



Liants alternatifs durables pour le carbure de tungstène

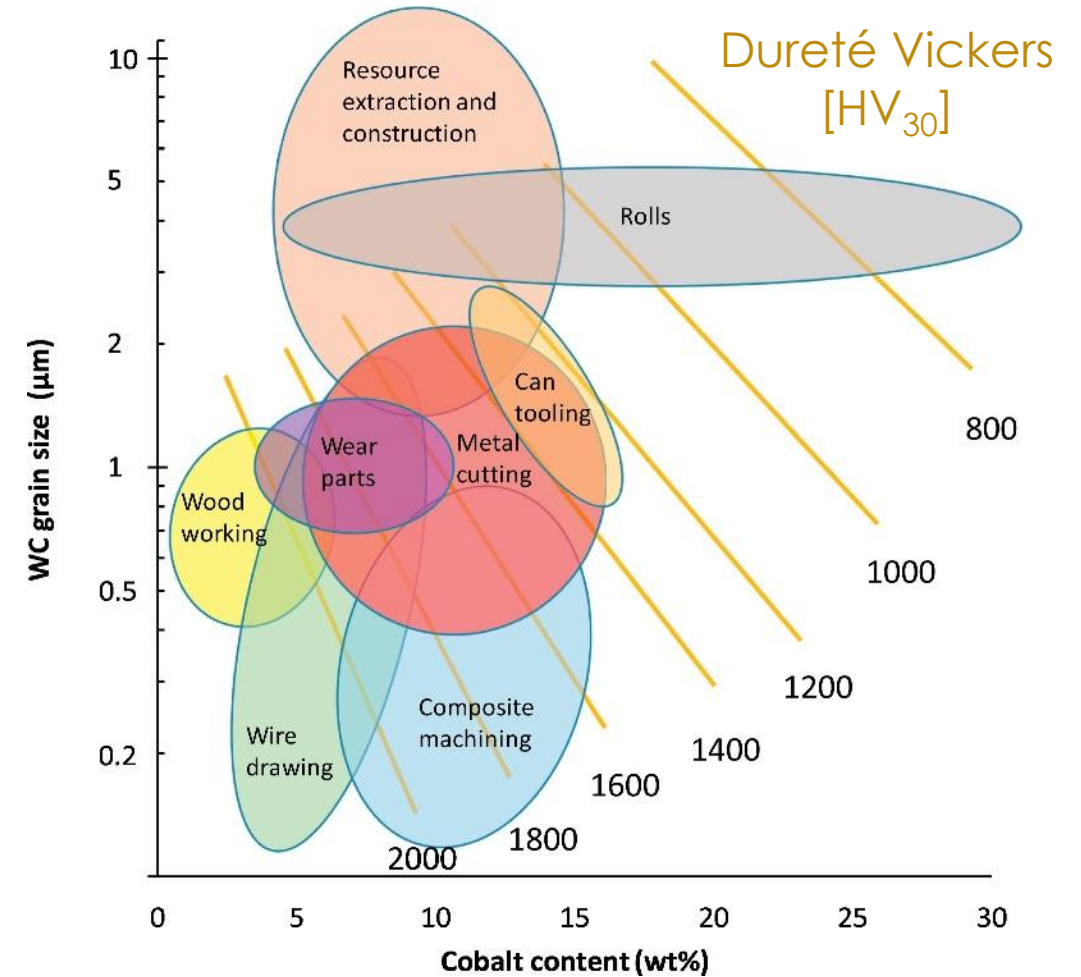
Arnaud Leclef

Arnaud.Leclef@uphf.fr - Arnaud.Leclef@umons.ac.be

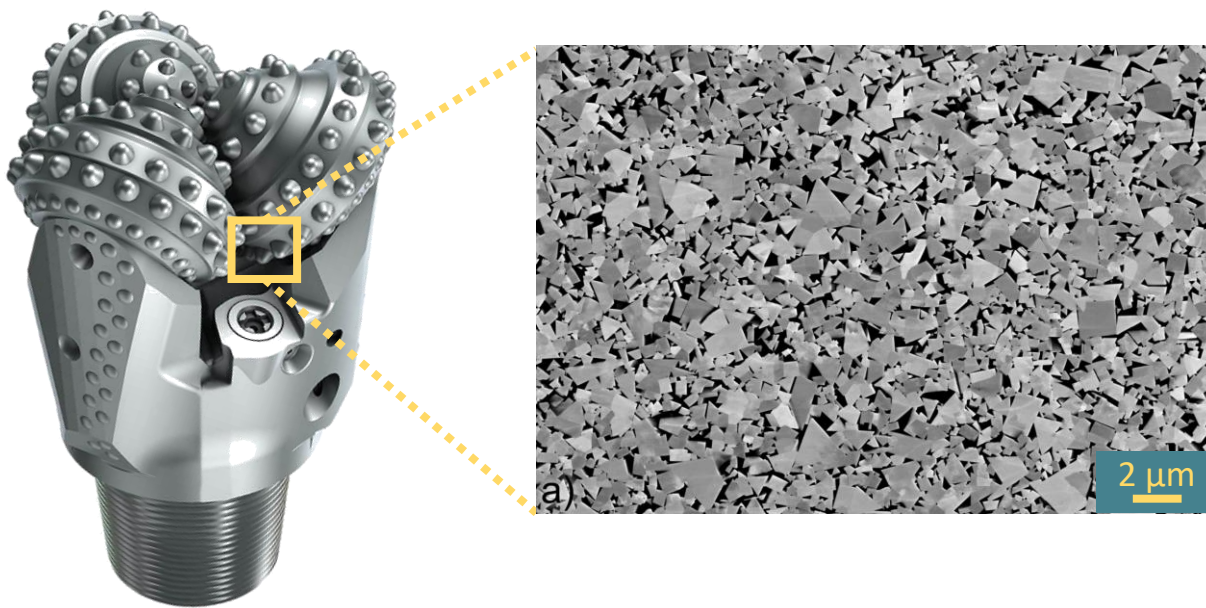
Au sujet du carbure de tungstène

Carbure de tungstène

- **Dureté** : 1600 HV₃₀
- **Ténacité** : 9 MPa.m^{1/2}
- Matériau **réfractaire** (utilisation → 800°C)
- Applications minières, outillage de coupe, aérospatiale



Source : Garcia. et al., Cemented carbide microstructures: a review, IJRMHM (2019)



