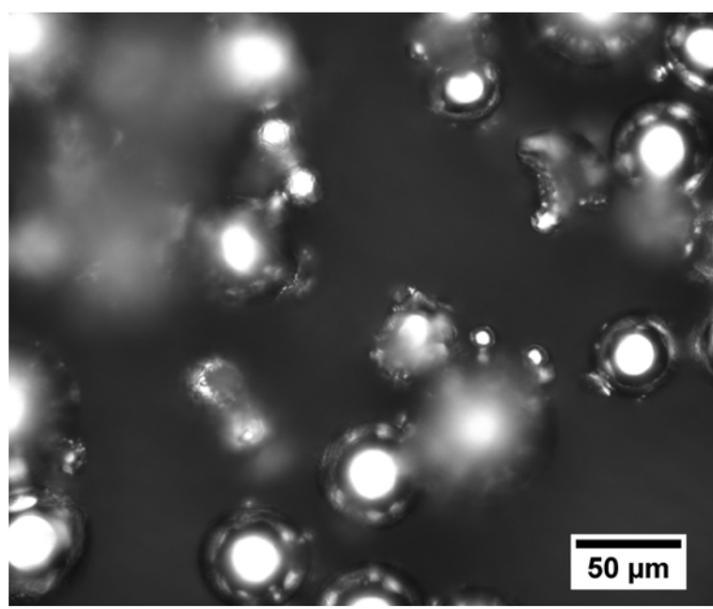
- **Morphologie et distribution de tailles des grains**
 - Microscopie optique et électronique (échantillonnage statistique faible)
 - Tamiseuse (moyen le plus économique)
 - Granulomètre à diffraction laser (échantillonnage statistique excellent)
 - Morphogranulomètre (échantillonnage statistique excellent)
- **Propriétés physiques et rhéologiques d'un ensemble de grains**
 - Entonnoir de Hall
 - Volumètre de Scott
 - Appareil de mesure d'angle de talus, d'angle d'avalanche
 - Rhéomètre
 - Pycnomètre à gaz
- **Microstructure et propriétés chimiques**
 - Microscopie électronique
 - Spectrométrie à plasma à couplage inductif (ICP)
 - Inert Gas Fusion (détection des gaz inter particulaires H, O, N)
 - Rayons X

P.32

MORPHOLOGIE ET TAILLE DE GRAINS : UTILISATION DU MICROSCOPE OPTIQUE

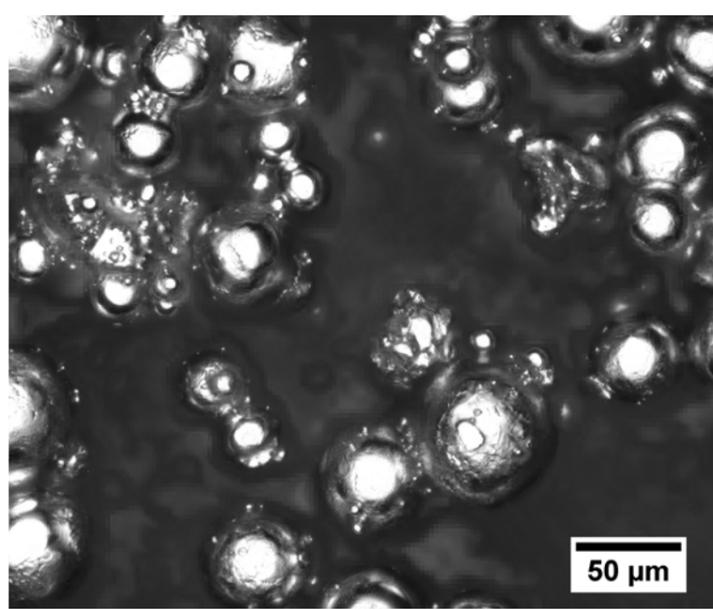
● En réflexion

Microscope standard



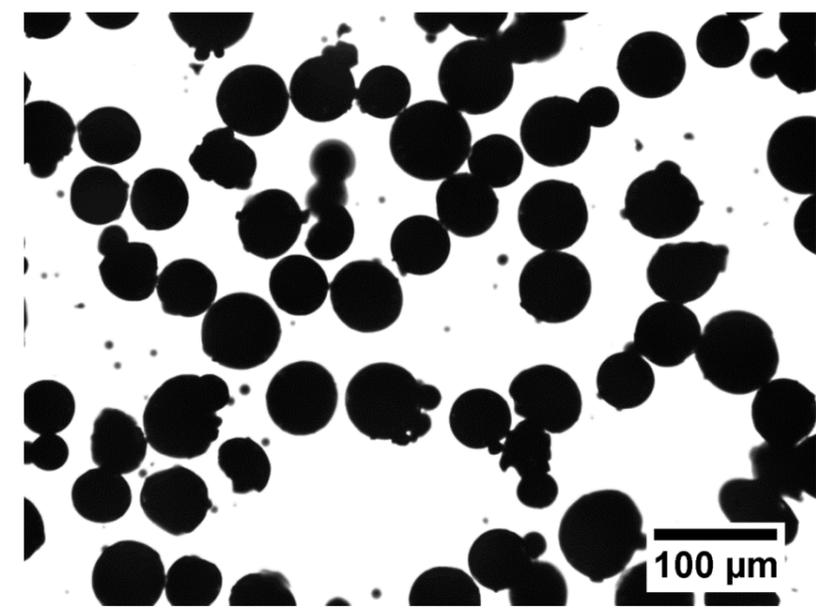
Problème de profondeur de champ

Microscope motorisé

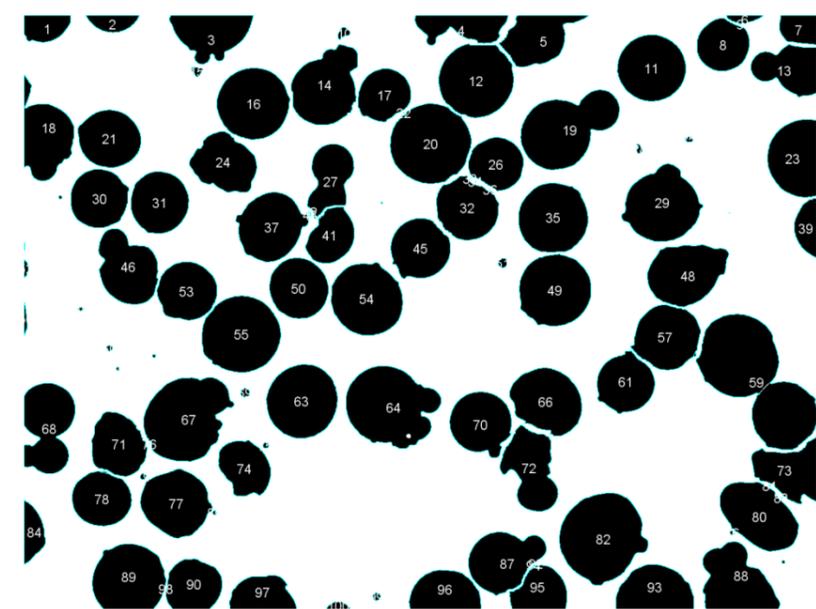


Utilisation de l'option pile en Z

● En transmission



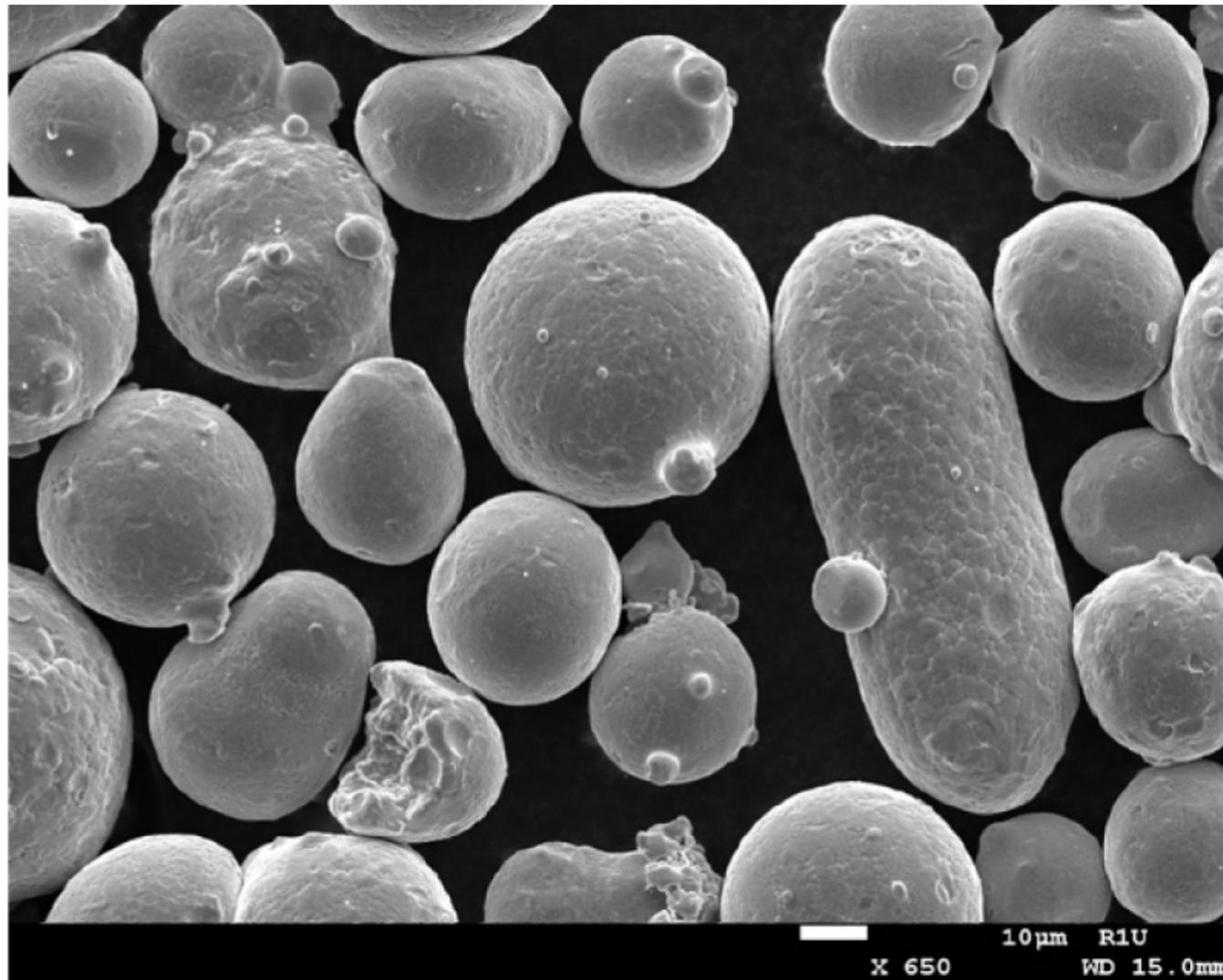
Possibilité de binarisation



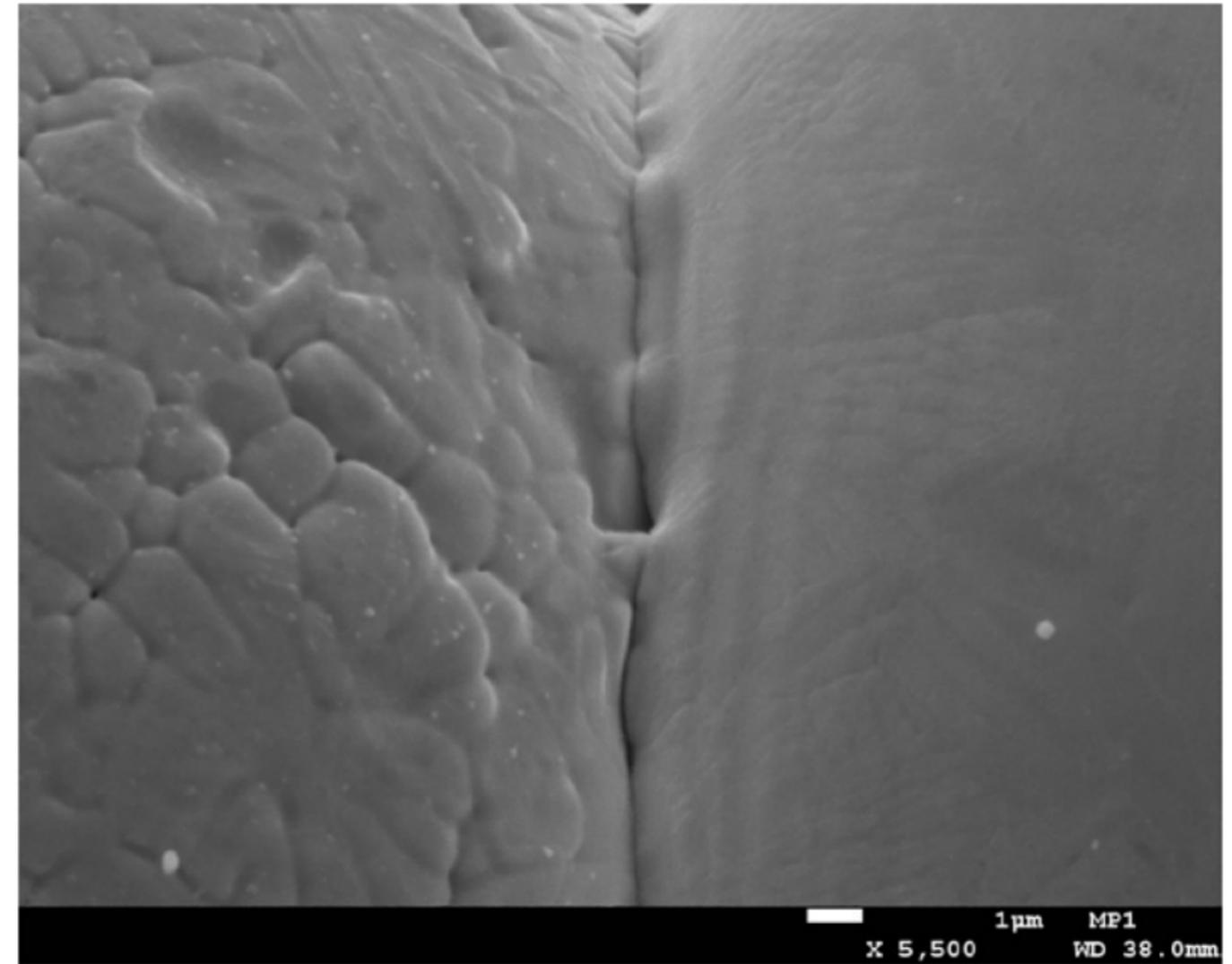
Comptage et taille des grains

MORPHOLOGIE ET TAILLE DE GRAINS : UTILISATION DU MEB

- Topographie de surface à l'aide des électrons secondaires (SE)

