

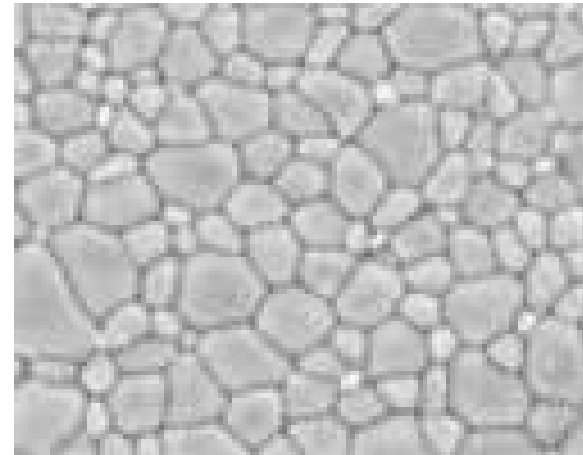
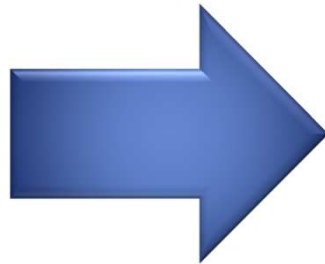
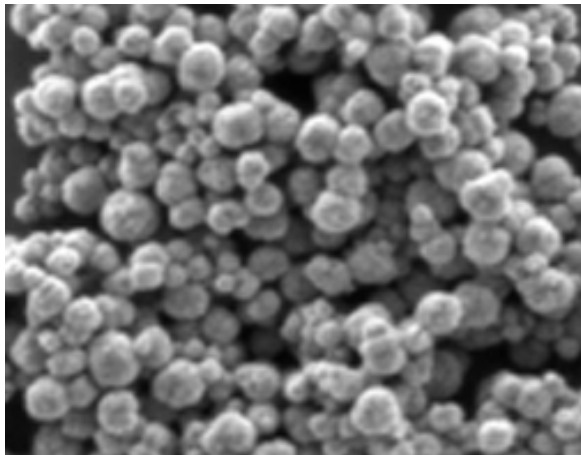
# « Evolution technologique du frittage »

Maryse DEMUYNCK - CRIBC, Mons (Belgique)



## Frittage ?

- passage d'un compact pulvérulent à un matériau cohérent sous l'action de la chaleur.
- Processus de densification (élimination de la porosité initiale)



- Processus thermique à une température inférieure à la température de fusion (si fusion : fusion très localisée → maintien cohérence de la pièce)
- Processus conservant (idéalement) la forme de l'objet mais s'accompagnant (en général) d'une modification des dimensions

# Frittage naturel

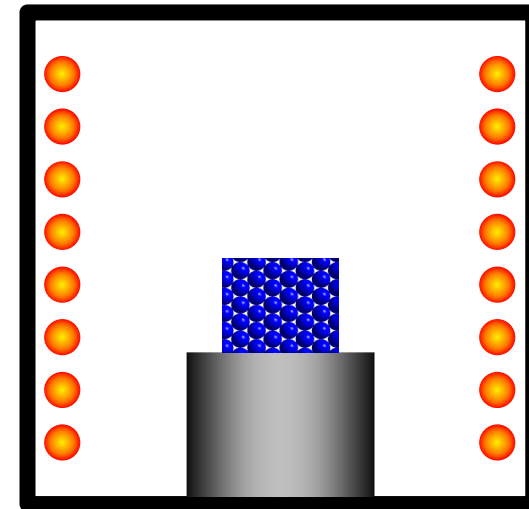
La pièce à densifier / à fritter est placée dans un four « conventionnel »