Phase *carbure*

Assure la dureté
90 wt.%



Phase *liante*

Assure la cohésion
et la ténacité
10 wt.%

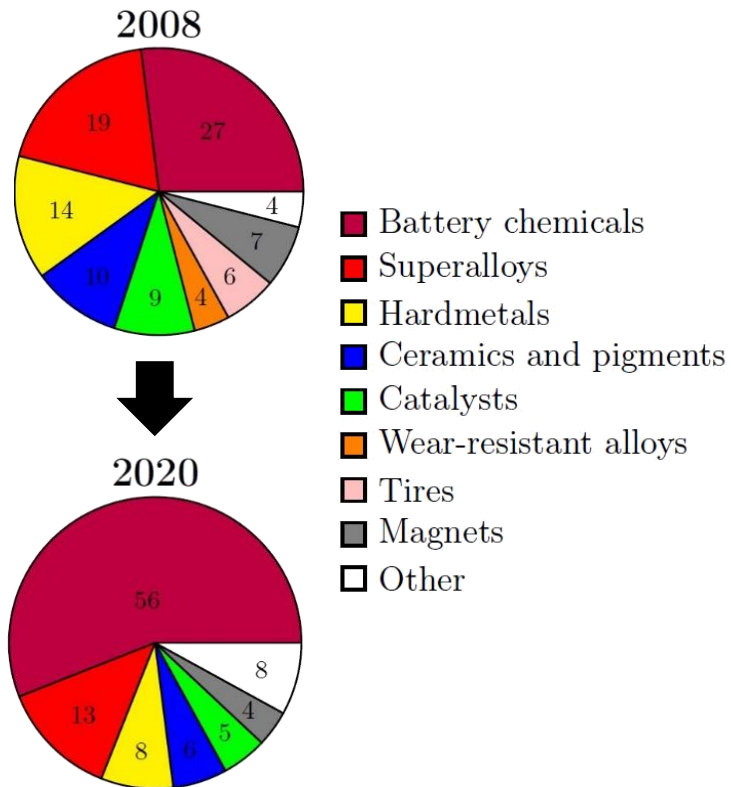
Liant actuel : cobalt

- Grande mouillabilité des grains de carbure
- Combinaison intéressante de dureté et de ténacité
- Compatibilité thermique WC-Co
- Simplicité de mise-en-œuvre

Problématique du cobalt

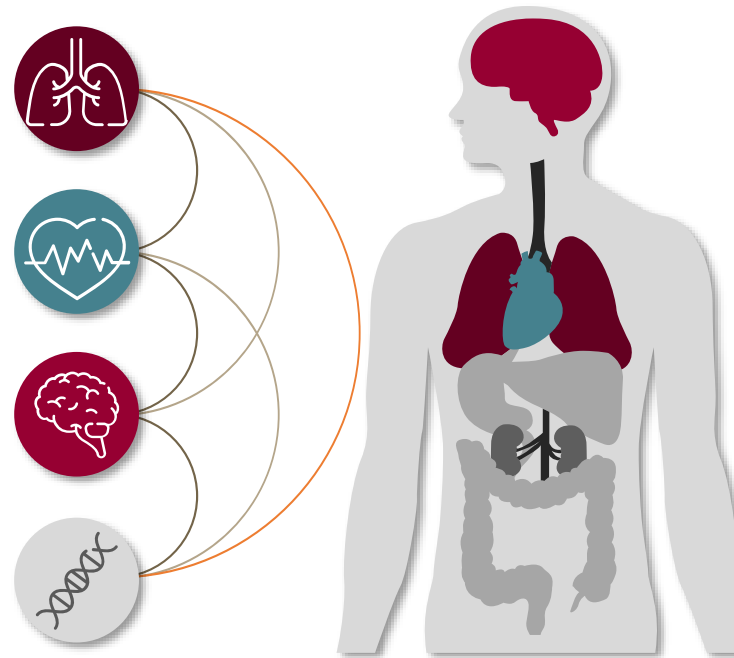
Matériau critique...

Depuis 2011 en UE



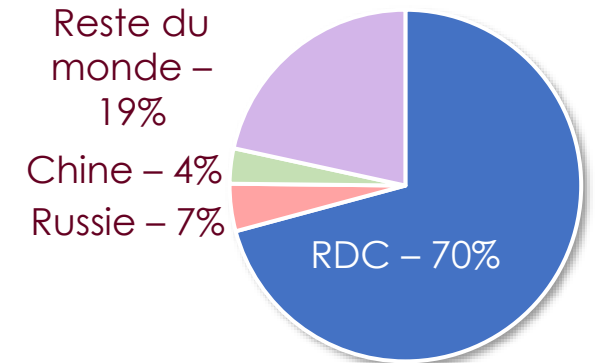
Source : European Commission

... toxique...



... et à haut risque d'approvisionnement

Production mondiale de cobalt



2 000
morts/an,
dont 20%
d'enfants

Source : independent.co.uk

Objectif du projet : Ne plus dépendre de l'extraction du cobalt dans l'industrie des carbures cimentés

Trouver des alternatives au cobalt pour le carbure de tungstène

Trouver des alternatives au cobalt pour le carbure de tungstène

• Partie I : Modélisation

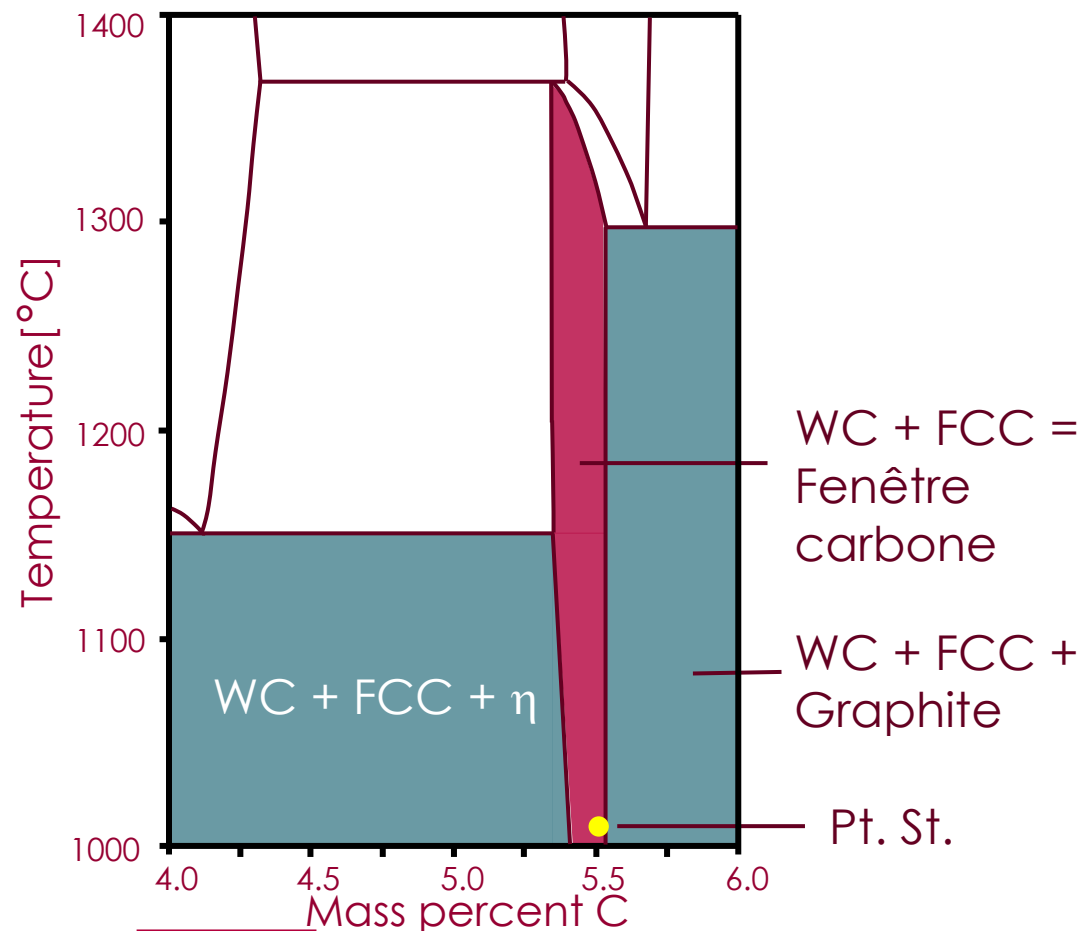
- Influence de la substitution du cobalt comme liant
- Diagrammes pseudo-binaires sur ThermoCalc (CalPhaD)