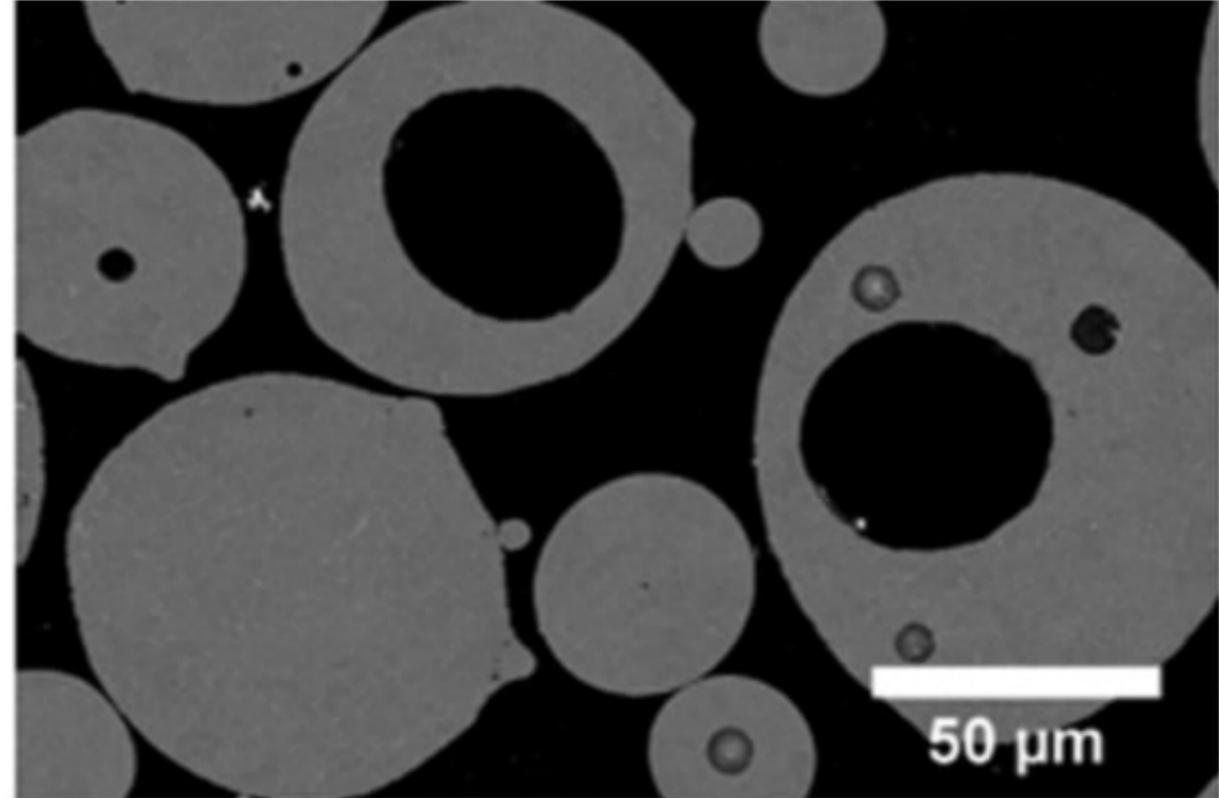
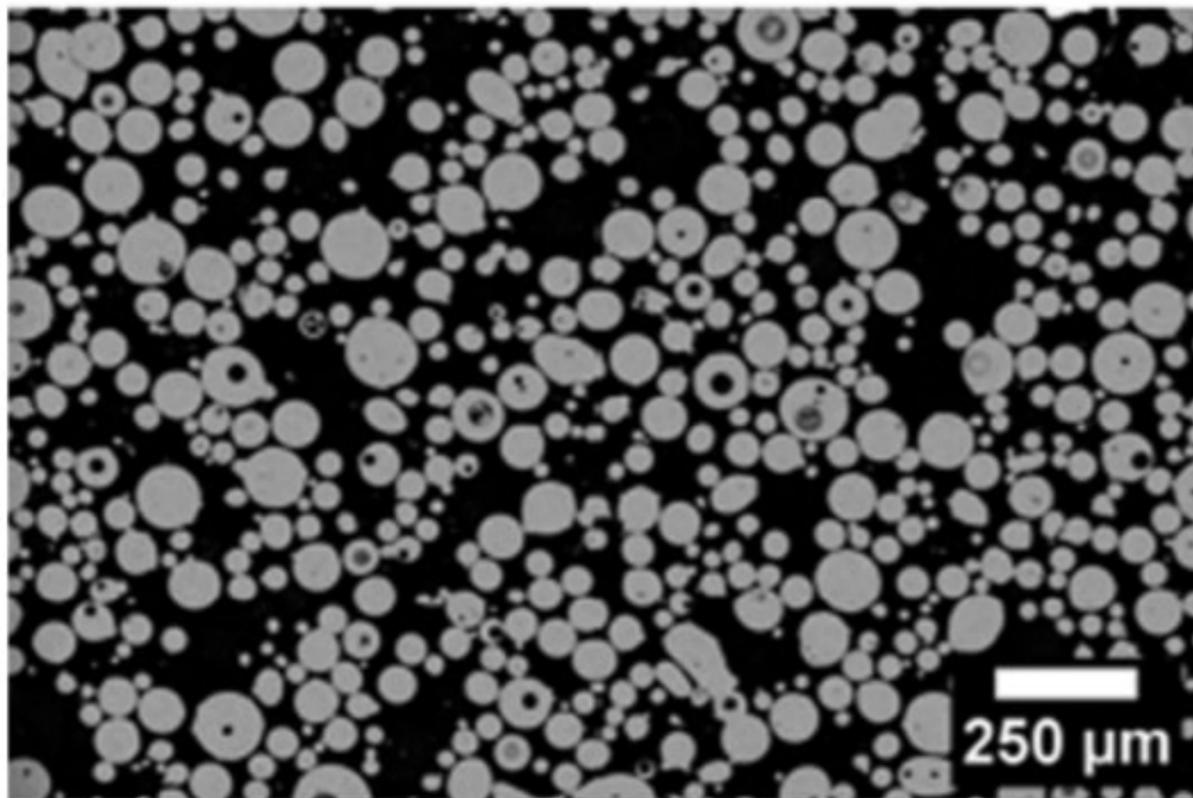


Poudre d'acier inoxydable 17-4 PH - X650



Agglomérat de deux particules de 17-4 PH - X5500

VISUALISATION DES POROSITES PAR MICROSCOPIE

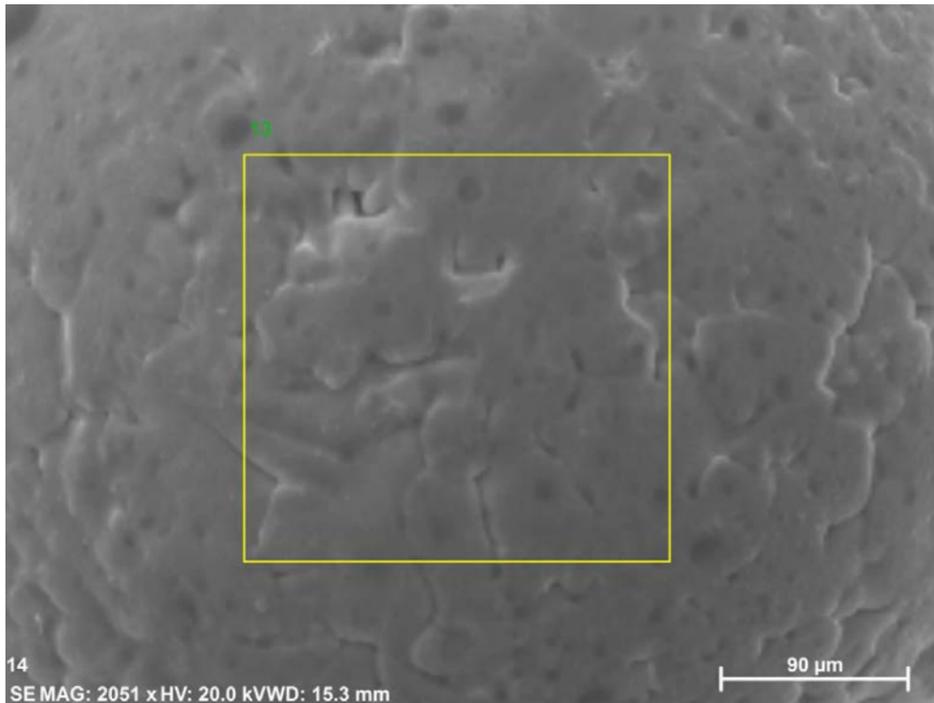


- Nécessité d'enrober les grains
- Visualisation en profondeur par polissage incrémentiel

→ Utilisation de la tomographie X

ANALYSE CHIMIQUE A L'AIDE D'UN MICROSCOPE A BALAYAGE

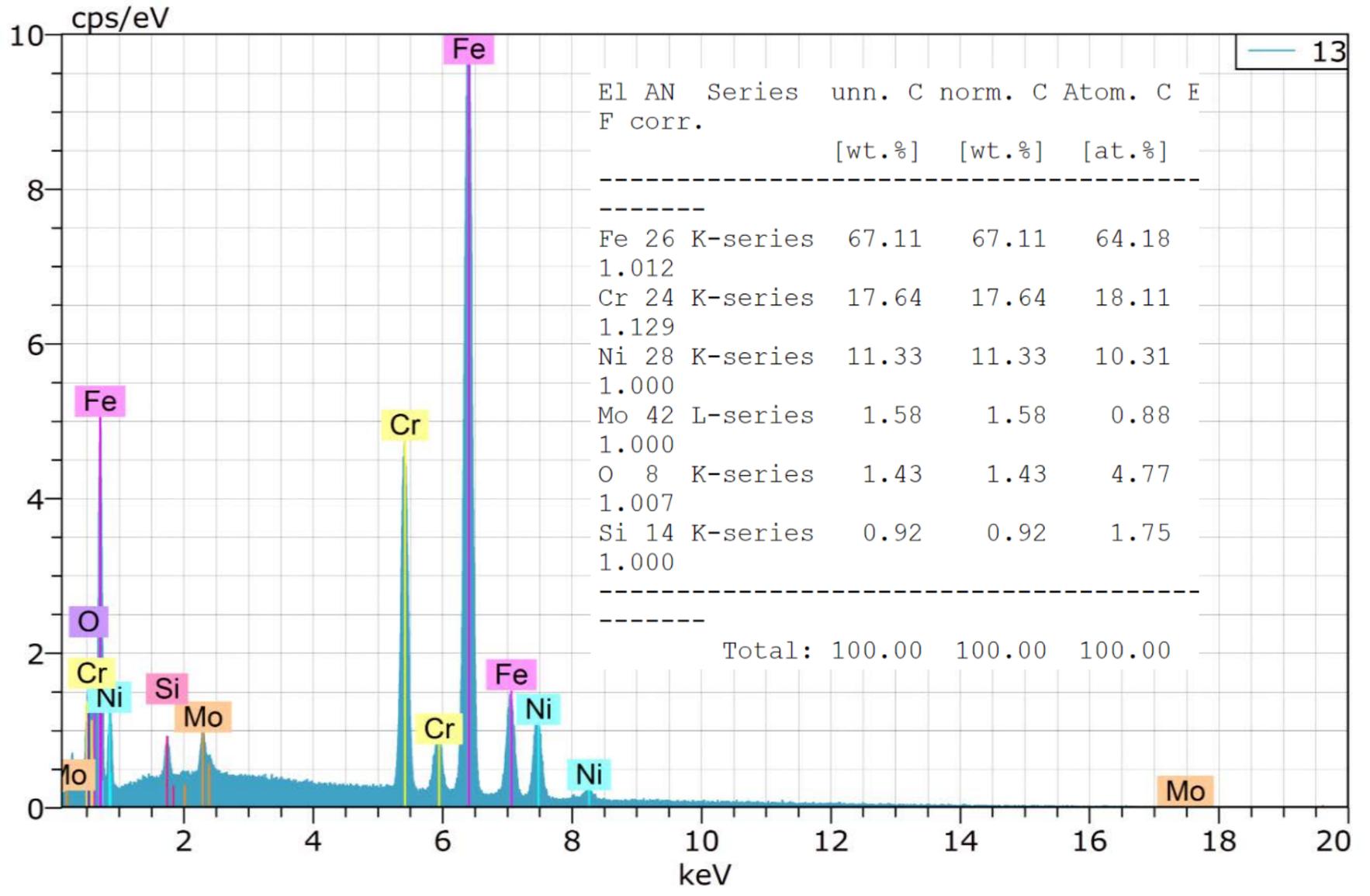
● Utilisation de l'EDS (Energy Dispersive Spectroscopy)