## Avantages

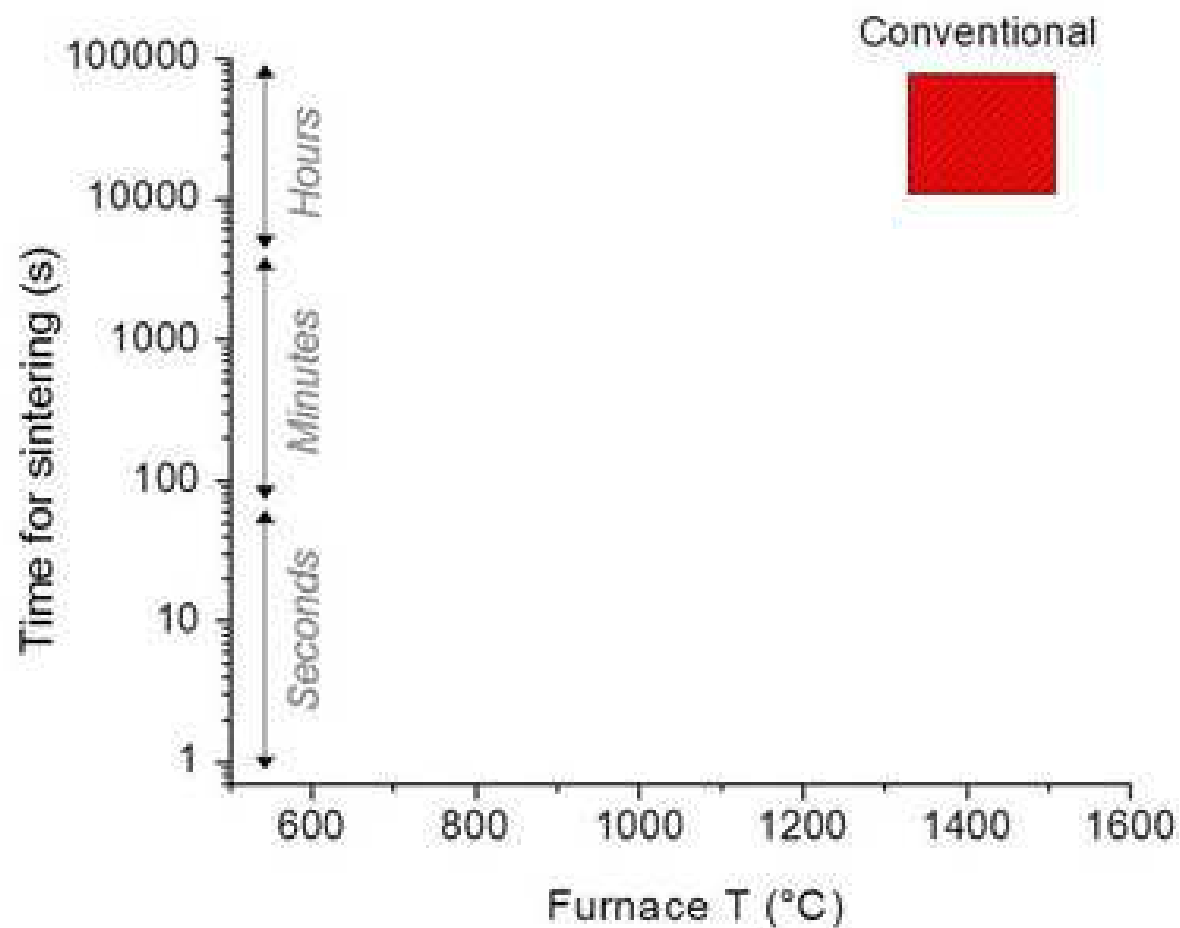
- Procédé économique
- Procédé batch ou continu (fours tunnels)
- Atmosphère contrôlée ou non
- Pièces simples et complexes

## Inconvénients

- Relativement long (plusieurs heures)
- Porosité résiduelle possible
- Efficacité (très) limitée pour certains matériaux