• Partie II : Vérification expérimentale

- Comparaison entre WC-Co et WC-liant alternatif

Partie I : Modélisation

- Influence de la substitution du cobalt comme liant
- Diagrammes pseudo-binaires sur ThermoCalc (CalPhaD)



- Diagrammes **pseudo**-binaires W-C en présence de liant
 - Température : [1000;1400]°C
 - Proportion de carbone : [4;6] wt.%
- **Objectif** : point stœchiométrique inclus dans la fenêtre carbone
- **À éviter** :
 - Recours à un liant carburigène $\rightarrow \eta$
 - Recours à un liant non-carburigène \rightarrow graphite

Quelles alternatives au cobalt ?

26 Fe	24 Cr	29 Cu	25 Mn
23 V	22 Ti	42 Mo	28 Ni

Éléments carburigènes – Phase η
Éléments non carburigènes – Graphite

**Solution : utilisation d'alliages
comme liant**

Chychko & al.(2022). HV-KIC property charts of cemented carbides: A comprehensive data collection. In International Journal of Refractory Metals and Hard Materials

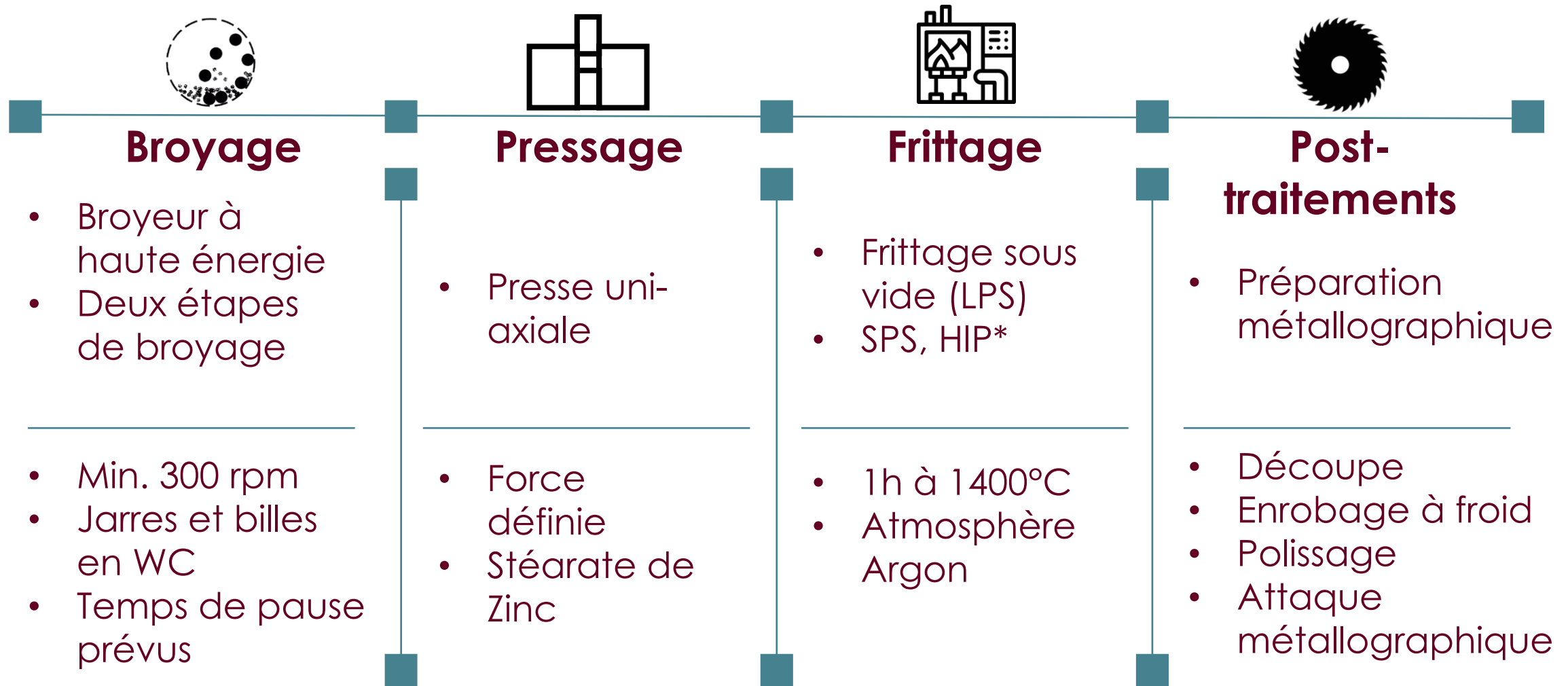
Modélisations de compositions type :

- WC - FeNi
- WC - FeMn
- WC – NiCr

Paramètres supplémentaires :

- Maximum 3 éléments pour composer le liant
- 10 wt.% de liant

Fabrication par métallurgie des poudres



Caractérisations

Microstructure

Poudres :

- **Distribution en taille** des grains
- **Morphologie** des grains
- Présence d'**agglomérats** (Observations MEB)