Poudre de 316L

%Fe	%Mo	%Ni	%Cr
Balance	1,5 – 3	9 – 13	16 – 19
%Si	%Mn	%O	%N
< 1	< 2	< 0,002	< 0,003

Composition chimique du 316L obtenu par ICP



Spectre des éléments présents et tableau des pourcentages

DISTRIBUTION DE TAILLE DE PARTICULES (PSD*)

***PARTICLES SIZE DISTRIBUTION**

Vocabulaire

Monomodale

Une seule population caractérisée par une taille moyenne unique

Multimodale

Plusieurs populations avec différentes tailles moyennes

Monodispersif

Toutes les particules ont la même taille

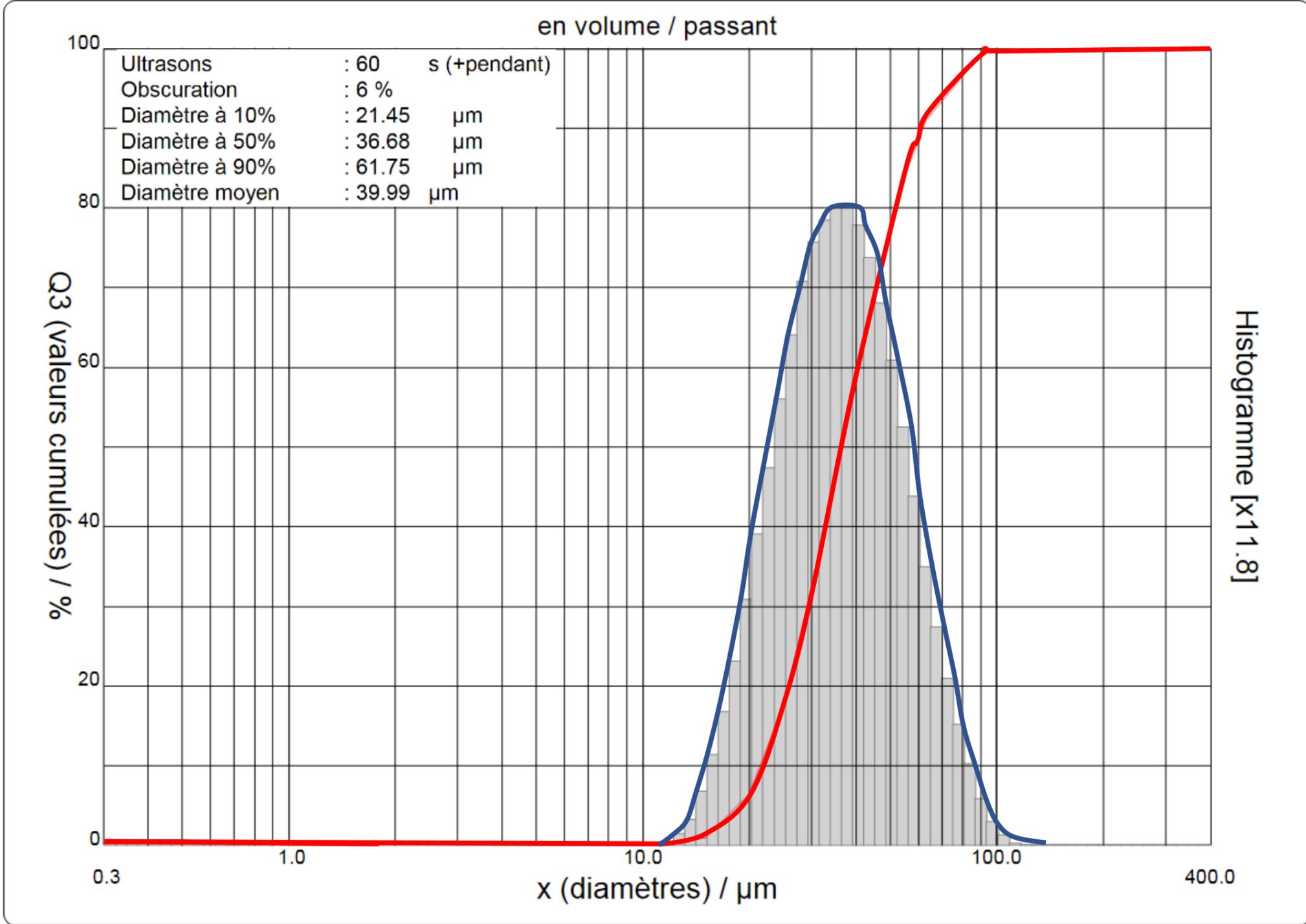
Polydispersif

Particules de tailles différentes

Normes

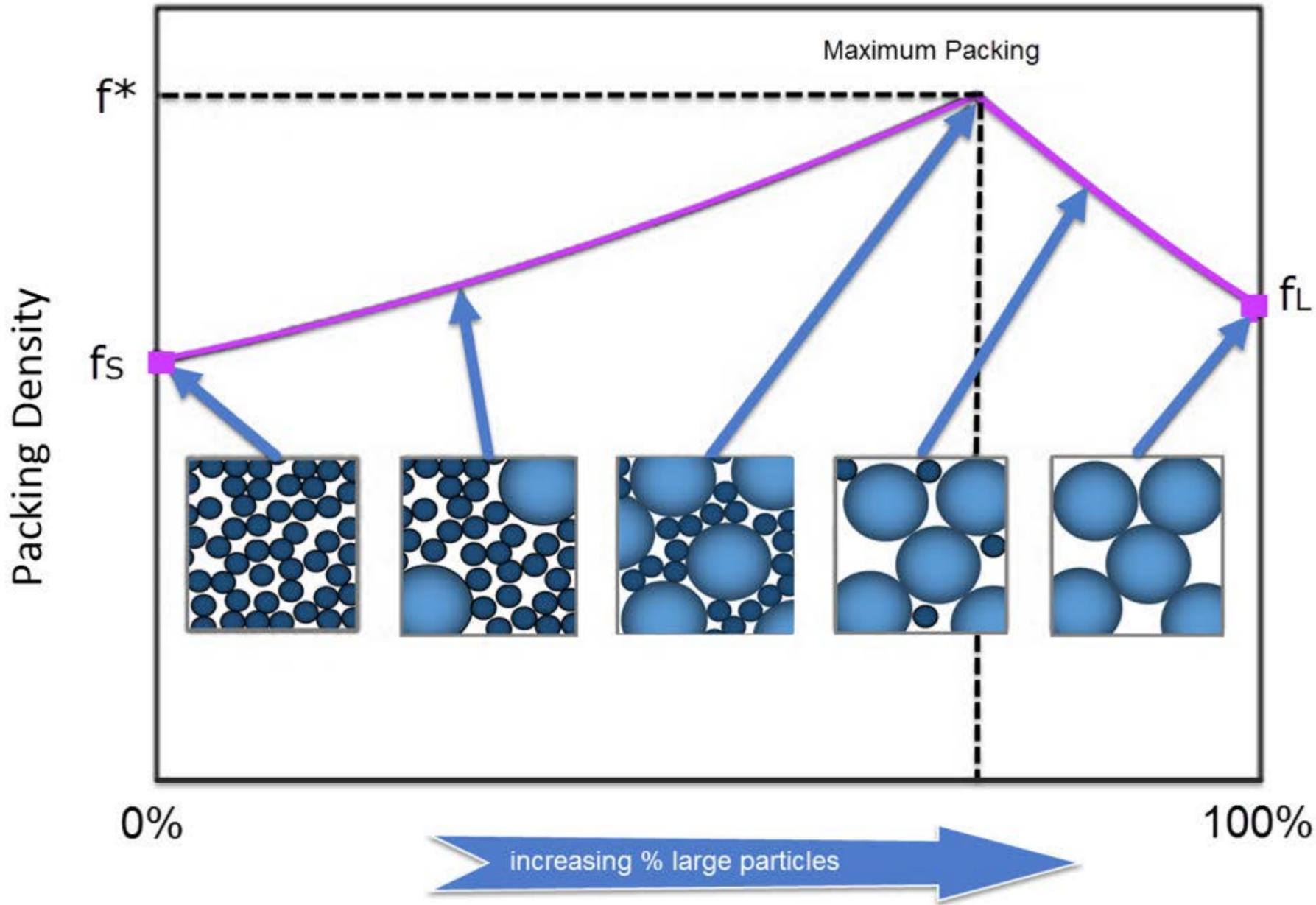
ISO9276-1/2/4

En FA (SLM),
PSD ni trop large,
Ni trop étroite

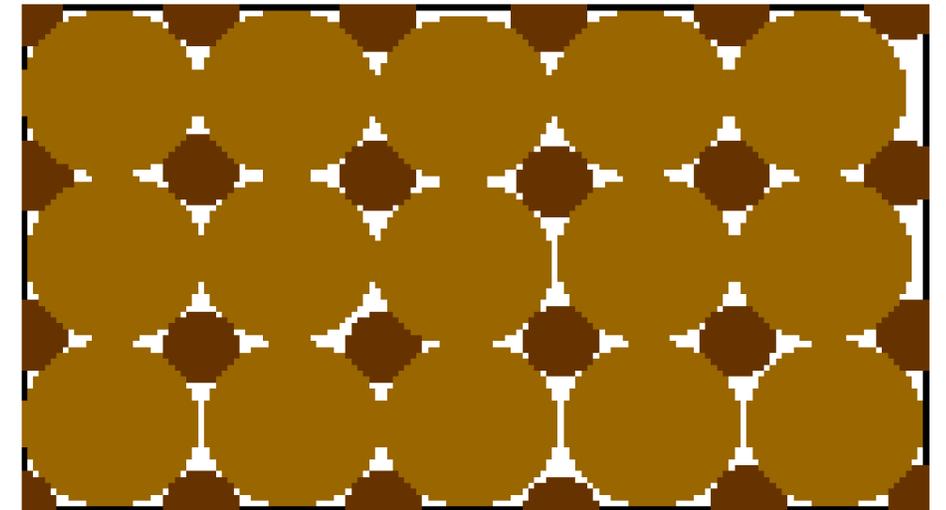


PSD monomodale d'une poudre d'inconel 718

REARRANGEMENT DES POUDRES



- Assure un lit de poudre qui donnera une bonne densification matière
- Bonne coulabilité à travers une buse



DISTRIBUTION DE TAILLE DE PARTICULES : TAMISEUSE

- ISO3310-1 et ISO3310-3 sur les tamis de contrôle
- ISO24497 : détermination de distribution granulométrique par tamisage à sec



Tamiseuse à vibrations AS200

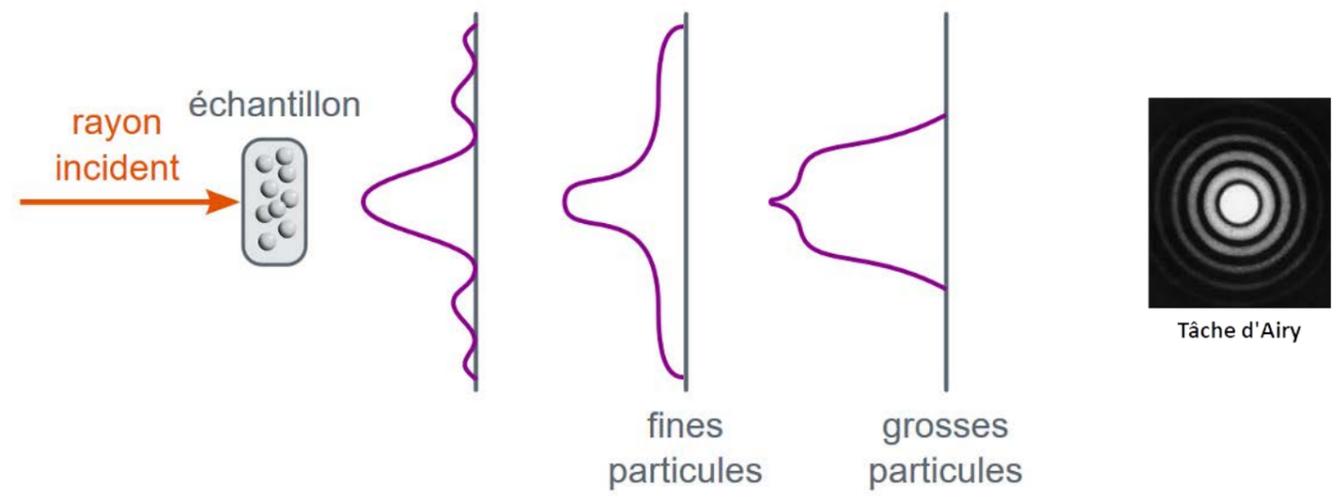


Tamiseuse à jet d'air AS200 jet



Tamiseuse à impulsions AS200 tap

DISTRIBUTION DE TAILLE DE PARTICULES : GRANULOMETRE A DIFFRACTION LASER



Taille de la figure de diffraction dépend du diamètre moyen des particules à analyser