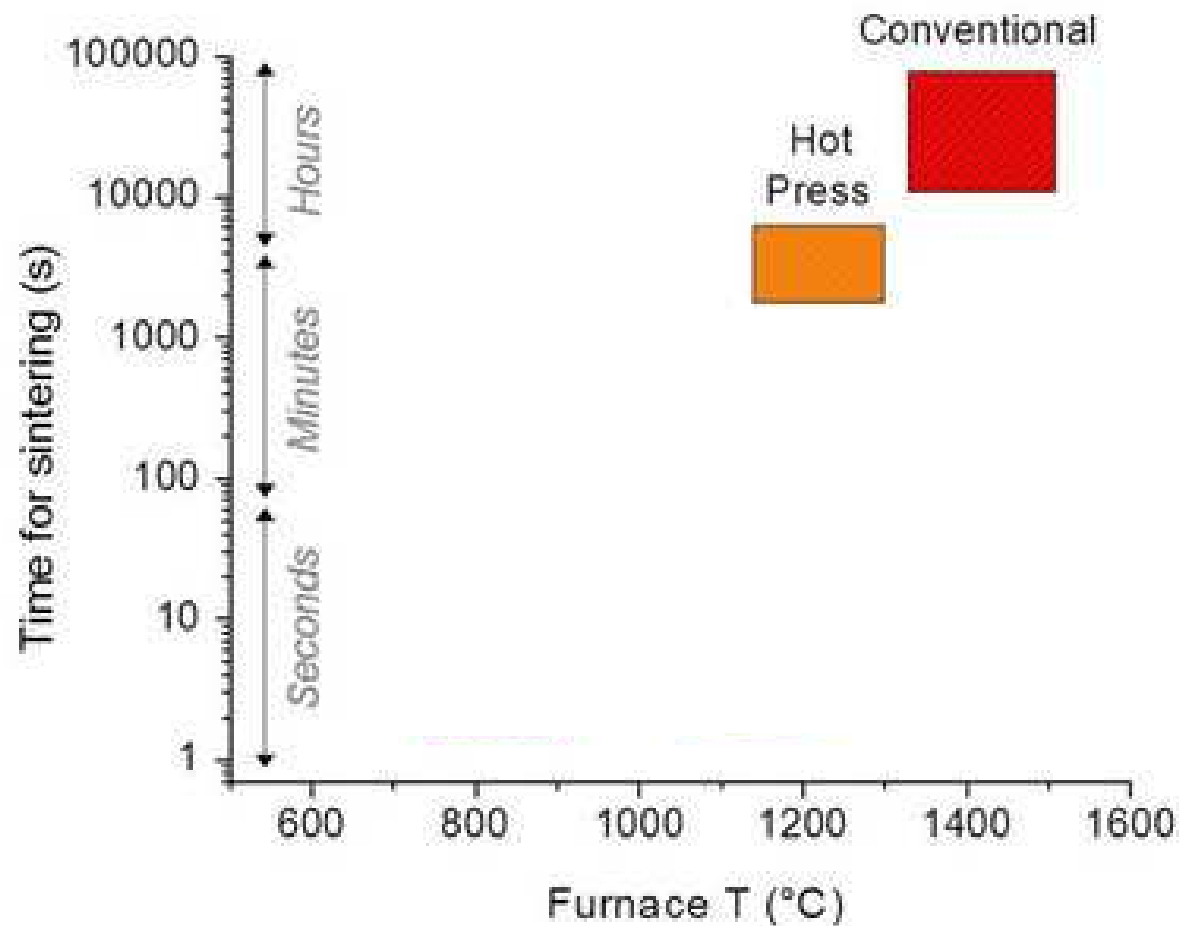


# Frittage naturel



# Frittage assisté mécaniquement

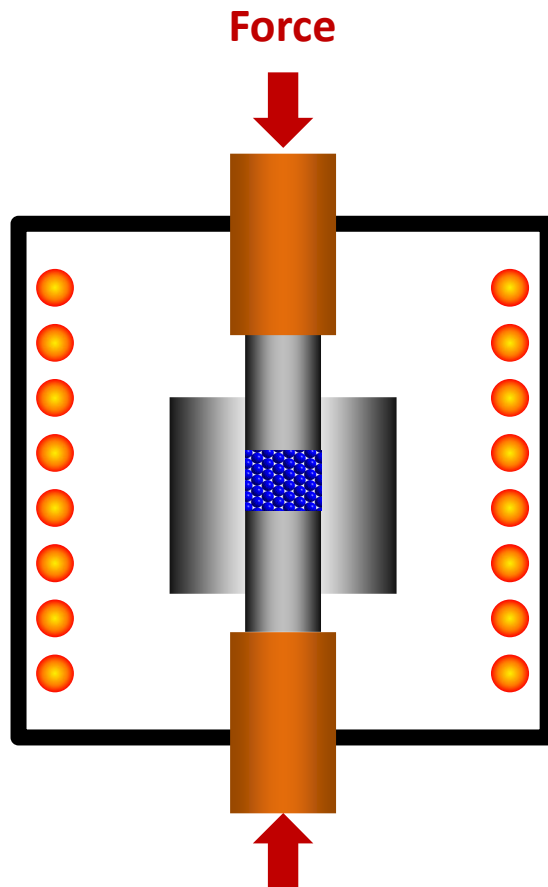
Gain d'énergie via application d'une charge



# Frittage assisté mécaniquement

En pratique: l'application d'une contrainte peut se faire

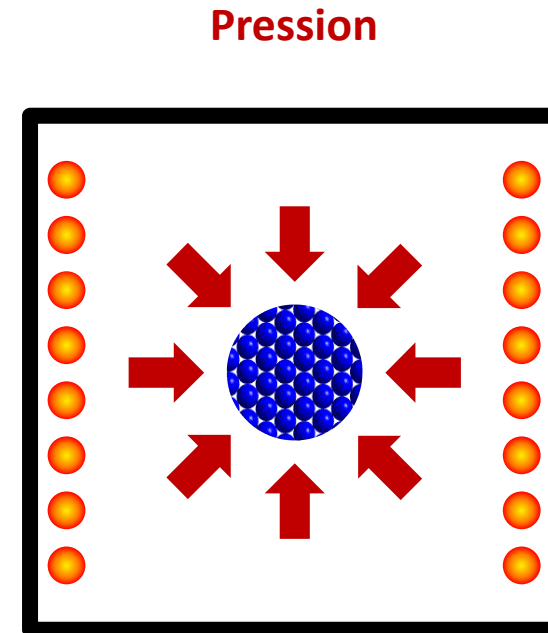
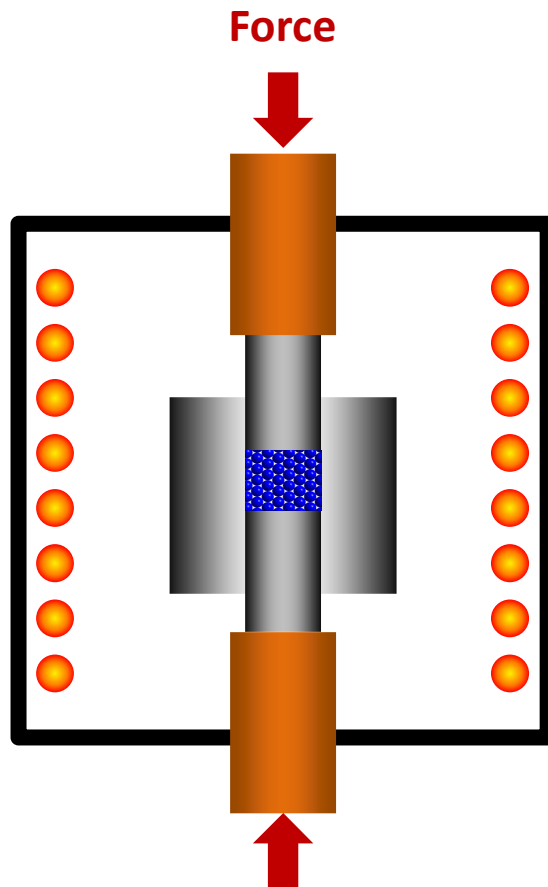
- Uniaxialement  
→ Presse à chaud (HP)