Échantillons frittés :

- **Phases (DRX)**
- **Taille des grains**
- **Homogénéité**
- Caractérisation des **porosités / Densification**

Propriétés mécaniques

Propriétés mécaniques

- **Dureté** Vickers
(Objectif : $> 1600 \text{ HV}_{30}$)
- **Ténacité** (Palmqvist)
(Objectif : $> 9 \text{ MPa.m}^{1/2}$)
- **Résistance à l'usure**

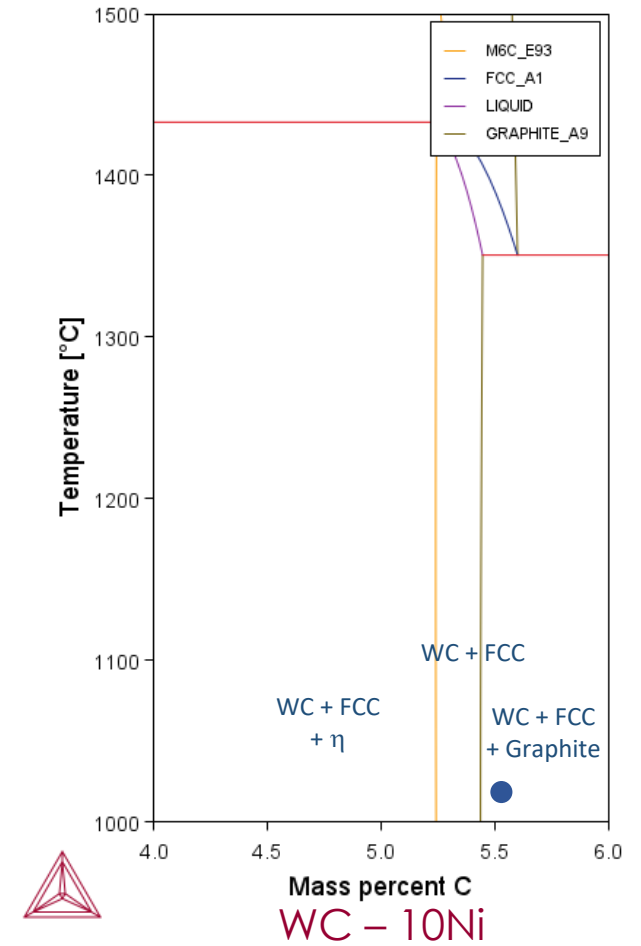
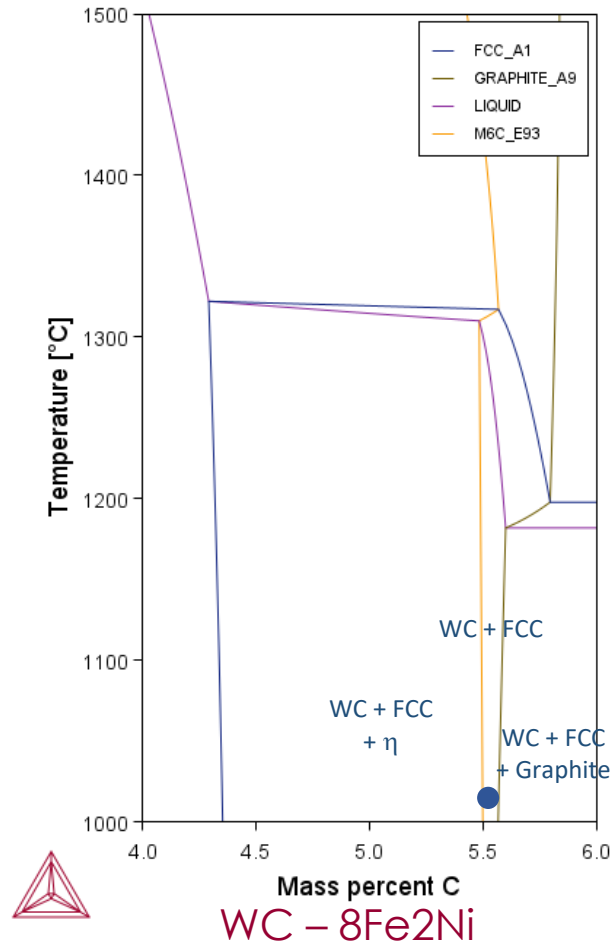
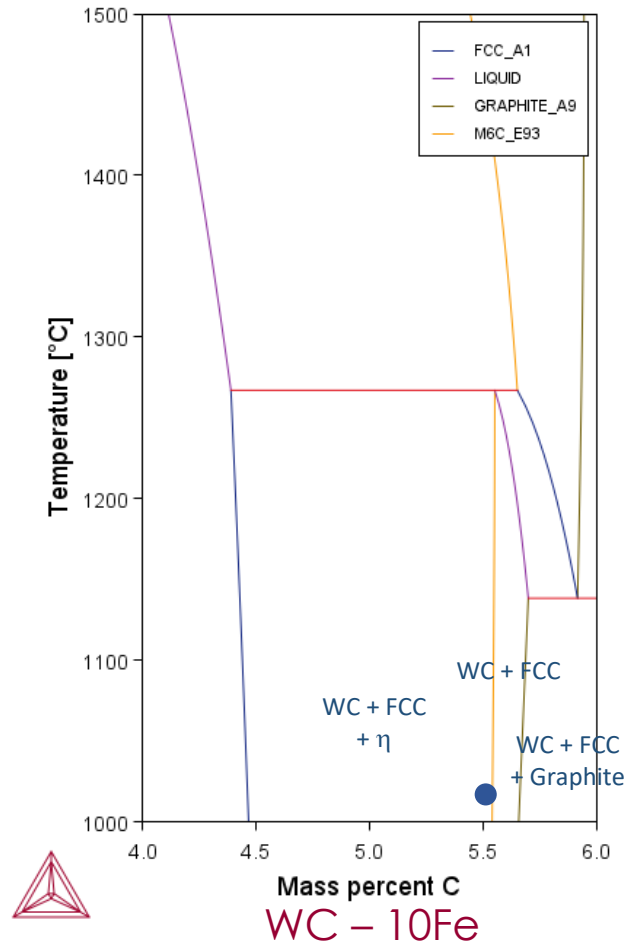
Résistance à la corrosion