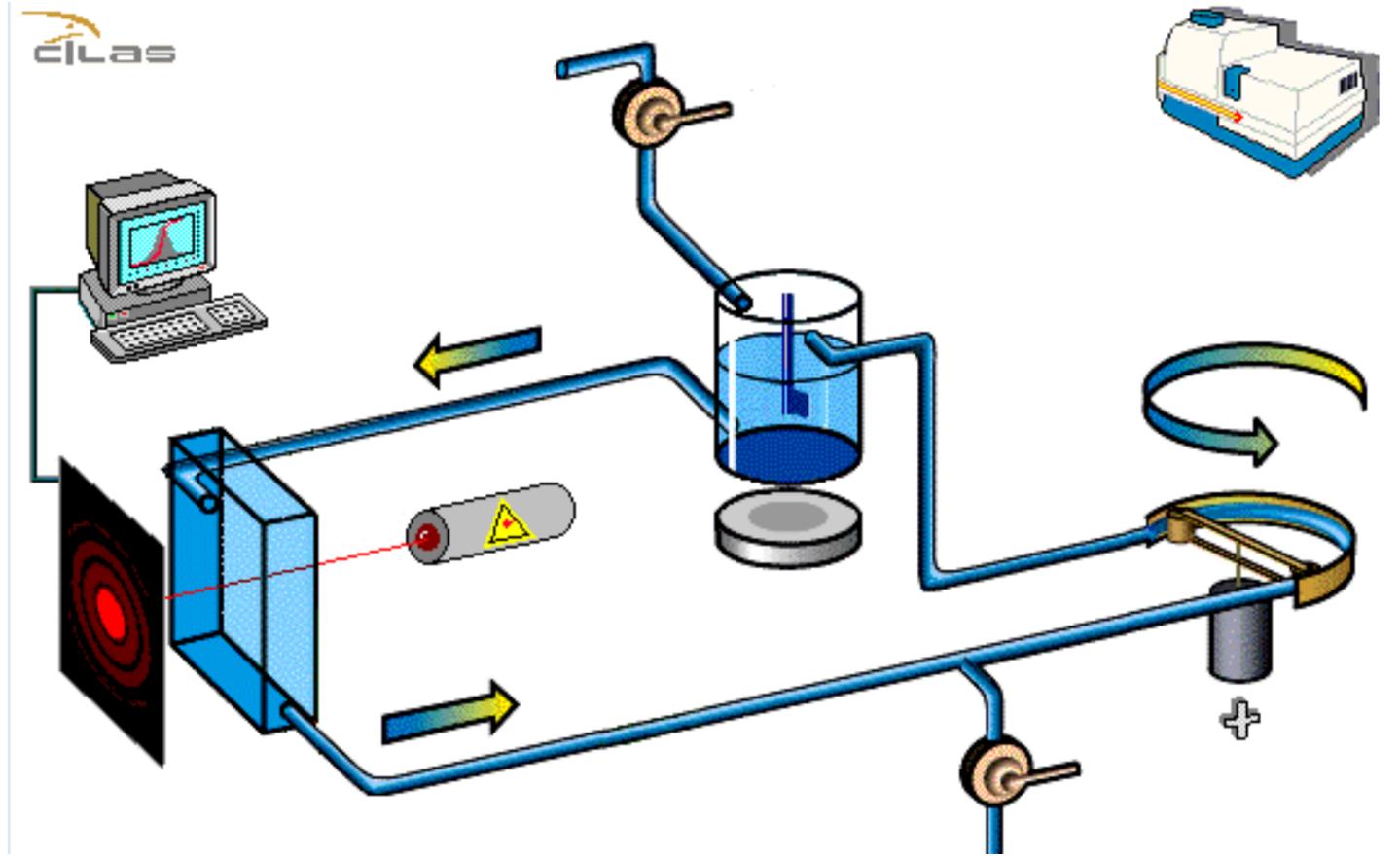
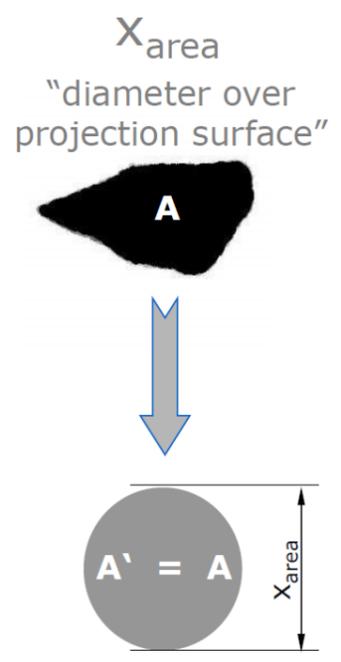
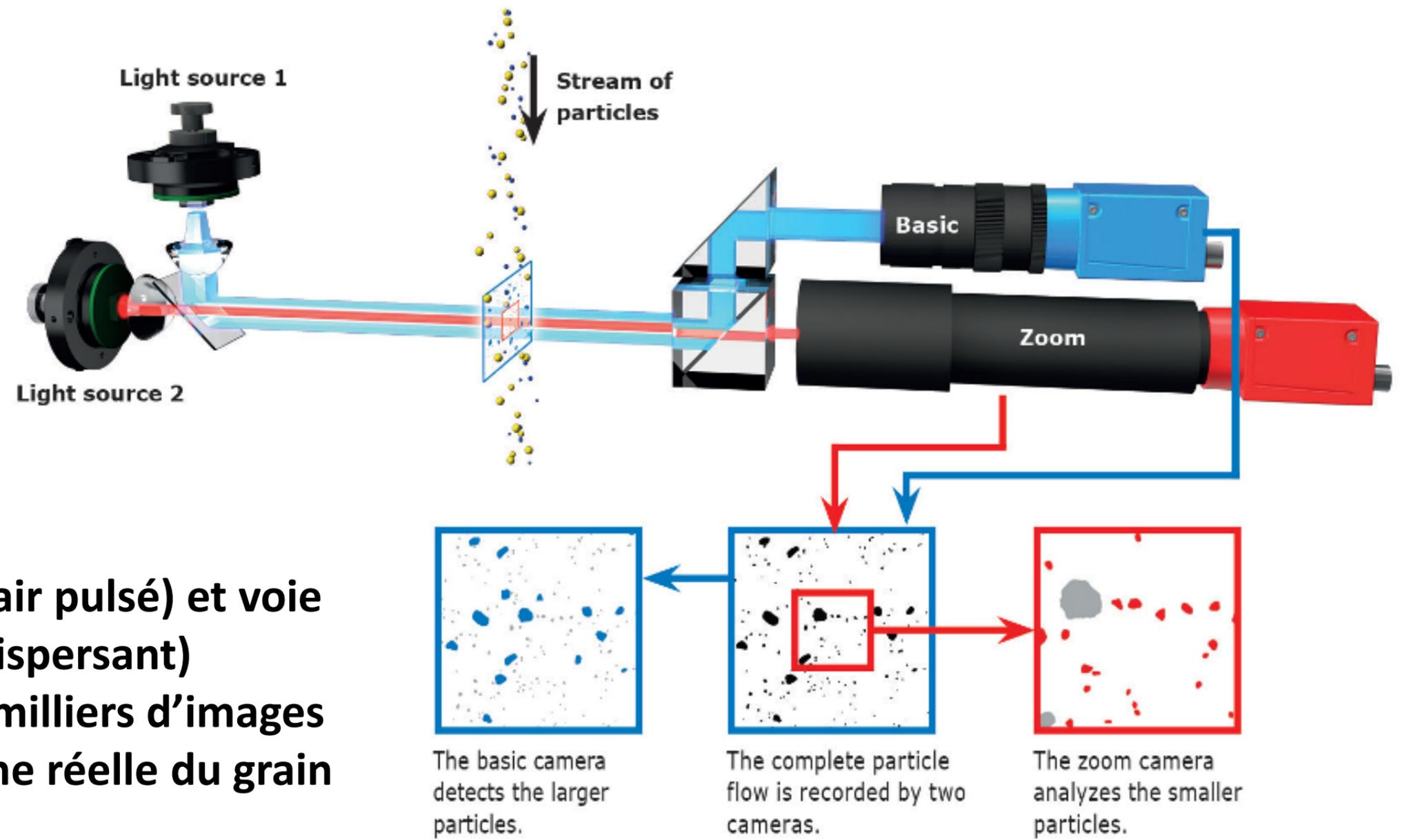


Schéma de principe d'un granulomètre à voir liquide (CILAS 920)
Gamme de mesure (300nm à 400µm)

- 2 versions : voir sèche (air pulsé) et voie liquide (liquide dispersant)
- Appareil sensible uniquement au diamètre équivalent de la particule

DISTRIBUTION DE TAILLE DE PARTICULES : LE MORPHOGRANULOMETRE



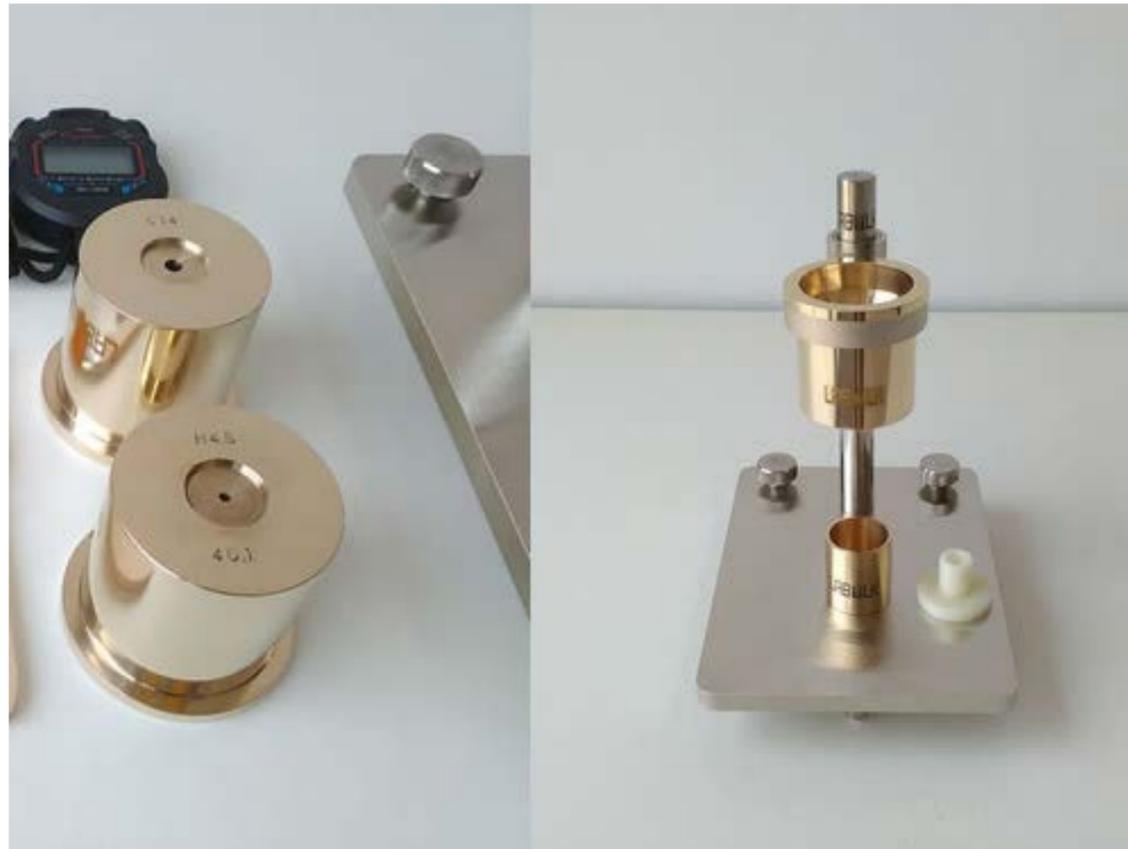
- 2 versions : voir sèche (air pulsé) et voie liquide (liquide dispersant)
- Analyse dynamique de milliers d'images
- Prend en compte la forme réelle du grain