# Frittage assisté mécaniquement

En pratique: l'application d'une contrainte peut se faire

- Uniaxialement  
→ Presse à chaud (HP)
- Isostatiquement  
→ Presse isostatique à chaud (HIP)



# Frittage assisté mécaniquement

## Avantages

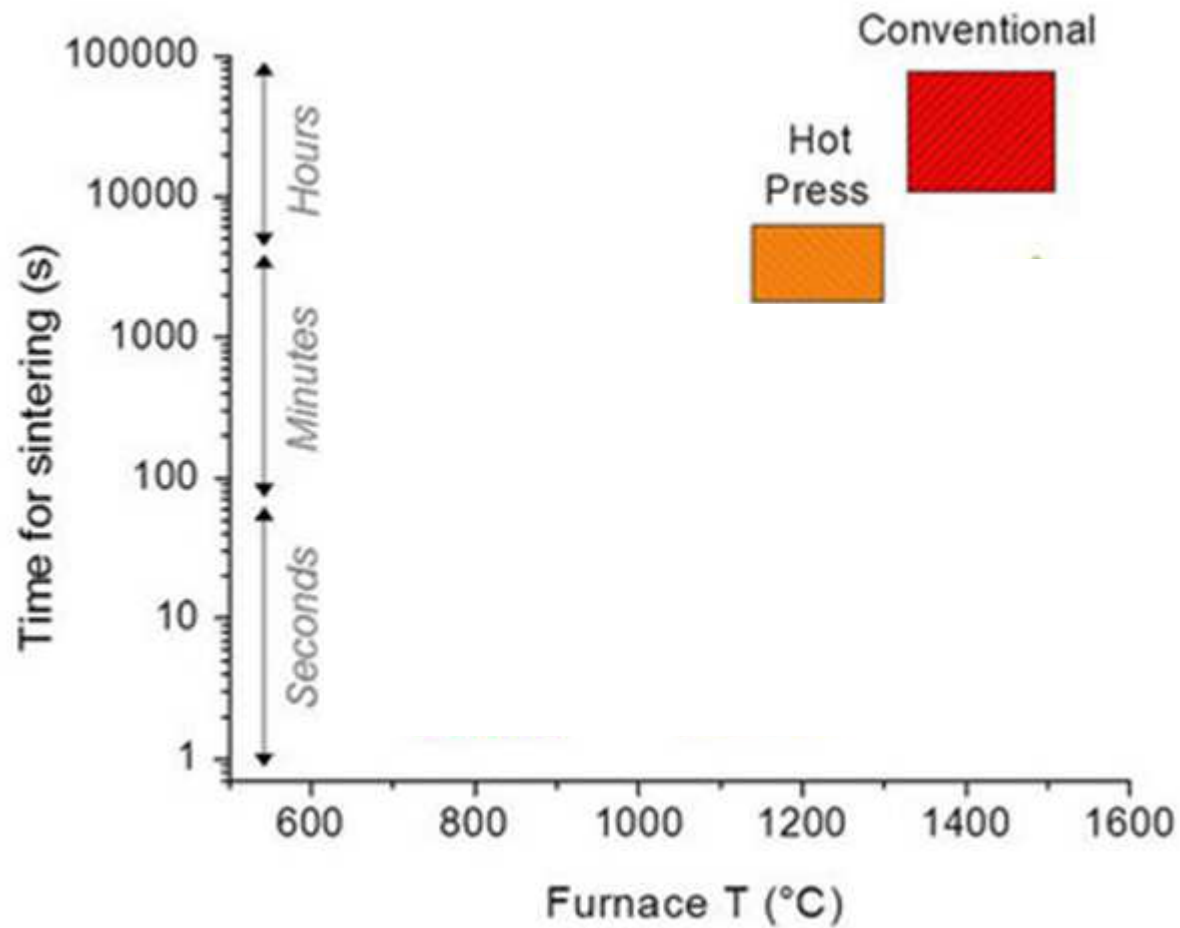
- Réduction de la durée de cycle (quelques heures)
- Diminution des températures
- Elimination (totale) de la porosité
- Elargissement de la palette de matériaux

## Inconvénients

- Procédés batch
- Limitations géométriques (HP)
- Etapes complémentaires (encapsulation dans le cas du HIP)