Résistance à la corrosion

- **Courants et potentiels de corrosion**

Résultats

Simulations - exemple



Résultats

Simulations

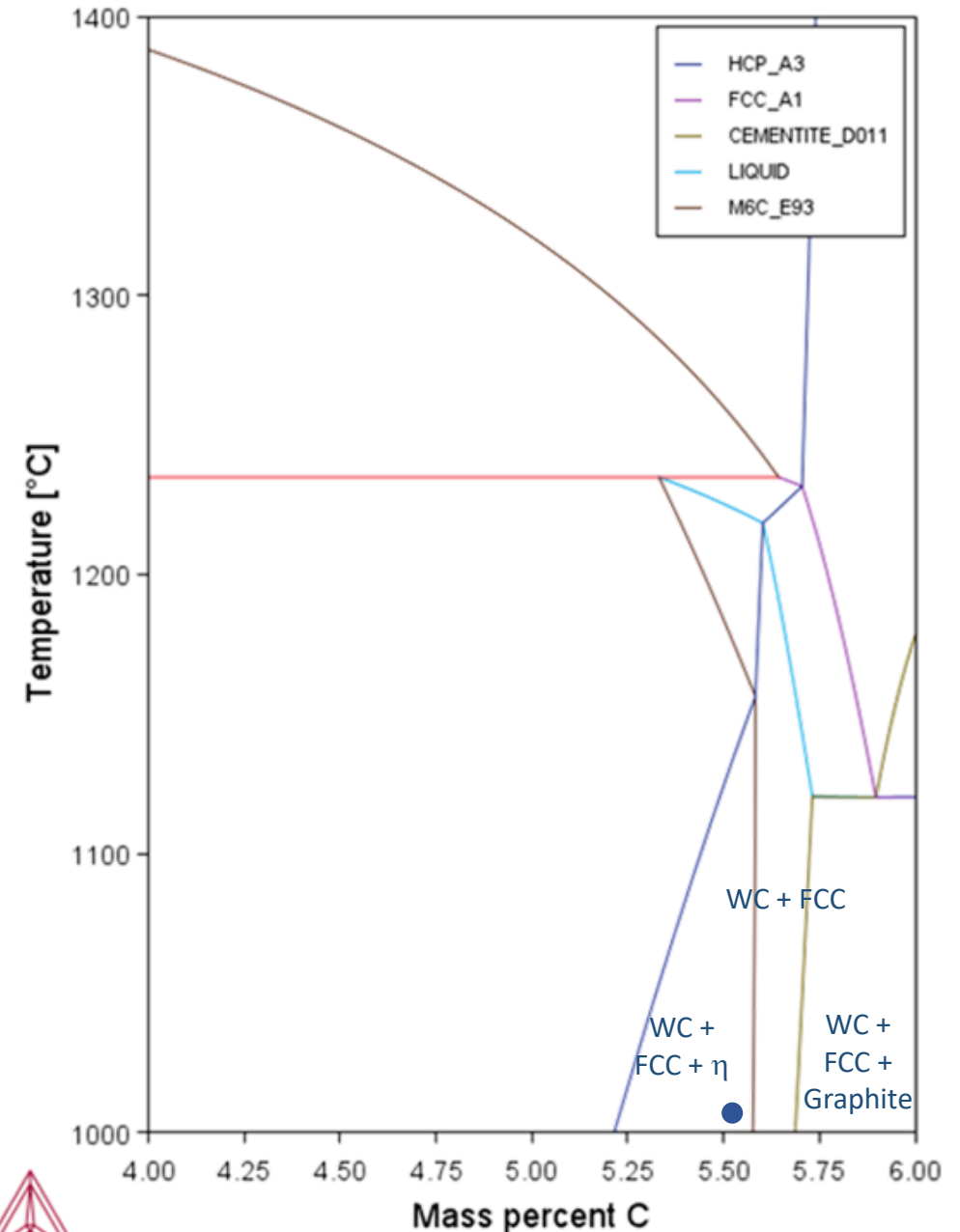
Conclusions :

Liants base FeMn car :

- Frittage possible à 1300°C (au lieu de 1400°C)
- Fe et Mn non critiques et non toxiques
- Fenêtre carbone large

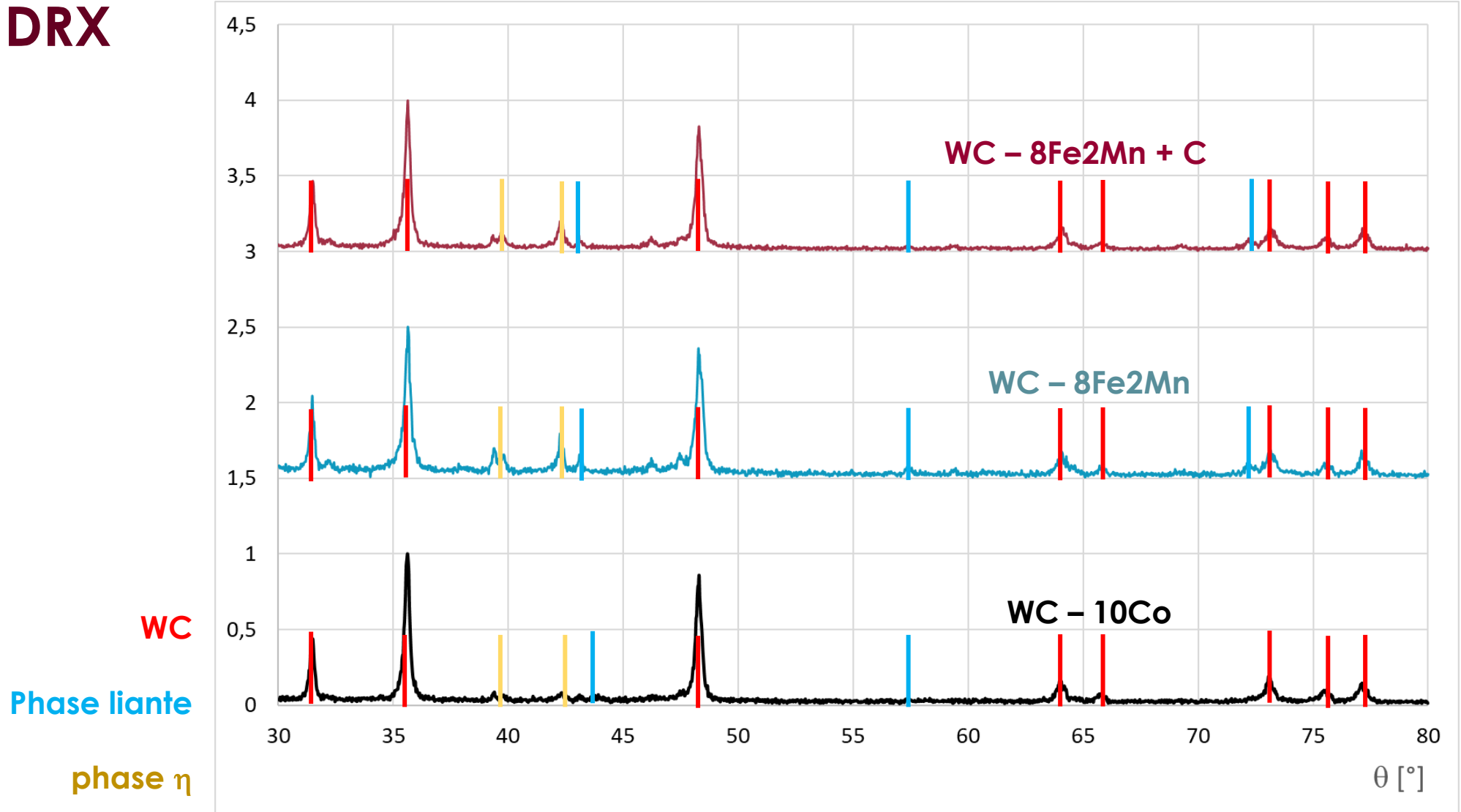
Cependant, le liant est trop carburigène → phase η