Schéma de principe d'un morphoanalyser à voir sèche (CAMSIZER x2)
Gamme de mesure (800nm à 800mm)

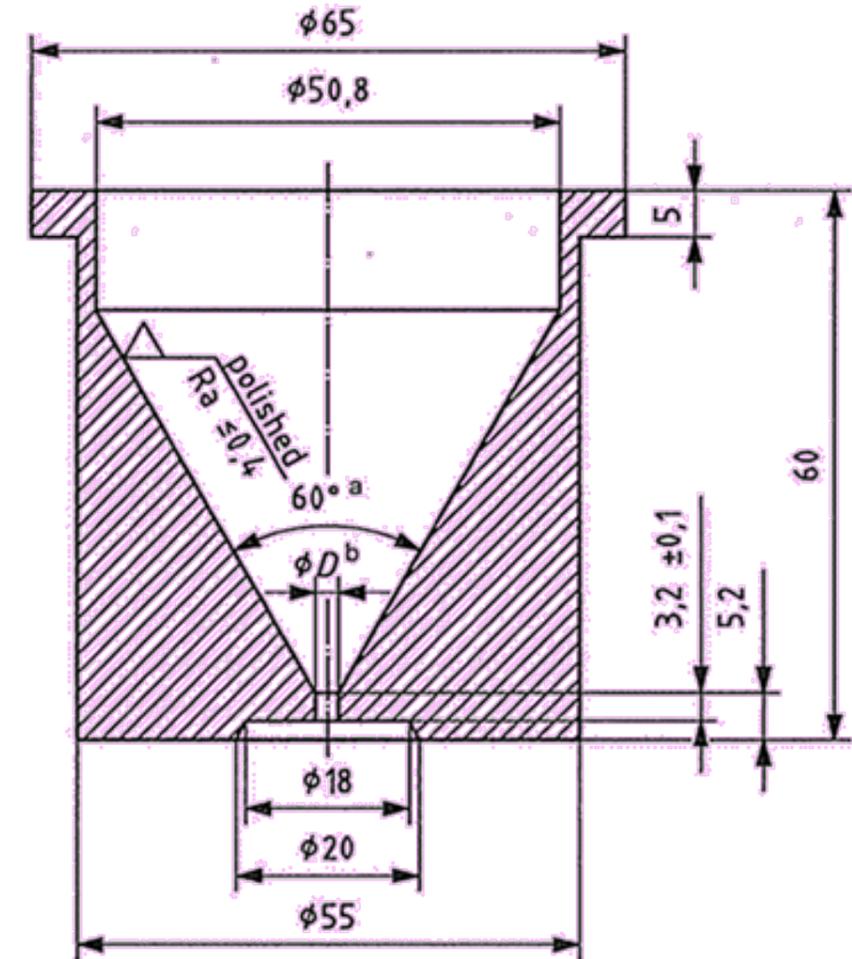
PROPRIETES PHYSIQUES DE LA POUDRE

DETERMINATION DU TEMPS D'ÉCOULEMENT

- Norme ISO4490 : Utilisation de l'appareil de Hall (Angle de 60°)



Entonnoir d'orifice $D = 2,5\text{mm}$
Un tapotage d'amorce possible



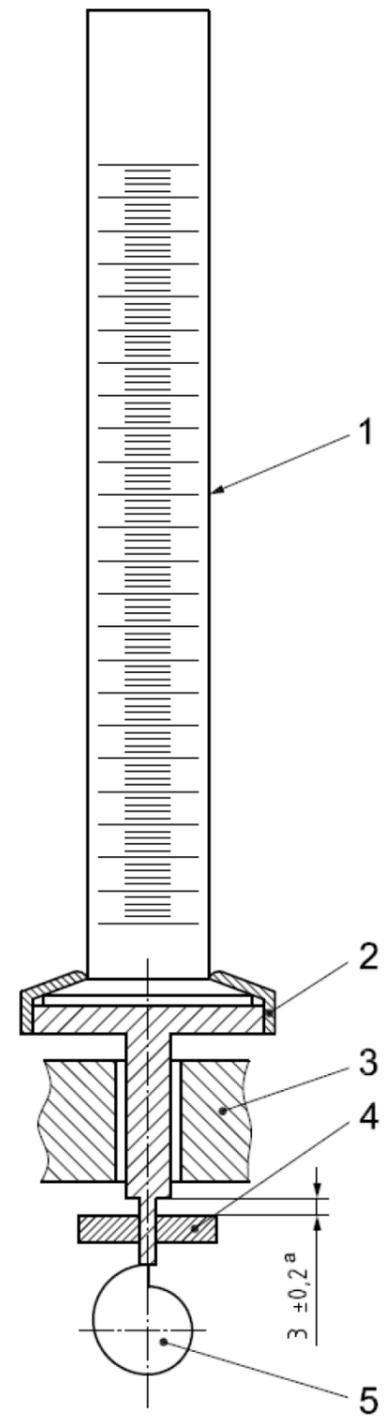
- Norme ISO13571 : Utilisation d'un cône d'écoulement de Gustavsson (Angle de 30°)

PROPRIETES PHYSIQUES DE LA POUDRE

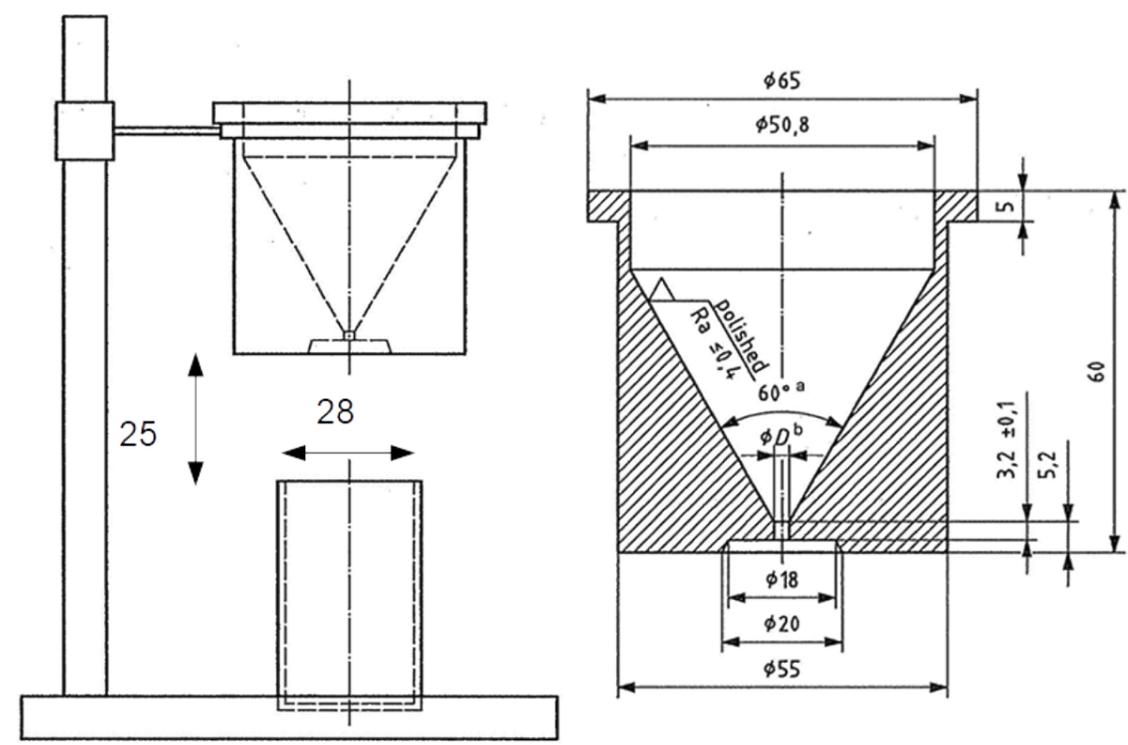
VOLUMES DE TASSEMENT ET APPARENT

● Norme ISO3953 : Détermination de la masse volumique après tassement

- Légende
- 1 cylindre gradué
 - 2 support et tige guide
 - 3 manchon
 - 4 enclume (acier)
 - 5 came
- a Hauteur de chute.



● Norme ISO3923-1 : Détermination de la masse volumique apparente

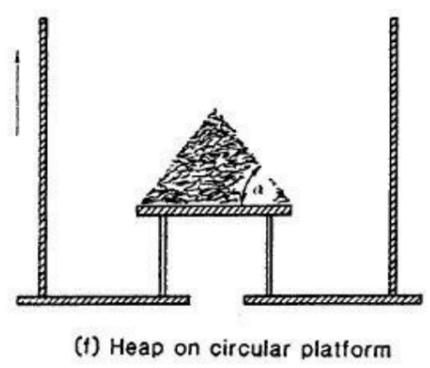
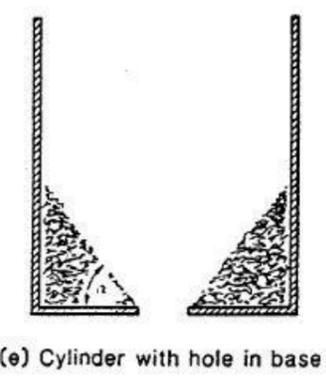
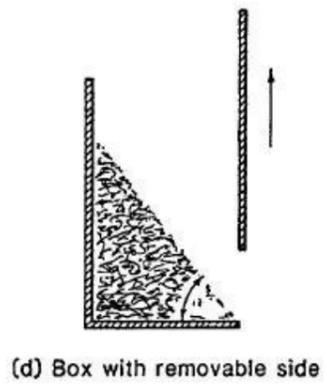
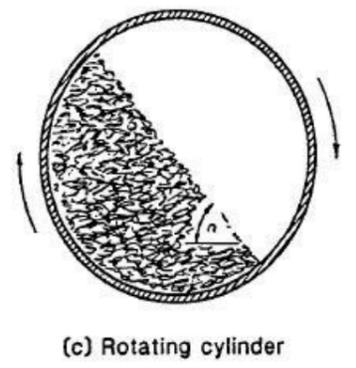
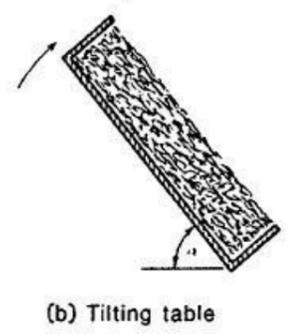
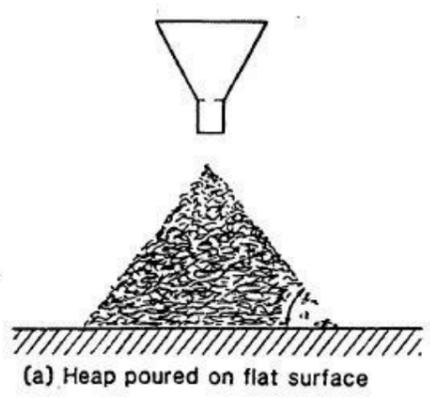
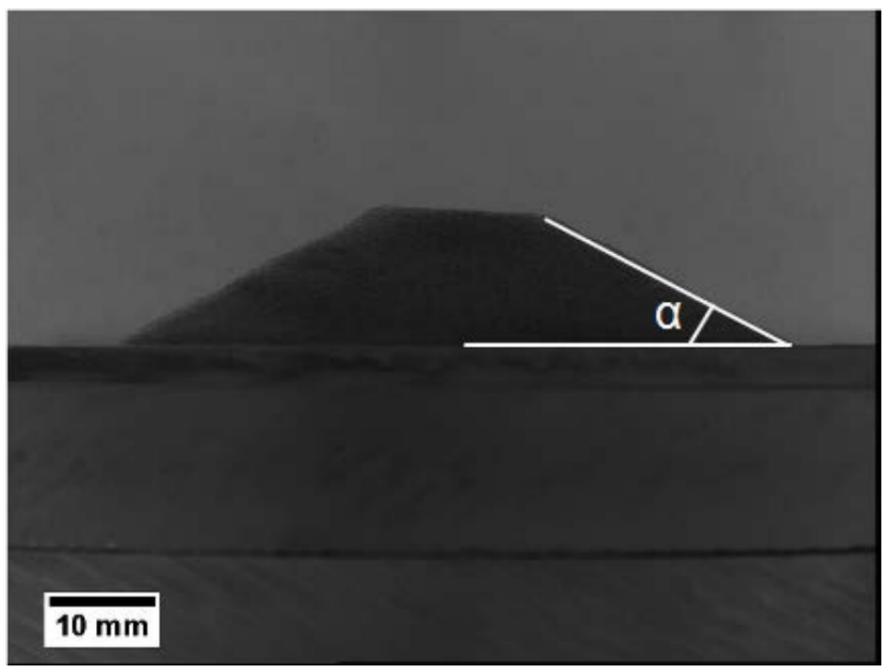
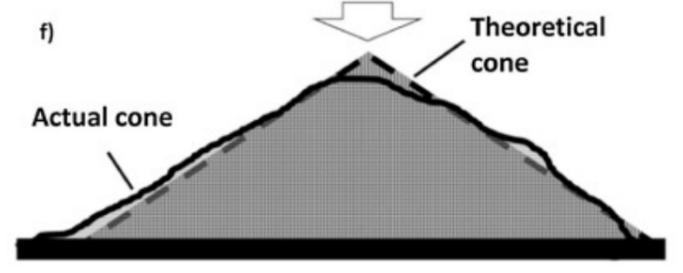
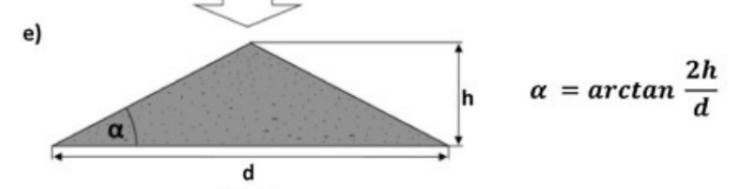
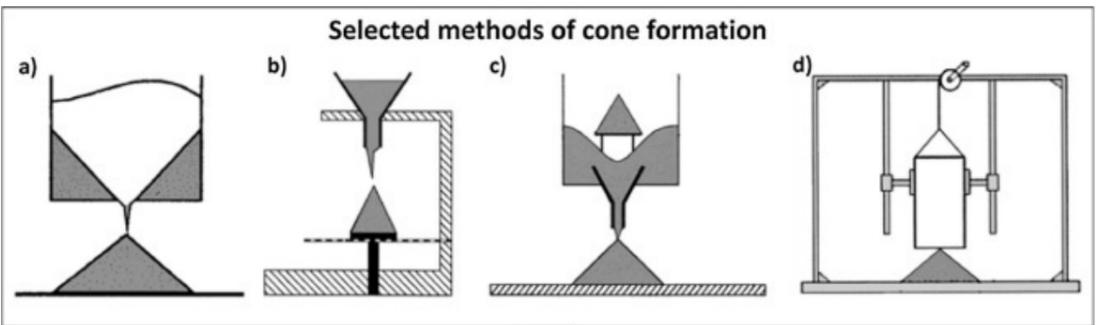