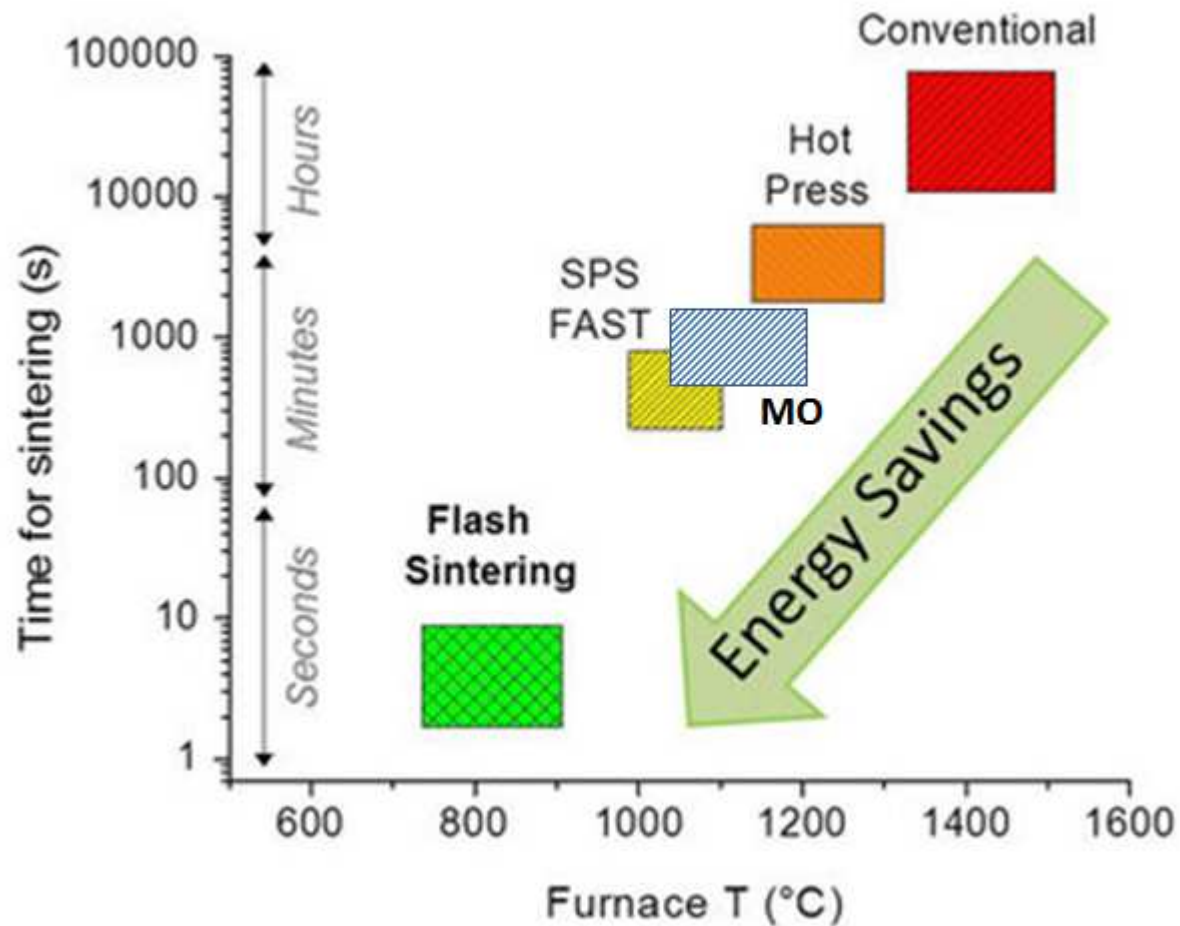


# Frittage assisté mécaniquement



# Frittage assisté par effet de champ

## Modification du mode de chauffe



# Frittage assisté par effet de champ

## Utilisation d'un courant électrique

Materials Science and Engineering R 63 (2009) 127–287



Contents lists available at ScienceDirect

Materials Science and Engineering R

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/mser](http://www.elsevier.com/locate/mser)



## Consolidation/synthesis of materials by electric current activated/assisted sintering

Roberto Orrù<sup>a,b</sup>, Roberta Licheri<sup>a,b</sup>, Antonio Mario Locci<sup>a,b</sup>, Alberto Cincotti<sup>a,b</sup>, Giacomo Cao<sup>a,b,c,\*</sup>

<sup>a</sup> Dipartimento di Ingegneria Chimica e Materiali, Unità di Ricerca del Consorzio Interuniversitario per la Scienza e Tecnologia dei Materiali (INSTM), Università degli Studi di Cagliari, Piazza d'Armi, 09123 Cagliari, Italy