Solution : dopage au carbone du liant



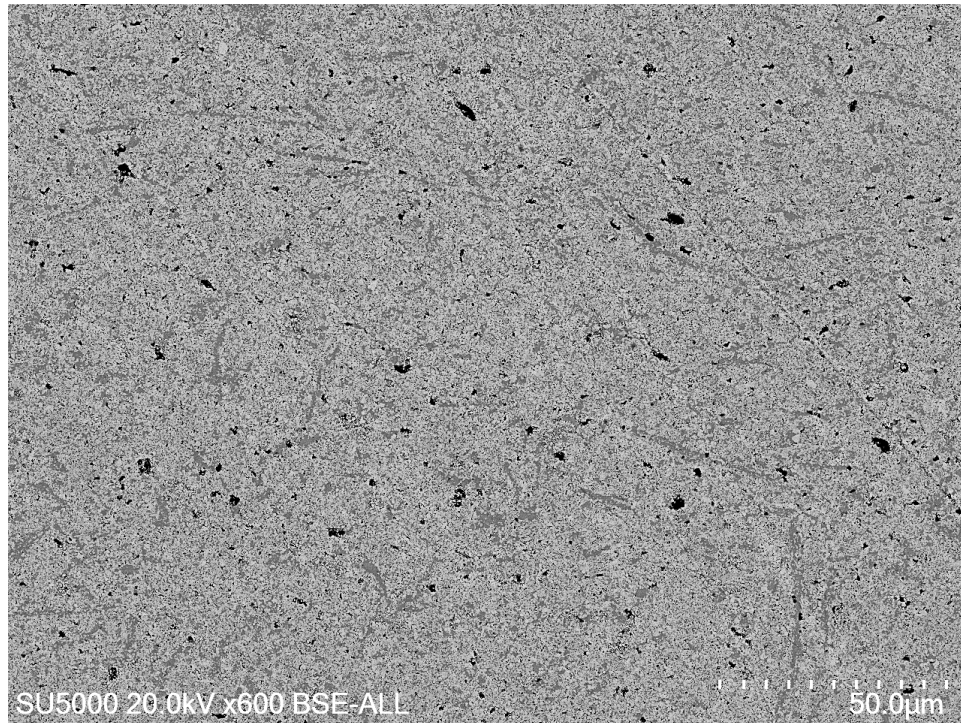
Résultats

DRX

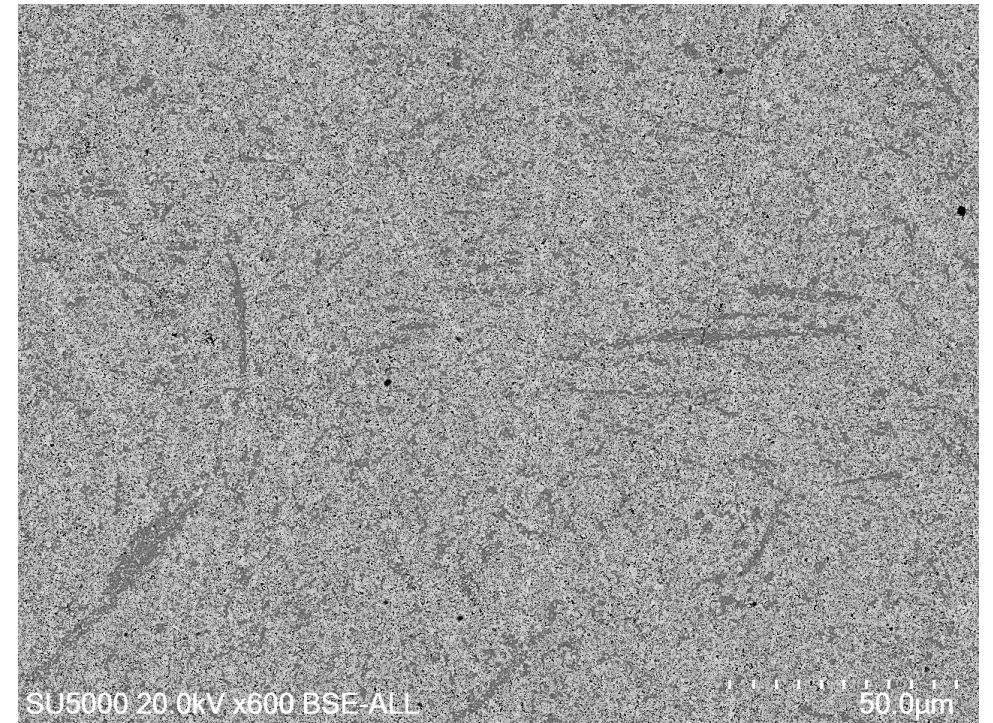


Résultats

Microstructure – effet du dopage



WC – 8Fe 2Mn



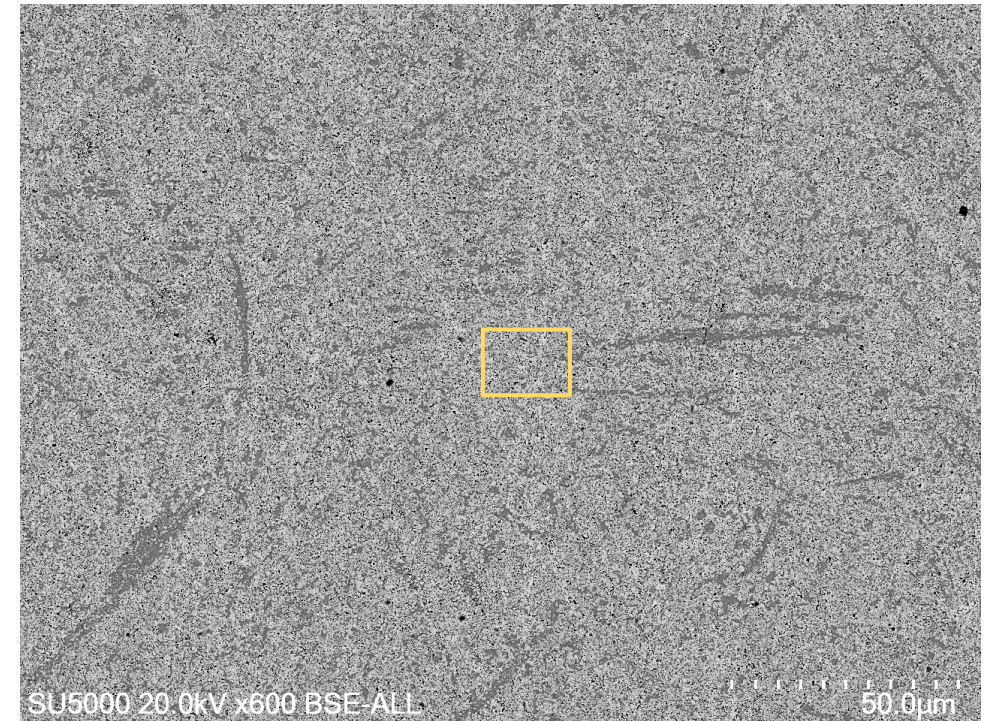
WC – 8Fe 2Mn + C

Résultats

Microstructure



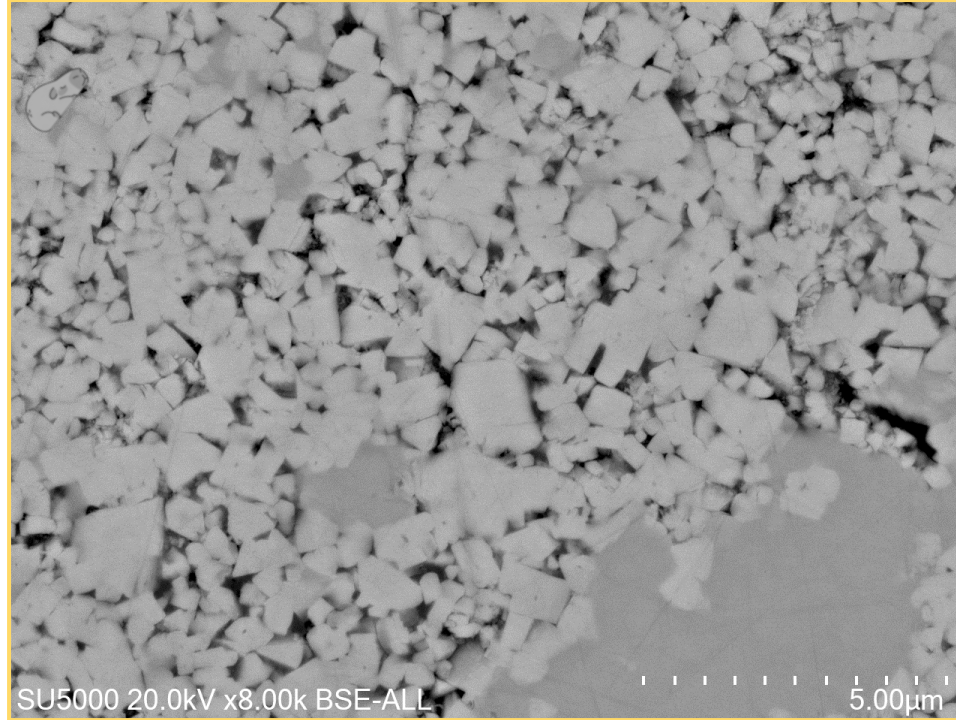