Entonnoir d'orifice $D = 2,5\text{mm}$
ou $D = 5\text{mm}$ (FA)

Source : Norme ISO

PROPRIETES PHYSIQUES DE LA POUDRE

ANGLE DE REPOS



Propriété de fluidité	Angle de repos (°)
Excellent	25-30
Bonne	31-35
Juste - Pas besoin d'aide	33-40
Passable - Peut s'accorcher	41-45
Médiocre - Doit être agité	46-55
Très médiocre	56-65
Très très médiocre	> 66

DOCUMENTS FOURNIS AVEC UN LOT DE POUDRE

- **Certificat d'analyse du lot (Norme XF E67-010)**
 - Coordonnées du fournisseur
 - Lot de poudre
 - Nature de la poudre (dénomination normalisée/commerciale ou courante)
 - Composition chimique (teneur nominale et tolérances acceptées) en %wt
 - Méthode d'essai de détermination de composition chimique
 - Température de fusion
 - PSD : D_{10} , D_{50} , D_{90}
 - Nature du gaz protecteur (si \neq de l'air ou mise sous vide)

Données ci-dessous fournies après accord client/fournisseur

- *Forme des particules de poudres*
- *Porosité intraparticulaire (gaz occlus)*
- *Teneur en particules de poudre en dehors des plages spécifiées*
- *Aptitude à l'écoulement*
- *Masses volumiques apparente et après tassement*

- **Fiche de sécurité (FDS)**

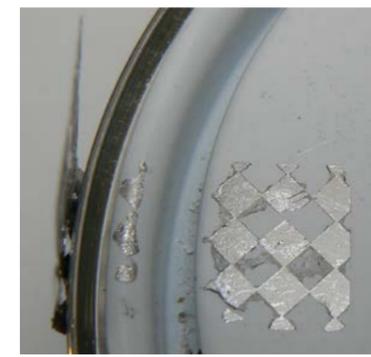
https://fr.wikipedia.org/wiki/Système_général_harmonisé_de_classification_et_d'étiquetage_des_produits_chimiques

P.45

CONDITIONNEMENT : EXEMPLES DE CONTENANTS < 20kg



Scellé plastique



Adhésif avec marqueurs



Opercule



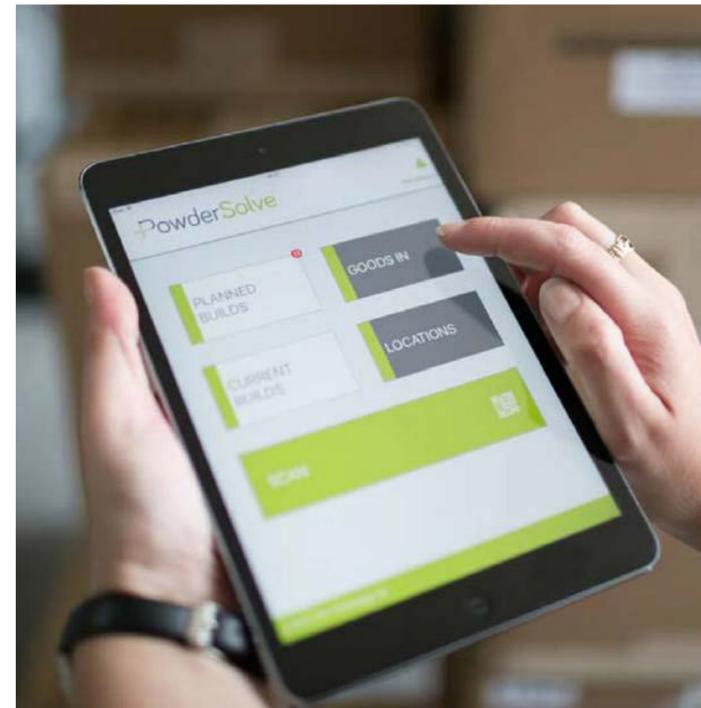
Anneau

CONDITIONNEMENT : EXEMPLES DE CONTENANTS > 100kg



PowderTrace de LPW Technology

Conteneur instrumenté (capteurs d'oxygène, d'humidité, pression, masse) avec accès aux données sans fil
→ Assure une bonne traçabilité de la poudre



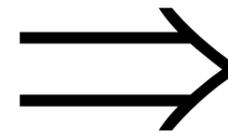
PowderSolve de LPW Technology

RECYCLAGE DES POUDRES EN SLM (1) : RECUPERATION DE LA POUDRE NON UTILISEE

- **Eviter la pollution à l'oxygène
(surtout pour les matériaux réactifs)**



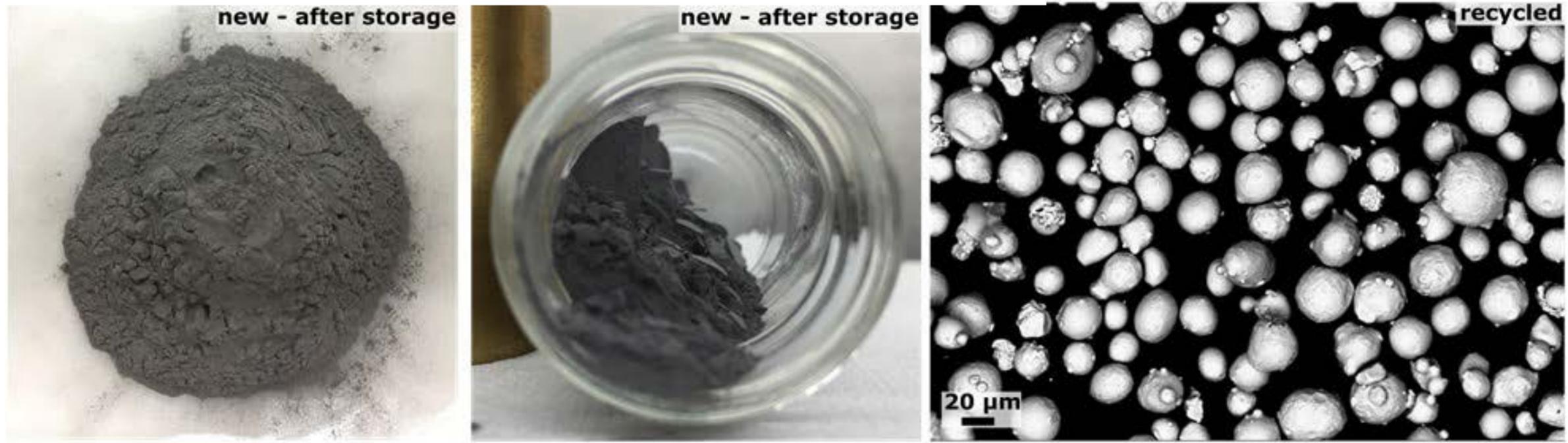
+ de 80% de poudre à
récupérer



- **Opération de dépoussiérage avec machine fermée (pas toujours évident)**
- **Récupération de la poudre dans les réservoirs inférieurs de la machine**

P.48

RECYCLAGE DES POUDRES EN SLM (2) MAUVAIS STOCKAGE



Poudre de TA6V après un mauvais stockage (insertion d'oxygène)

- Présence de paquets
- Variation de couleurs sur images MEB (oxydation)

RECYCLAGE DES POUDRES EN SLM (2) : TAMISAGE ET REMPLISSAGE

● Manuel (petites installations)

- Utilisation d'une boîte à gants inertée (idéal mais coûteux)
- Essayer de limiter les opérations de transvasement pour limiter le contact avec l'oxygène



Transvasement et remplissage
pour une petite machine



Boîte à gants GP Concept de Jacomex

● Automatique (grosses installations)

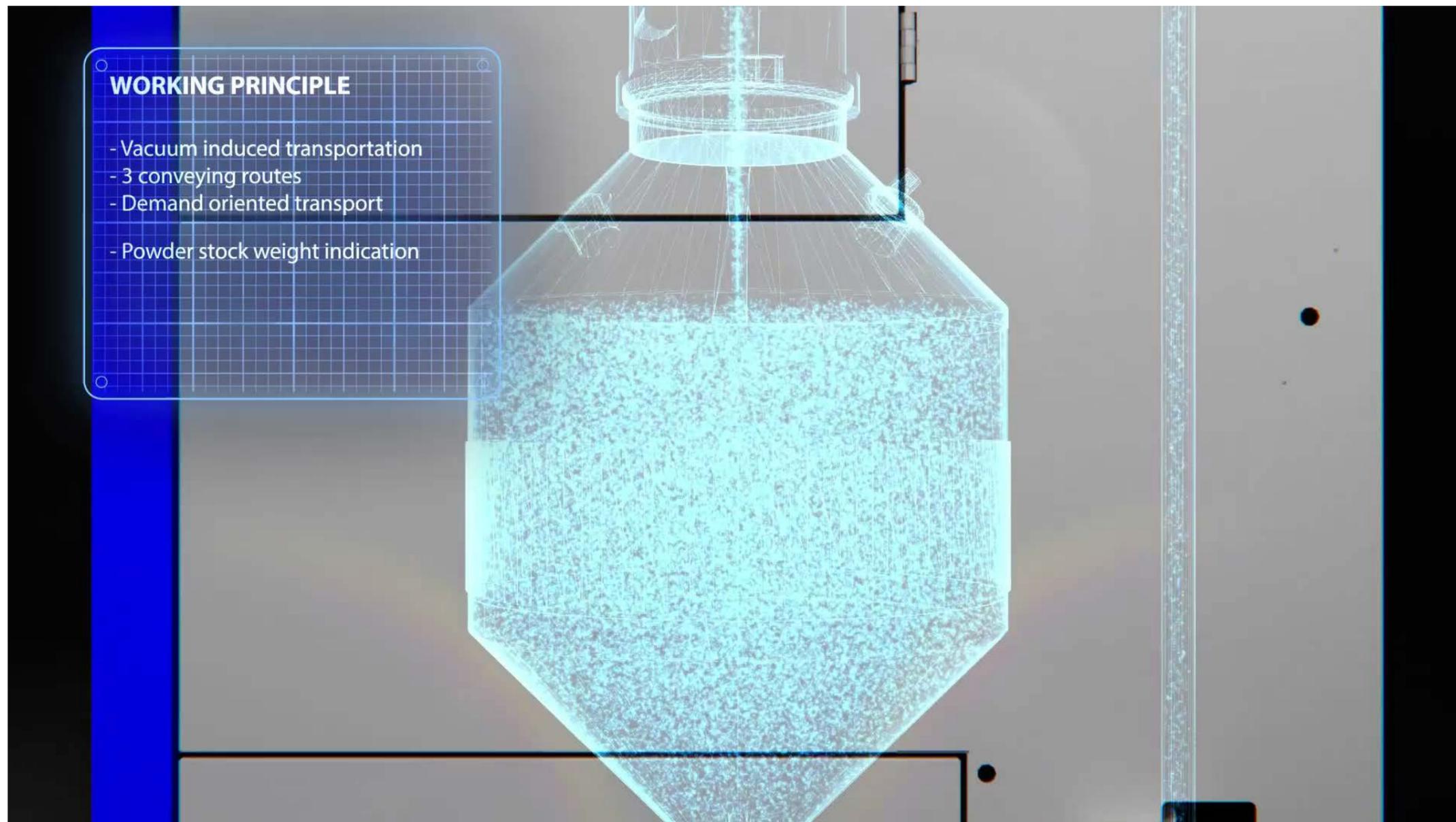
- Utilisation de dispositifs adaptés (la poudre ne voit pas l'oxygène ambiant)