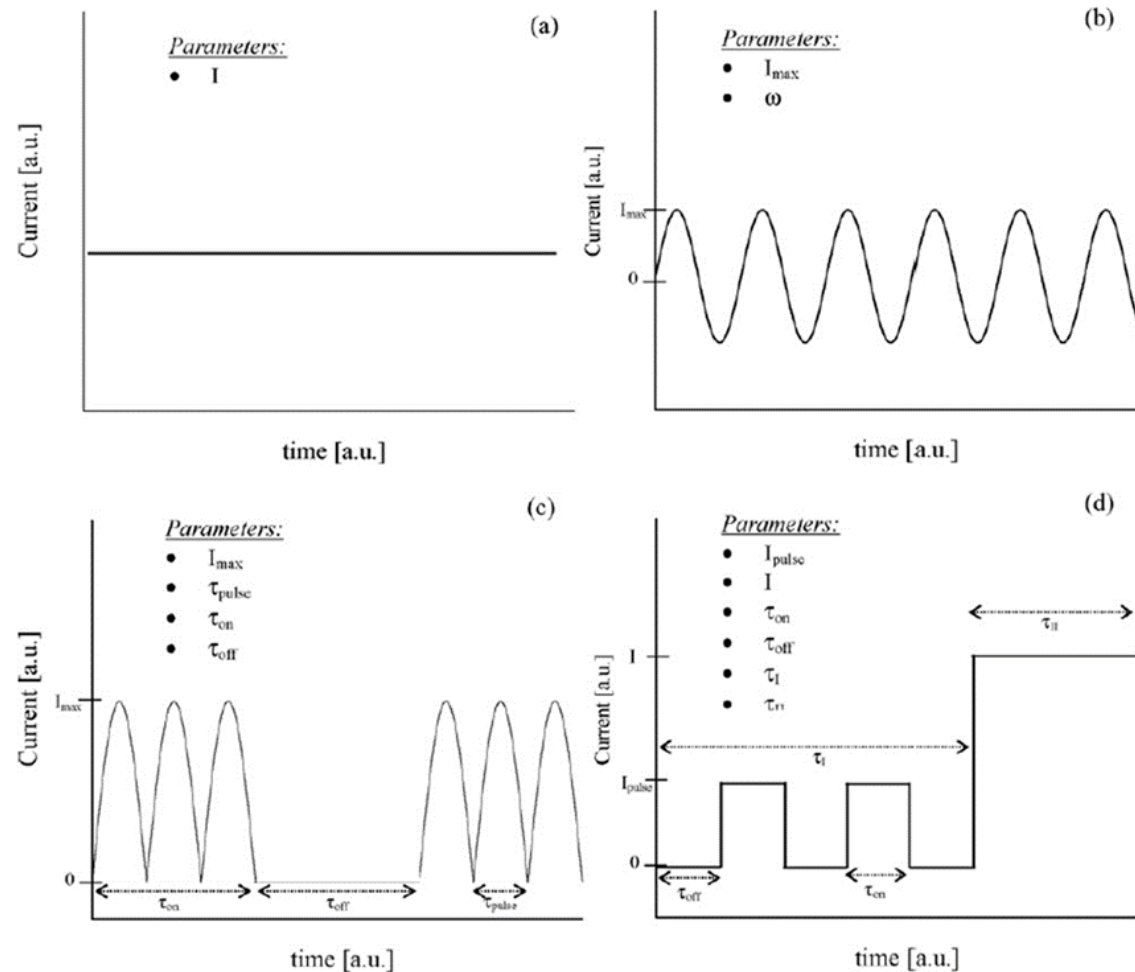
<sup>b</sup> Unità di Ricerca del Consorzio Nazionale delle Ricerche (CNR) – Dipartimento di Energia e Trasporti, Università degli Studi di Cagliari, Piazza d'Armi, 09123 Cagliari, Italy

<sup>c</sup> CRS4, Parco Scientifico e Tecnologico, POLARIS, Edificio 1, 09010 Pula (CA), Italy

# Frittage assisté par effet de champ

## Utilisation d'un courant électrique

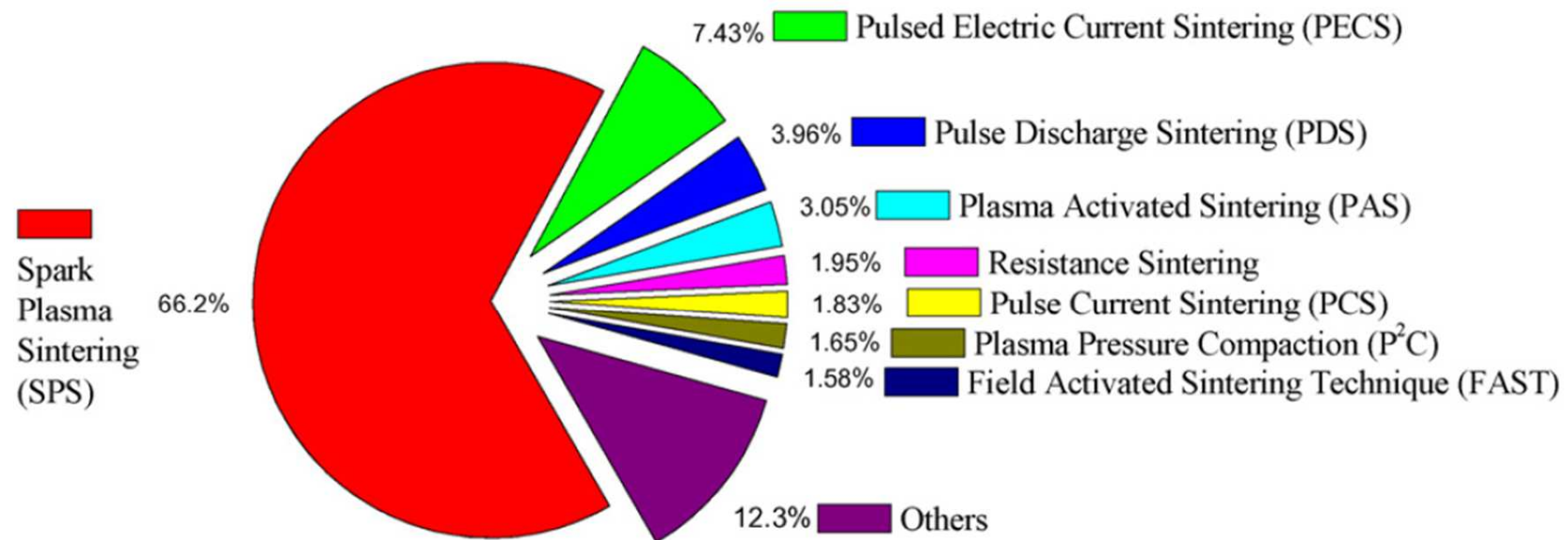
- Différents types de courants (continu, alternatif, pulsé, C° pulsé + C°, ...)