WC – 10Co



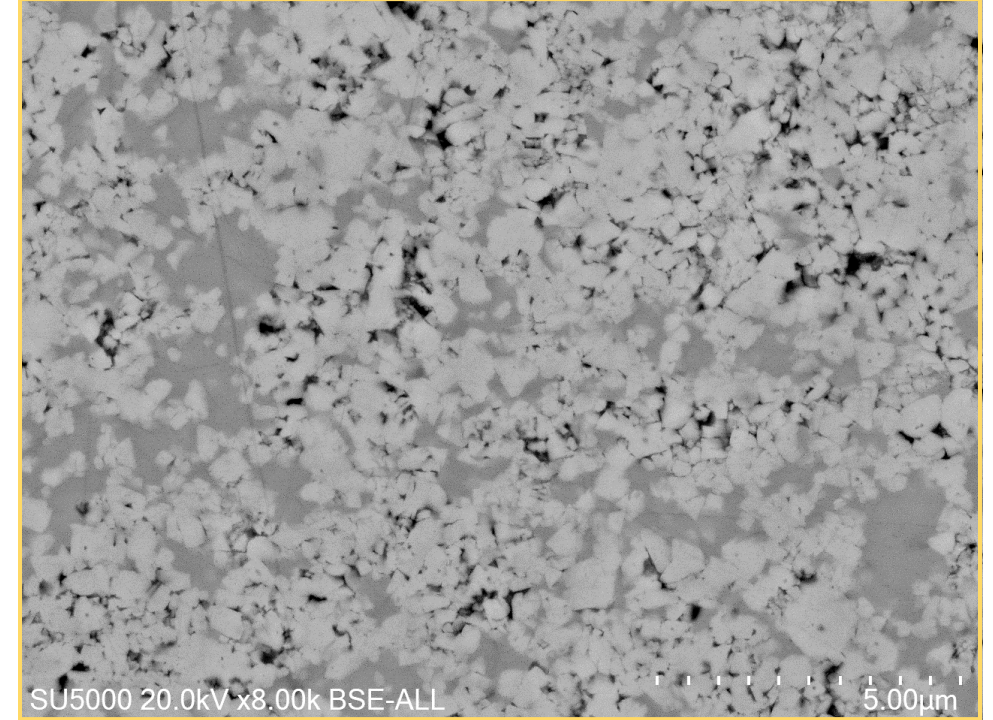
WC – 8Fe 2Mn + C

Résultats

Microstructure



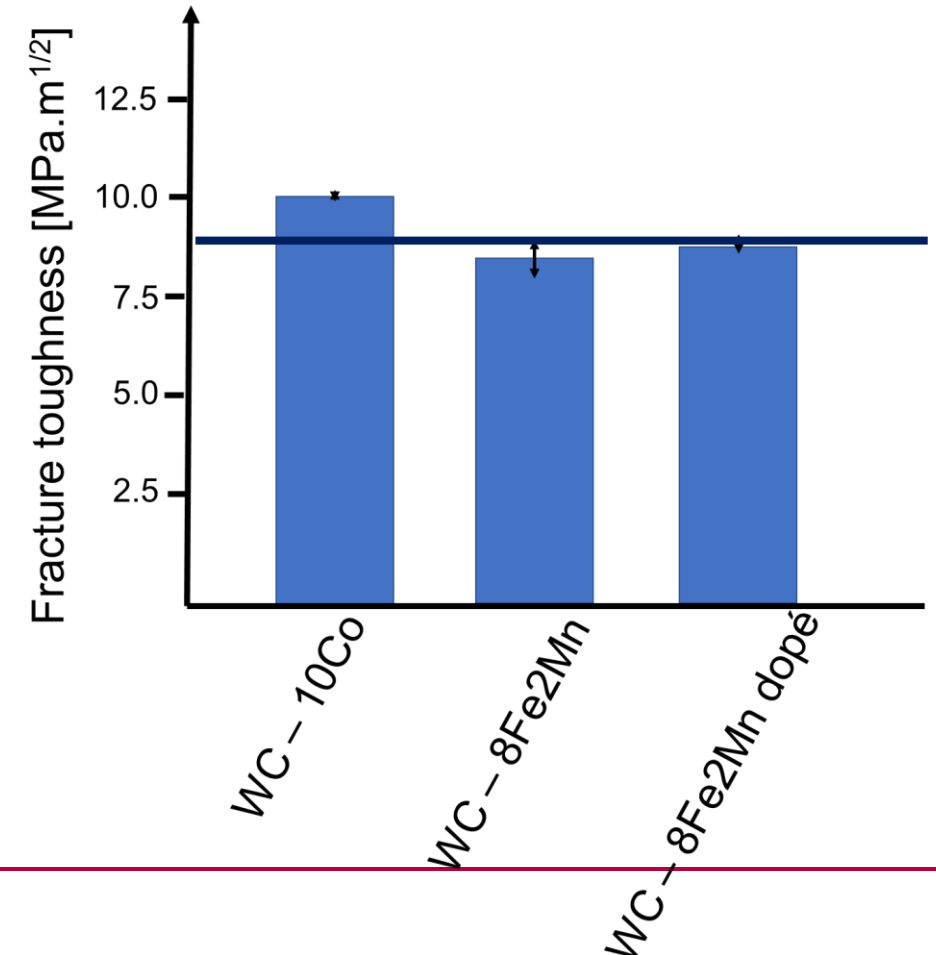
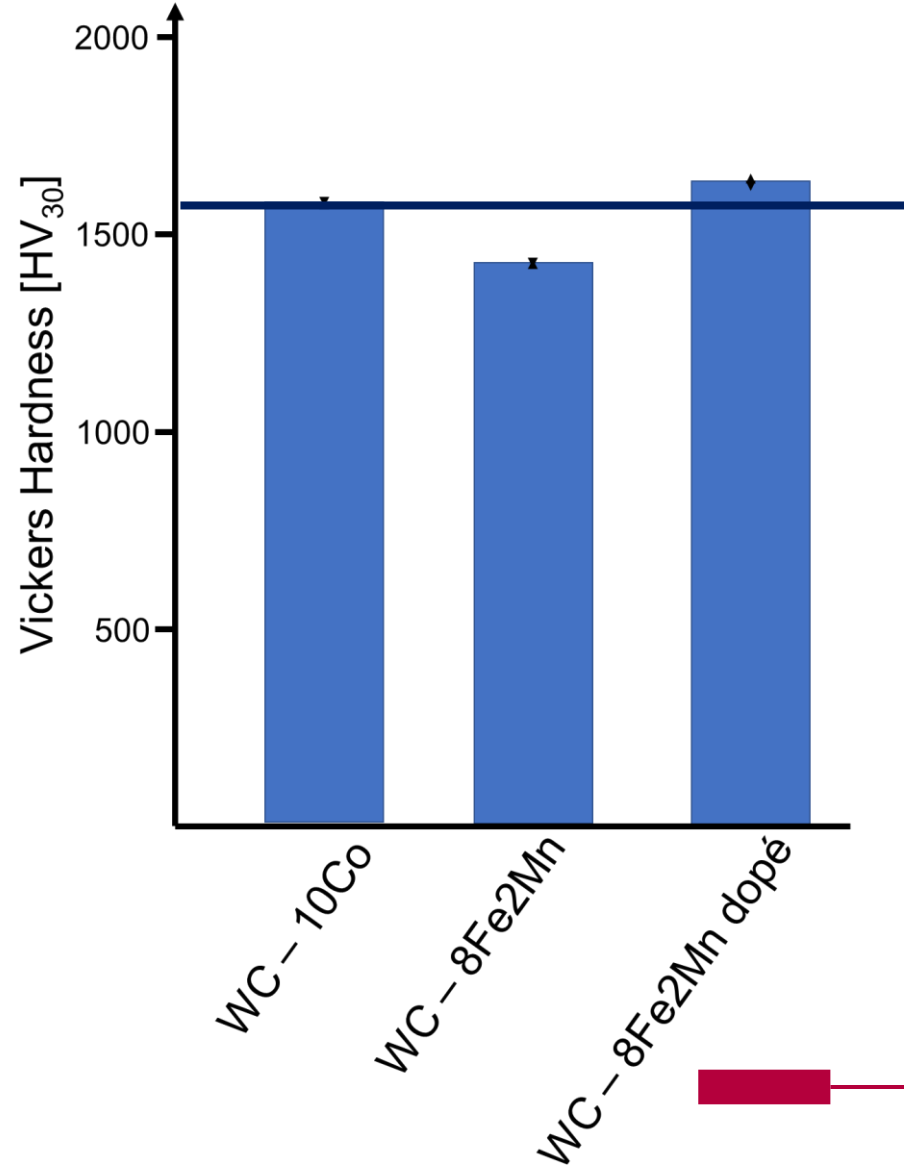
WC – 10Co



WC – 8Fe 2Mn + C

Résultats

Propriétés mécaniques



Conclusions et perspectives

- Liants alternatifs intéressants identifiés
 - Liants FeNiMn
 - Liants FeMn, particulièrement 8Fe2Mn (dopé et non dopé)
- Microstructure plus appropriée dans le cas de liants dopés au carbone
- Grains de taille réduite
- Objectifs de dureté (1600 HV_{30}) et de ténacité ($9 \text{ MPa.m}^{1/2}$) atteints, mais ténacité encore améliorable
- Résistance à la corrosion ? Résistance à l'usure ?