3D-ReKlaimer de Kason

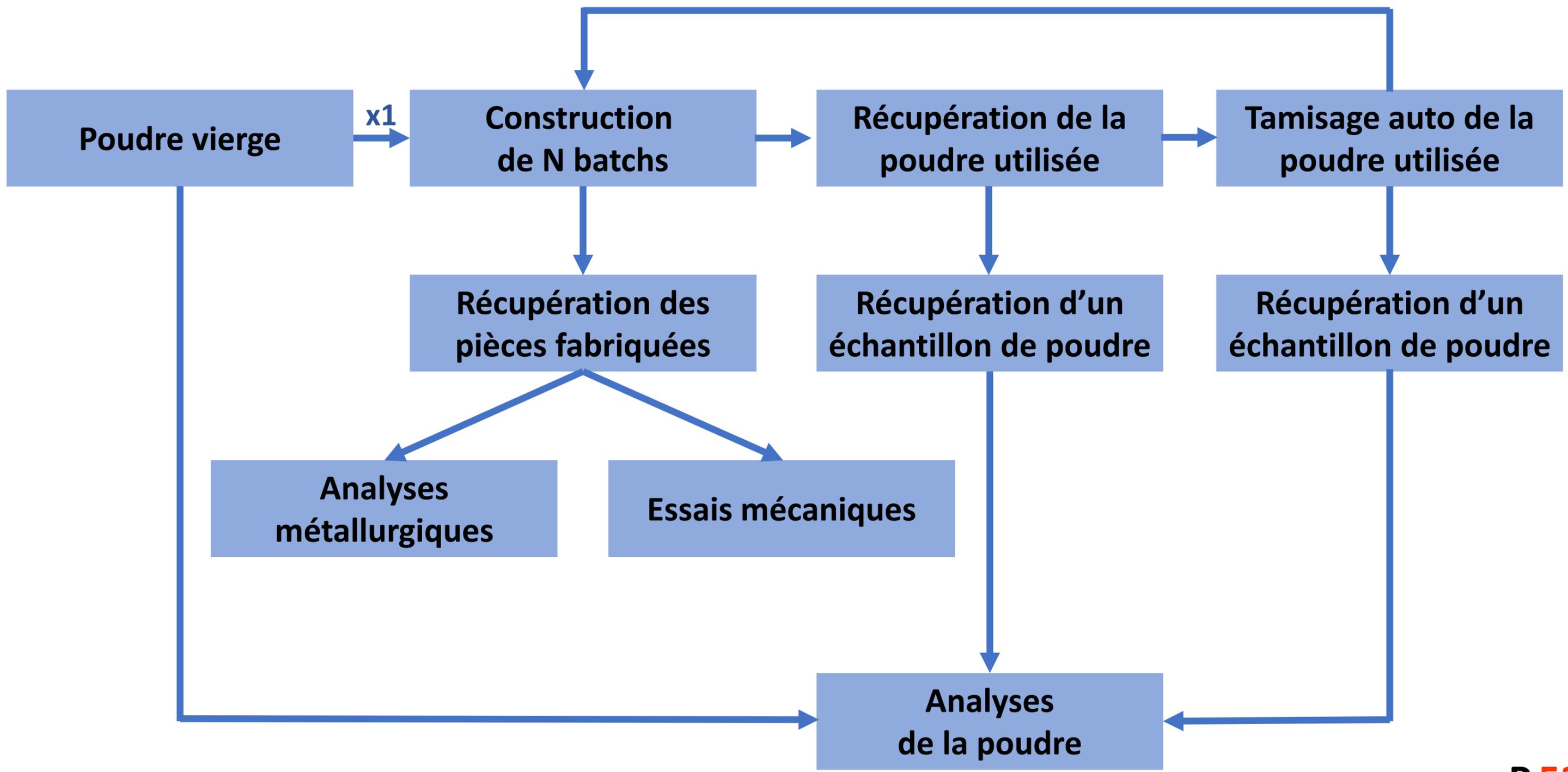
RECYCLAGE DES POUDRES EN SLM (3) : TAMISAGE ET REMPLISSAGE

● Automatique (installations industrielles)

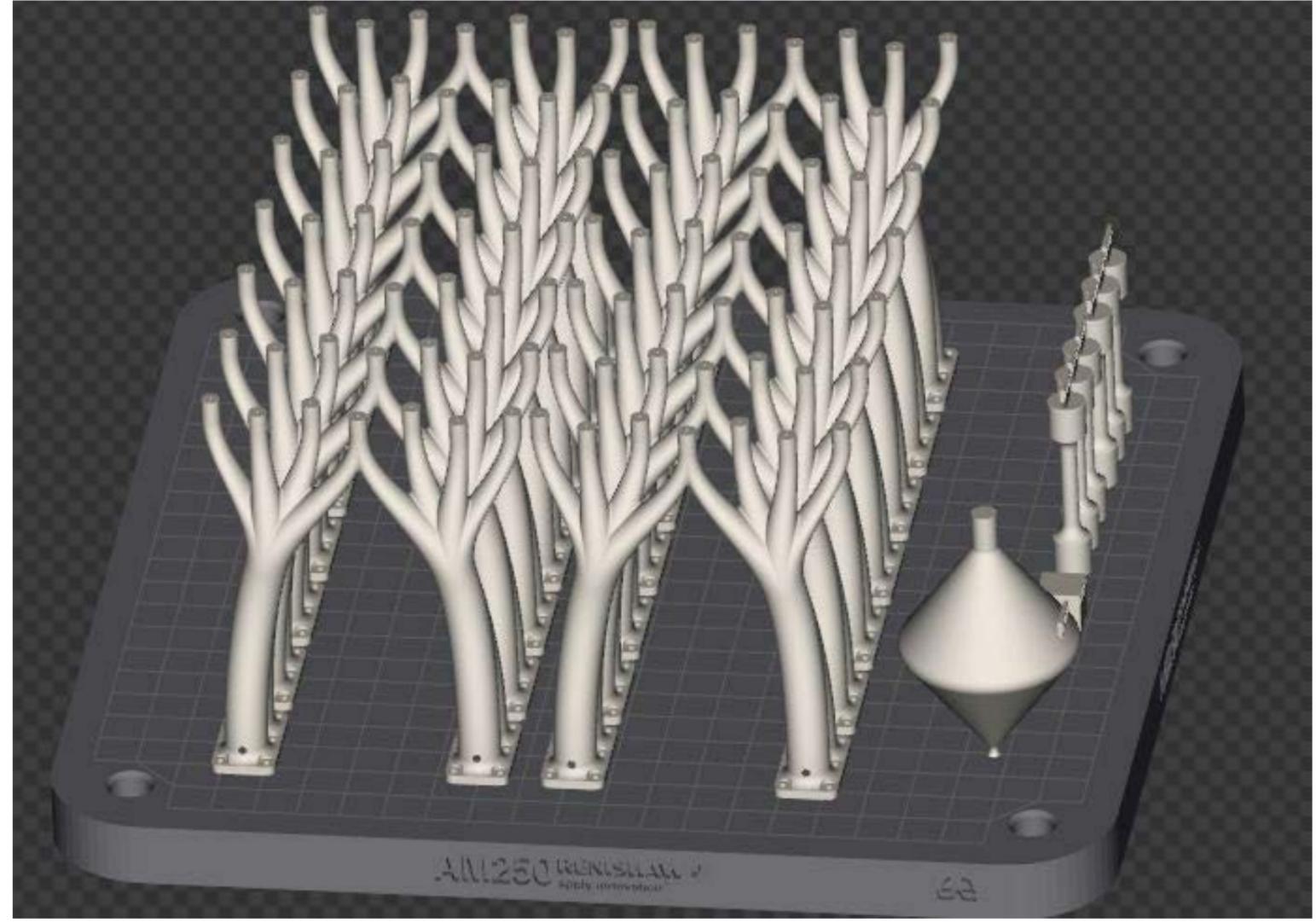


Powder Supply Unit PSV de SLM Solutions

REUTILISATION DES POUDRES RECYCLEES (1) : METHODOLOGIE DE VALIDATION



REUTILISATION DES POUDRES RECYCLEES (2) : METHODOLOGIE DE VALIDATION



Exemple de stratégie de construction



1



2



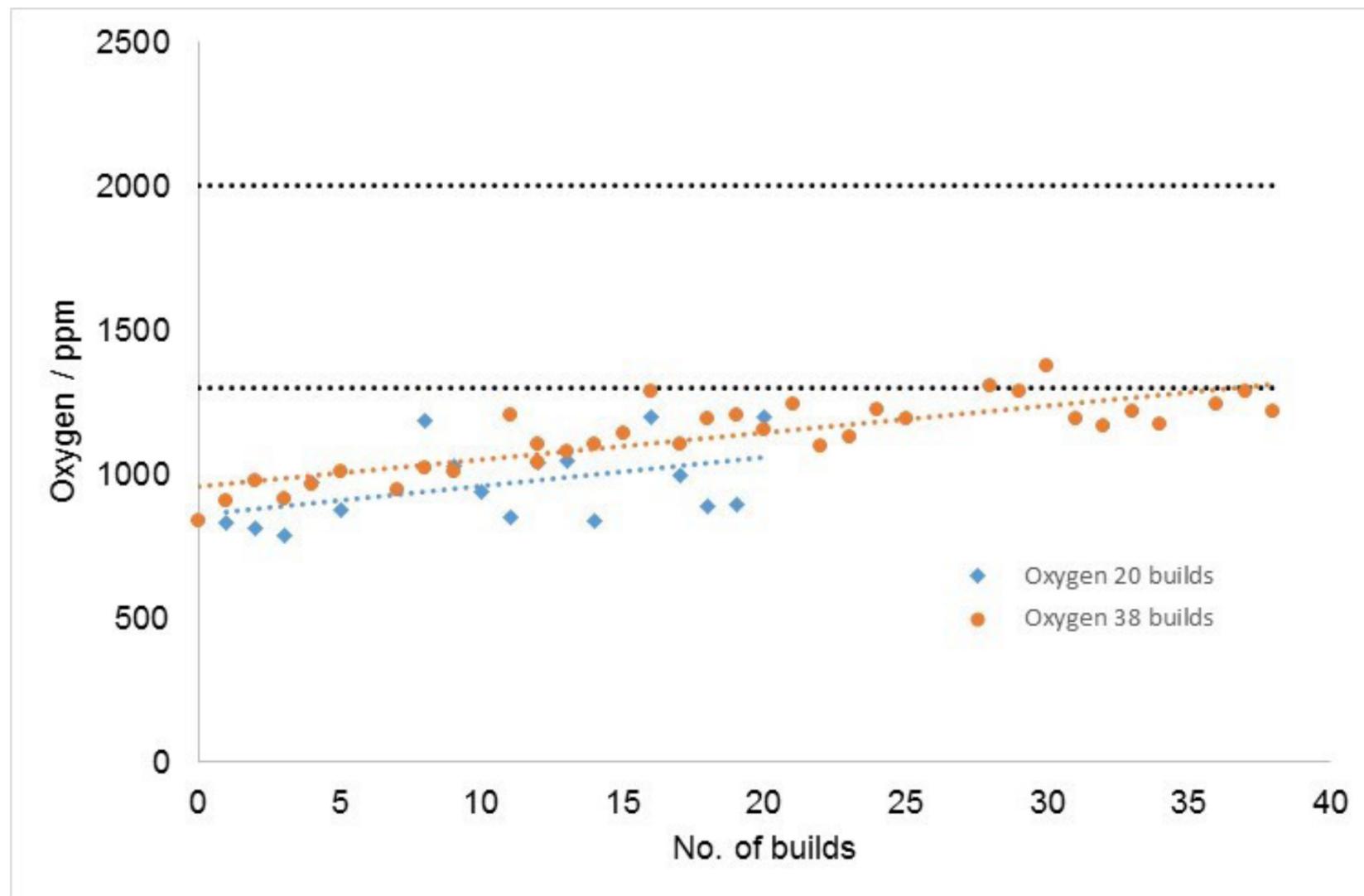
3

1. Eprouvette de traction
2. Bloc de vérification de densité
3. Capsule de poudre

REUTILISATION DES POUDRES RECYCLEES (3) : EXEMPLE SUR DU TA6V

	Element	%	
		Ti Grade 5	Ti Grade 23 (ELI)
Interstitial	Oxygen	0.20	0.13
	Nitrogen	0.05	0.03
	Carbon	0.08	0.08
	Hydrogen	0.0125	0.0125
Alloying	Aluminium	5.5-6.75	5.5-6.50
	Vanadium	3.5-4.5	3.5-4.5

