



**HAL**  
open science

## Etude de l'élaboration de matériaux à haute entropie a partir de poudres

G. Huser, P. Aubry, I. Guillot, J.-P. Couzinie, E. Rigal

► **To cite this version:**

G. Huser, P. Aubry, I. Guillot, J.-P. Couzinie, E. Rigal. Etude de l'élaboration de matériaux à haute entropie a partir de poudres. Journée des doctorants de la DGA, Apr 2018, Cachan, France. cea-02339068

**HAL Id: cea-02339068**

**<https://cea.hal.science/cea-02339068>**

Submitted on 13 Dec 2019

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

université  
PARIS-SACLAY

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

cea



Institut de Chimie et des Matériaux Paris-Est



[www.cea.fr](http://www.cea.fr)

# Etude de l'élaboration de matériaux à haute entropie à partir de poudres

G.HUSER<sup>a\*</sup>, Dr P.AUBRY<sup>a</sup>  
Dr I.GUILLOT<sup>b</sup>, Dr J-P.COUZINIE<sup>b</sup>  
Dr E.RIGAL<sup>c</sup>


<sup>a</sup>: CEA/DEN-Service d'Etudes Analytiques et de Réactivité des Surfaces (SEARS), CEA, Université Paris-Saclay, F-91191, Gif sur Yvette, France

<sup>b</sup>: Université Paris Est, ICMPE (UMR 7182), CNRS, UPEC, Thiais, France

<sup>c</sup>: CEA Grenoble, DRT/Liten/DTH, 38054 Grenoble, France

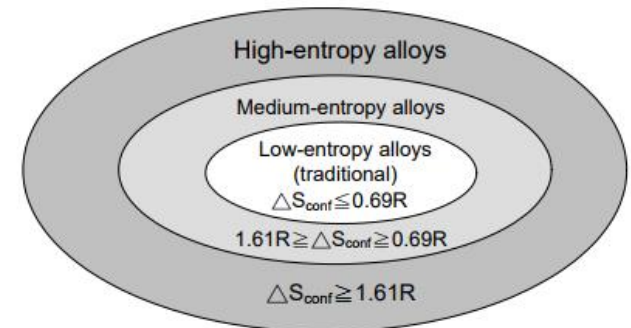
\*Corresponding author E-mail adress: [gautier.huser@cea.fr](mailto:gautier.huser@cea.fr)

## Contexte/Objectifs

- Obtention de revêtements durs sans cobalt pour la tenue à l'usure (gen 2-3-4) afin de remplacer les stellites
    - Etude en cours sur alliage base nickel, alliage avec des borures/carbures
    - Pas d'équivalents complets à la stellite
  - Besoins de matériaux de structure et de revêtements épais dans le domaine des énergies alternatives (tenue à haute température)
  - **Nécessité de trouver de nouveaux alliages**
  - **Ouvrir de nouvelles voies matériaux/procédés**
- 
- A large, solid red arrow pointing downwards, centered between the two columns of text below the main bullet points.
- Exploration des alliages à haute entropie (HEA)  
Combinaison de propriétés (corrosion, tribologie et caractéristiques mécaniques)
  - Utilisation de la technique de projection laser (DMD: Direct Metal Deposition)
  - Utilisation de la Compression Isostatique à Chaud

## Différentes définitions:

- Au moins 5 éléments ou plus en proportion équimolaire ou [5-35]%, (qui forme une seule solution solide)
- Entropie molaire de configuration:



- Limite de ces définitions: différence entre **alliage multi-composants (ou complexes)** et HEAs