# Frittage assisté par effet de champ

## Utilisation d'un courant électrique

- Différents types de courants (continu, alternatif, pulsé, C° pulsé + C°,...)
- Parfois noms différents pour même type de courant et même équipement
- Parfois noms identiques pour type de courant et équipement différents
- Terme « plasma »!



**Fig. 12.** RS processes designation.

# Frittage assisté par effet de champ

## Utilisation d'un courant électrique

- Différents types de courants (continu, alternatif, pulsé, C° pulsé + C°,...)
- Parfois noms différents pour même type de courant et même équipement
- Parfois noms identiques pour type de courant et équipement différents
- Terme « plasma »!

## Utilisation d'un champ magnétique

- Echantillon soumis à une radiation électromagnétique (1-300GHz)
- Mise en mouvement des charges mobiles dans l'échantillon (dipôles, ions)
- Aspects positifs: bon rendement énergétique, chauffe rapide, ...
- Aspects plus limitants: emballement thermique, hétérogénéités,...

# Frittage assisté par effet de champ

## Avantages reconnus

- Vitesses de chauffe et de refroidissement élevées → cycles très courts
- Vitesses de densification élevées à des T de frittage plus faibles
- Microstructures plus fines
- Performances accrues des matériaux produits
- Applicable à bon nombre de matériaux

## Inconvénients / limitations reconnus

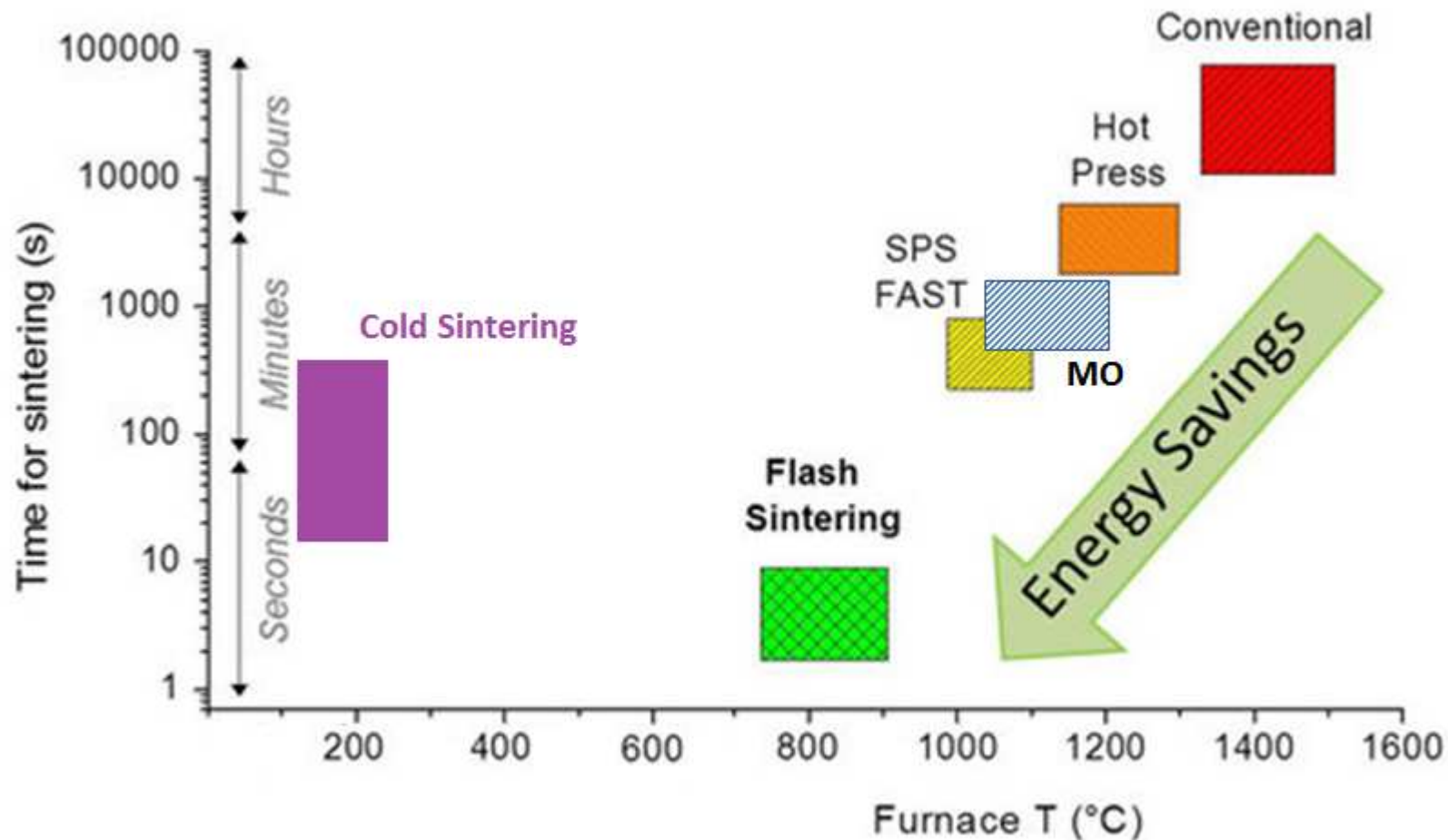
- Existence de gradients thermiques (→ Hétérogénéités, limitation dimensions)
- Limitation à des pièces de géométrie simple
- Multiplicité de facteurs/paramètres
  - Compréhension limitée des mécanismes
  - Contrôle non trivial du processus
- Productivité limitée (procédé batch)