Caractéristiques chimiques de la poudre



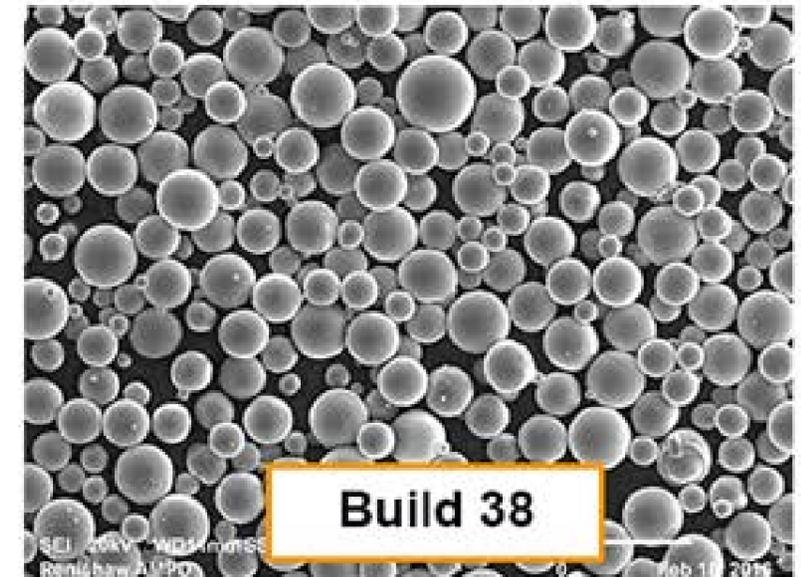
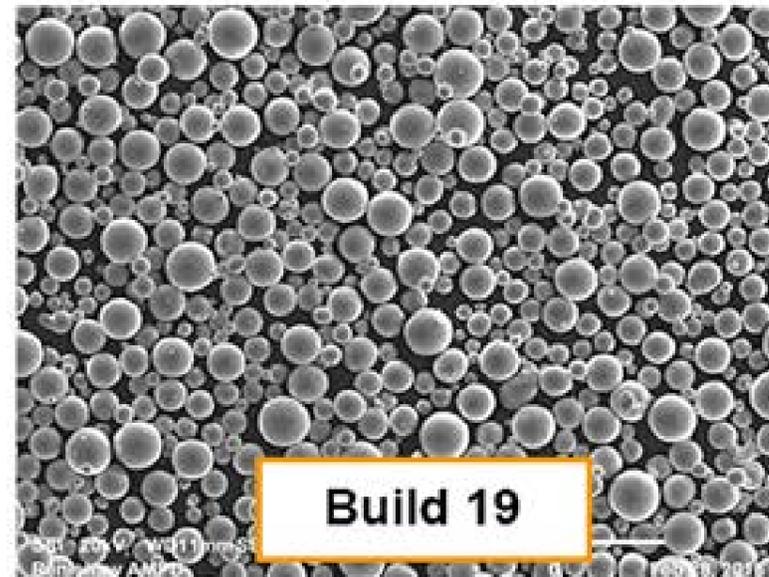
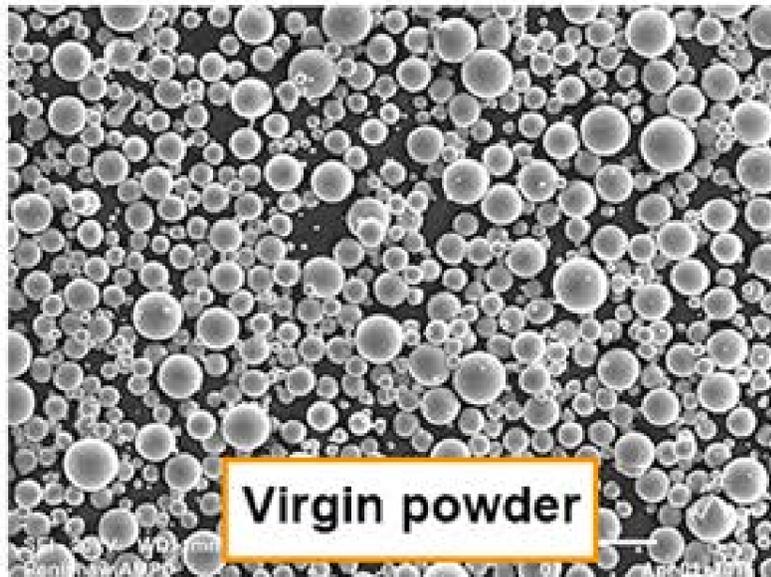
Variation du taux d'oxygène en fonction du nombre de construction

→ Pour le Ti Grade 23, il faut se limiter à 20 constructions maximum

(4 en laboratoire d'après la littérature, conditions de recyclage ?)

Source : RENISHAW

REUTILISATION DES POUDRES RECYCLEES (4) : EXEMPLE SUR DU TA6V



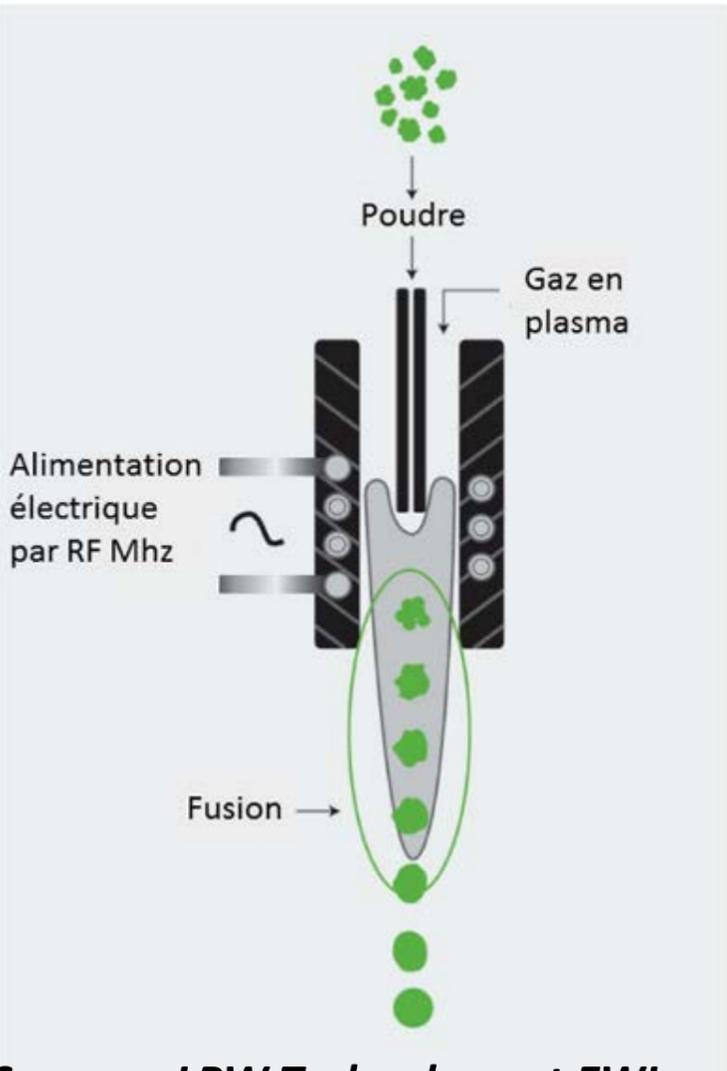
- Disparition des petites particules (agglomérées aux grosses particules et retirées par le tamisage)
 - diminution de la densité de tassement
 - augmentation de la fluidité de la poudre
- Pas d'information sur l'évolution de la densité des pièces à chaque construction

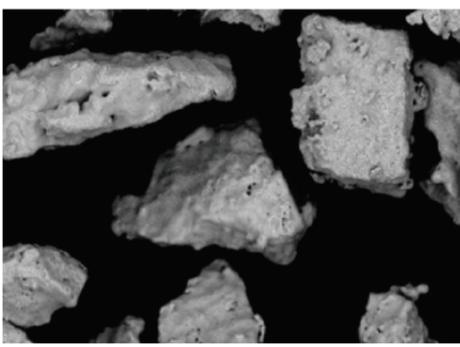
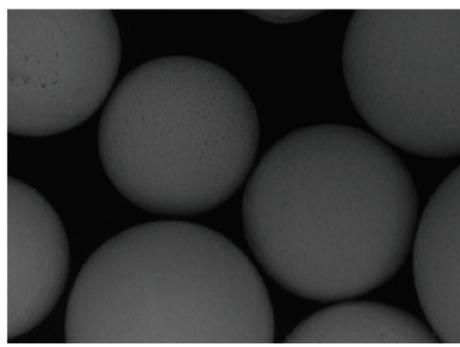
Stratégie pour ramener des petites particules et faire diminuer le taux d'oxygène :
Mélanger de la poudre vierge à de la poudre utilisée à hauteur de 75-25%

AMELIORATION DES PROPRIETES PHYSIQUES DES POUDRES

● Poudre traitée par sphéroïdisation par plasma

- Densité améliorée
- Hautement sphérique
- Contamination de surface réduite (vaporisation des impuretés)
- Reconditionnement possible si utilisées plusieurs fois dans les machines de FA



	Before Plasma Treatment	After Plasma Treatment
Product	Ti-64 feedstock (HDH and mechanically crushed)	Ti-64 spherical
Particle Size, μm	45-105 μm	45-105 μm
Hall Flow rate, sec/50g	47.31	22.3
App. Density, g/cc	N/A	2.6
Tap Density, g/cc	2.2	3.0
Shape analysis	Circularity: D10: 0.556, D50: 0.774, D90: 0.937 Elongation: D10: 0.083, D50: 0.260, D90: 0.428	Circularity: D10: 0.81, D50: 0.989, D90: 0.995 Elongation: D10: 0.008, D50: 0.044, D90: 0.366
Morphology SEM - x1000 mag		

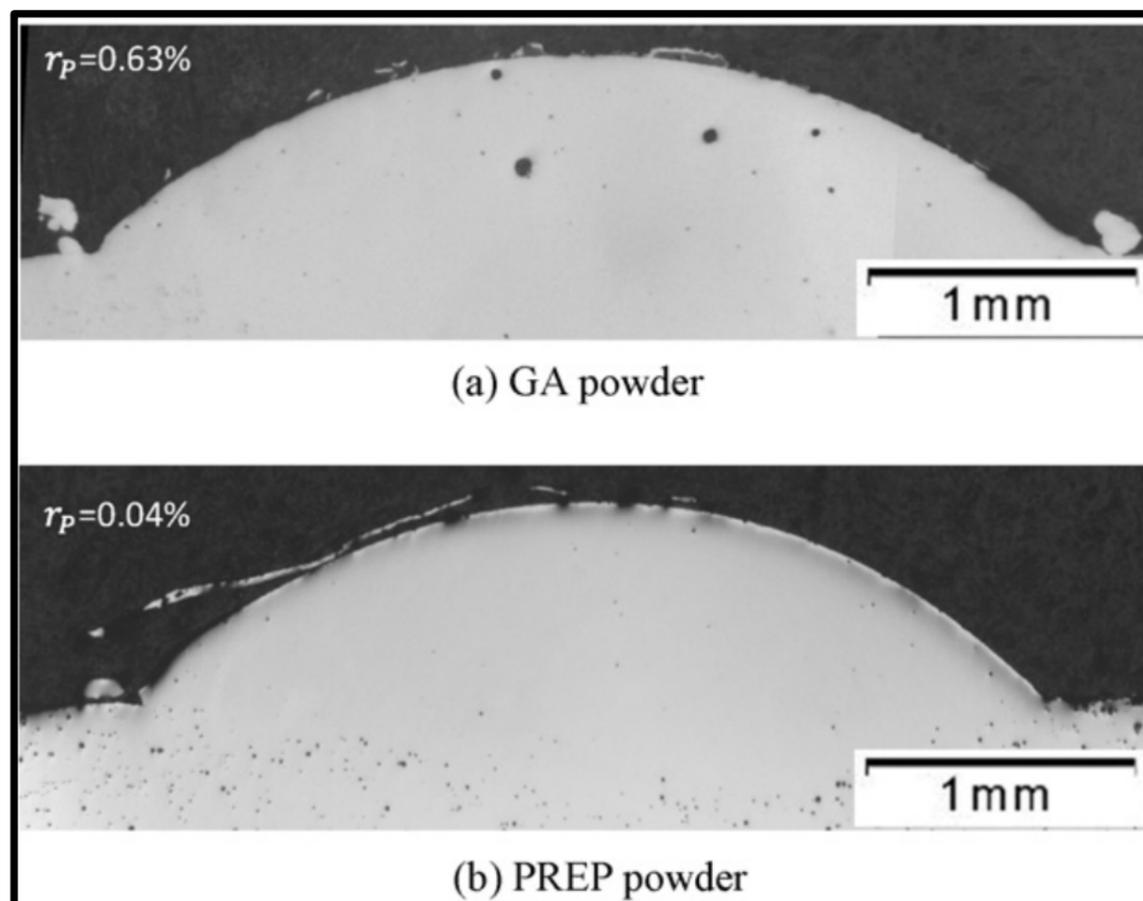
Poudre de Ti6Al4V avant et après sphéroïdisation



Système de sphéroïdisation
TekSphero-15 de Tekna

Source : LPW Technology et EWI

MERCI !



Dépôts isoparamètres process d'inconel 718 en LMD
Avec des poudres en atomisation gaz et PREP

Source : C. ZHONG, *Materials & Design* 107 (2016)

pimm.ensam.eu