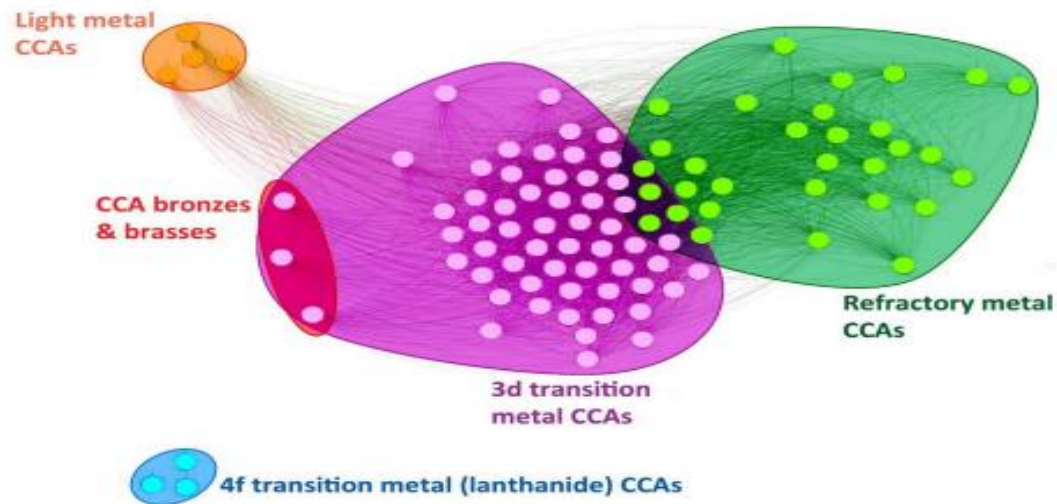
-Yeh, J.-W., S.-K. Chen, S.-J. Lin, J.-Y. Gan, T.-S. Chin, T.-T. Shun, C.-H. Tsau, and S.-Y. Chang. "Nanostructured High-Entropy Alloys with Multiple Principal Elements: Novel Alloy Design Concepts and Outcomes." *Advanced Engineering Materials* 6, no. 5 (May 1, 2004): 299–303. <https://doi.org/10.1002/adem.200300567>.

-Yeh, Jien-Wei. "Recent Progress in High-Entropy Alloys." *European Journal of Control - EUR J CONTROL* 31 (December 31, 2006): 633–48. <https://doi.org/10.3166/acsm.31.633-648>.

-Laurent-Brocq, Mathilde, Loïc Perrière, Rémy Pirès, and Yannick Champion. "From High Entropy Alloys to Diluted Multi-Component Alloys: Range of Existence of a Solid-Solution." *Materials & Design* 103, no. Supplement C (August 5, 2016): 84–89. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2016.04.046>.

## 5 familles de HEAs:

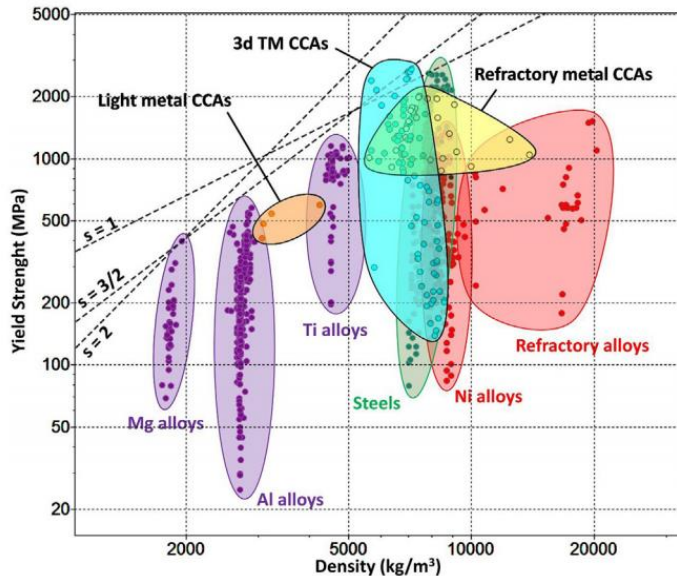
- Ces familles sont interconnectées entre elles
- Familles métaux de transition 3d et réfractaire les plus explorées
- **Co, Cr, Fe, Ni dans 70% des HEAs**



Gorsse, Stéphane, Daniel B. Miracle, and Oleg N. Senkov. "Mapping the World of Complex Concentrated Alloys." *Acta Materialia* 135, no. Supplement C (August 15, 2017): 177–87. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2017.06.027>.

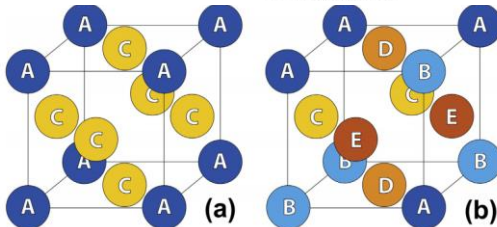
Miracle, D. B., and O. N. Senkov. "A Critical Review of High Entropy Alloys and Related Concepts." *Acta Materialia* 122, no. Supplement C (January 1, 2017): 448–511. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2016.08.081>.