# Evolution possible

## Prochaine étape: Cold sintering ? *(Développement PennState University)*

- Densification entre 100°C et 250°C
- Permet le co-frittage de matériaux céramiques et thermoplastiques





# Equipements UD3 - frittage

## Etapas préalables au frittage

- Dilatométrie par contact
- Dilatométrie optique
- Fours de déliantage

## Equipements UD3 - frittage

### Etapes préalables au frittage

- Dilatométrie par contact
- Dilatométrie optique
- Fours de déliantage
  - dont four Carbolite Gero GLO/11-1G (CRIBC)
  - Déliantage et préfrittage
  - Sous vide → 750°C
  - Sous air, Ar, N<sub>2</sub> et H<sub>2</sub> → 1100°C
  - Vol. 27 litres
  - 1 - 600°C/h



# Equipements UD3 - frittage

## Etapes préalables au frittage

- Dilatométrie par contact
- Dilatométrie optique
- Fours de déliantage

## Fours de frittage conventionnel

- Fours de frittage conventionnel (CRIBC / UVHC)

# Equipements UD3 - frittage

## Etapes préalables au frittage

- Dilatométrie par contact
- Dilatométrie optique
- Fours de déliantage

## Fours de frittage conventionnel

- Fours de frittage conventionnel (CRIBC / UVHC)
  - dont four Nabertherm (CRIBC)
  - Modèle SVHT 09/20-W –H
  - Sous vide, Ar, N<sub>2</sub> ou H<sub>2</sub> (CRIBC) → 2000°C
  - Volume 9 litres



## Equipements UD3 - frittage

### Etapes préalables au frittage

- Dilatométrie par contact
- Dilatométrie optique
- Fours de déliantage

### Fours de frittage conventionnel

- Fours de frittage conventionnel (CRIBC / UVHC)

### Fours de frittage assisté mécaniquement

- Pressage uniaxial à chaud
- Pressage isostatique à chaud



# Equipements UD3 - frittage

## Frittage assisté par champ électrique

- Frittage SPS / FAST (CRIBC)
  - Equipement FCT - HHPD125
  - Acquis dans le cadre du projet FEDER - EQUIDER
- Frittage flash (CRIBC)
  - En développement
  - Projet FEDER IMAWA-FlashSint

Cf. Exposé JP.Erauw (BCRC)  
**« Field Assisted Sintering Techniques –  
SPS et frittage flash »**

## Frittage assisté par champ magnétique

- Frittage micro-ondes (UVHC)
  - Equipement Sairem
  - Four à micro-ondes monomode  
2,45 GHz
  - Acquis sur fonds propres

Cf. Exposé A.Thuault (UVHC-LMCPA)  
**« Frittage par micro-ondes »**



# Merci pour votre attention

## Questions?



### CRIBC (chef de file)

info@bcrc.be  
www.bcrc.be  
Mons  
+32 (0)65 40 34 34



### Materia Nova

tech2fab@materianova.be  
www.materianova.be  
Mons  
+32 (0) 65 55 49 02



### UVHC-LMCPA

tech2fab@univ-valenciennes.fr  
www.univ-valenciennes.fr  
Maubeuge  
+33 (0) 3 27 51 16 76



### CRITT-MDTS

tech2fab@critt-mdts.com  
www.critt-mdts.com  
Charleville-Mézières  
+33 (0) 3 24 37 89 89



### Matikem

contact@matikem.com  
www.matikem.com  
Villeneuve d'Ascq  
+ 33 3 61 76 02 45



### POM Oost-Vlaanderen

info@pomov.be  
www.pomov.be  
Gent  
+32 (0) 9 267 86 33



Wallonie