## Premier HEA: FeCrMnNiCo par CANTOR en 2004

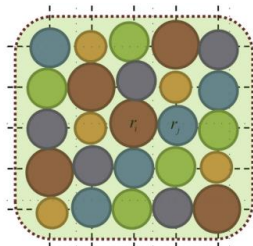


Energie libre  
 $G=H-TS$

Gorsse, Stéphane, Daniel B. Miracle, and Oleg N. Senkov. "Mapping the World of Complex Concentrated Alloys." *Acta Materialia* 135, no. Supplement C (August 15, 2017): 177–87.  
<https://doi.org/10.1016/j.actamat.2017.06.027>.

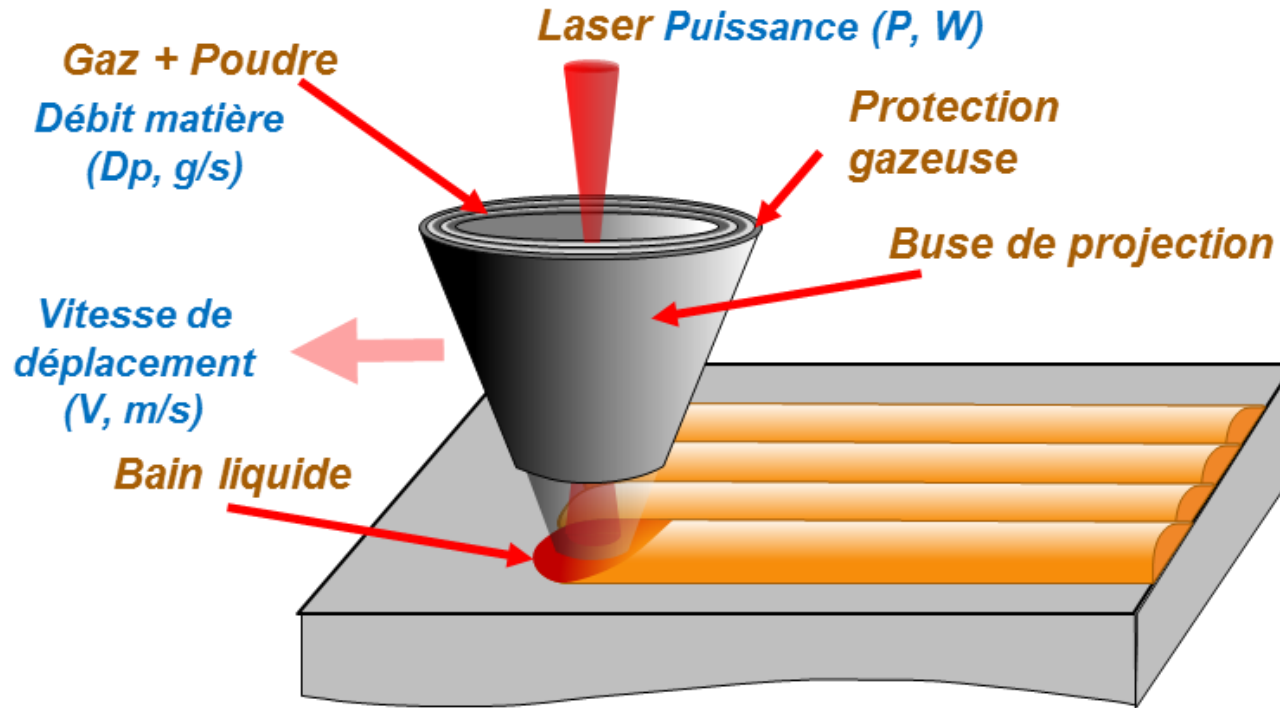


Miracle, D. B., and O. N. Senkov. "A Critical Review of High Entropy Alloys and Related Concepts." *Acta Materialia* 122, no. Supplement C (January 1, 2017): 448–511.  
<https://doi.org/10.1016/j.actamat.2016.08.081>.



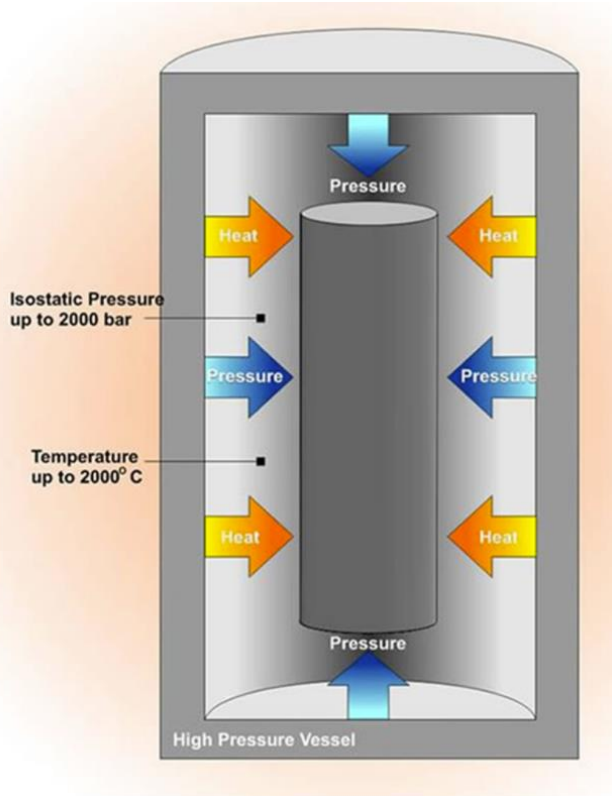
Wang, Zhijun, Weifeng Qiu, Yong Yang, and C. T. Liu. "Atomic-Size and Lattice-Distortion Effects in Newly Developed High-Entropy Alloys with Multiple Principal Elements." *Intermetallics* 64, no. Supplement C (September 1, 2015): 63–69.  
<https://doi.org/10.1016/j.intermet.2015.04.014>.

# PROCÉDÉ DE DMD (DIRECT METAL DEPOSITION)

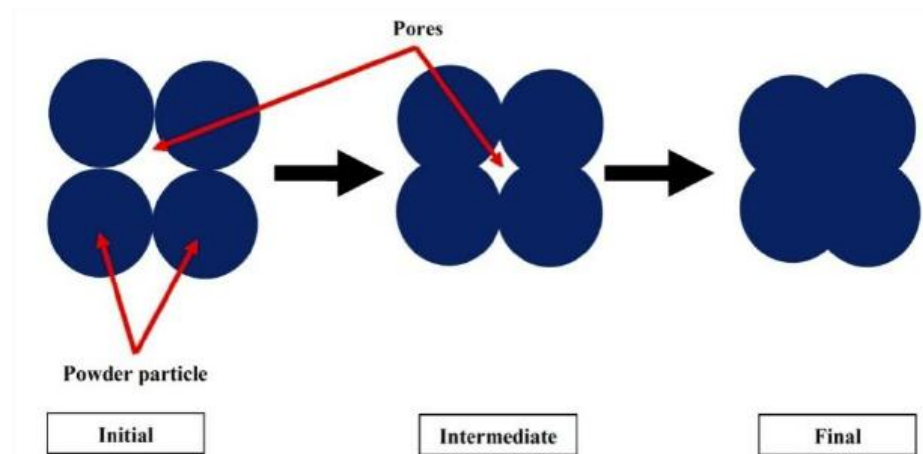


- Grande plage paramétrique (puissance du laser, vitesse de balayage, débit de poudre ...)
- Gradient de composition, **métallurgie combinatoire** par fusion de mélange de poudre in-situ
- Solidification rapide





## Frittage



Mangkonsu, Chuthathip, Ishikawa Kunio, and Radzali Othman. "The Effect of Sintering Temperatures on the Microstructure and Properties of B-TCP," 2014.

<https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=5769>

- Pas de fusion
- Microstructure différente



- Propriétés différentes
- Autres domaines d'application



## Etat de l'art

- Etude des matériaux à haute entropie
- Exploration de nouvelles compositions complexes pouvant former des structures cristallographiques simples avec des propriétés mécaniques élevées.

## Question scientifique à traiter

- Quelle est la microstructure recherchée
- Influence des paramètres du procédé sur les microstructures et les propriétés
- Etude de la stabilité des microstructures

## Techniques d'étude

- Utilisation de la méthode CALPHAD (Computer Coupling of Phase Diagrams and Thermochemistry) sur Thermocalc
- Métallurgie combinatoire possible par déposition laser
- Etude de la relation procédé-microstructure avec différentes conditions de solidification (fusion laser et CIC)

## **Alliages à haute entropie:**

- Choix des alliages à tester
- Influence du procédé sur les microstructures obtenues

## **Procédé de déposition laser:**

- Recherche des paramètres prédominants
- Influence des paramètres sur le revêtement

## **Mécanismes de tribologie:**

- Définitions des conditions tribologiques et des microstructures adaptées à y résister

Merci  
pour votre  
attention

