

alu Québec Grappe de l'aluminium | CeiAl Centre d'expertise et d'innovation sur l'aluminium

Le webinaire débutera dans quelques instants

Veuillez fermer vos caméras et vos micros.

Les alliages d'aluminium-scandium

Guillem Vachon, ing., M.Sc.
Ingénieur de recherche
Centre de Technologie et de Minéraux Critiques
Rio Tinto Fer et Titane



RioTinto

ELEMENT NORTH 21

Les alliages d'aluminium-scandium

8 septembre 2021, 11-12h

Guillem Vachon, ing., M.Sc.
Ingénieur de recherche
Centre de Technologie et de Minéraux Critiques
Rio Tinto Fer et Titane

En collaboration avec:

aluQuébec Grappe de l'aluminium

CeiAl Centre d'expertise et d'innovation sur l'aluminium

RTMQ RÉSEAU DE LA TRANSFORMATION MÉTALLIQUE DU QUÉBEC

- **Projet de Rio Tinto**
- Effet du scandium dans l'aluminium
- Exemples d'application
- Défi Québec Al-Sc et autres références

Le projet

Avantages

- Valorisation d'un résidu (TiO_2)
- Procédé respectueux de l'environnement
- Sécurité d'approvisionnement
- Minéraux critiques









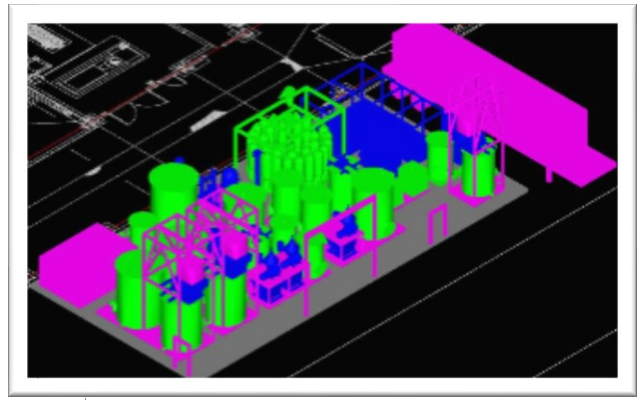
2015
Production d'oxyde de scandium en laboratoire

2017
Production d'oxyde de scandium à l'échelle pilote

2019
Obtention d'un oxyde de scandium à haute pureté (99.9% Sc_2O_3)

2019
Production du premier alliage mère Al-2%Sc

2021
Production commerciale (Sc_2O_3, Al-Sc alloys)



Statut actuel

Janvier 2021

- Annonce de la construction d'une usine de démonstration
- Capacité initiale: **~3 tpa** de Sc_2O_3
- Marché mondial ~20 tpa

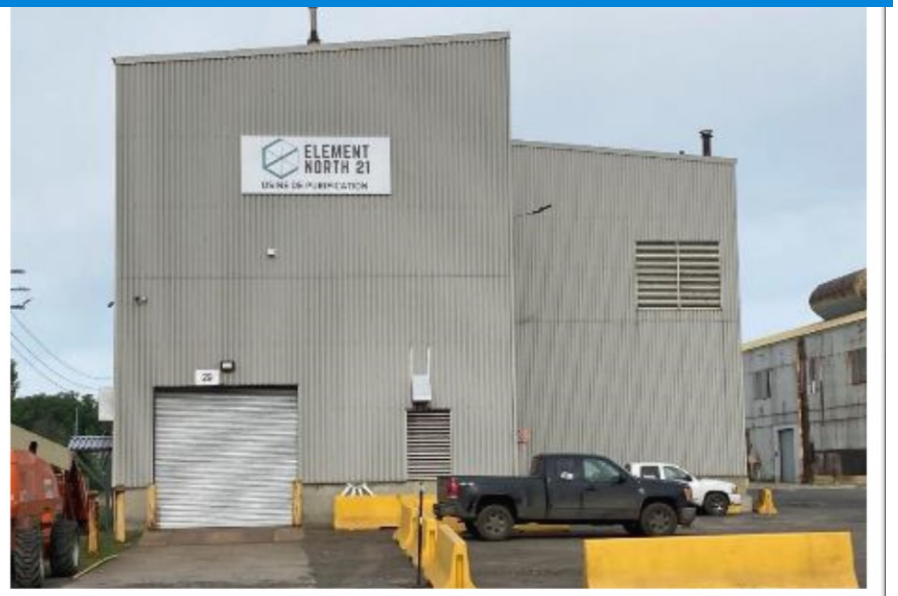
Juin 2021

- Inauguration des usines d'extraction et de purification
- Pleine capacité avant la fin 2021
- Plans futurs pour ajouter de nouveaux modules
- Capacité potentielle supérieure

Octobre 2021

- Début de la production d'alliage mère (RTA)
- Capacité initiale: **~75 tpa** de Al-2%Sc

Inauguration usine de purification (17 juin 2021)





- Projet de Rio Tinto
- **Effet du scandium dans l'aluminium**
- Exemples d'application
- Défi Québec Al-Sc et autres références

Scandium dans l'aluminium - Historique



L'élément

- Découvert en Scandinavie en 1879
- Sous forme de trace dans 800 minéraux différents

Dans l'aluminium

- Alcoa a breveté l'ajout de Sc à différents alliages d'aluminium (1971)
- Industrialisé dans l'ex-Union Soviétique durant la guerre froide



Les applications

- MIG-29 est l'avion avec la teneur la plus élevée en Sc (Al-Li-Sc)
- Équipements sportifs: bâtons de baseball, de crosse et les cadres de vélo





Scandium dans l'aluminium – La théorie

L'élément d'alliage reconnu comme le plus efficace pour augmenter les propriétés mécaniques de l'aluminium

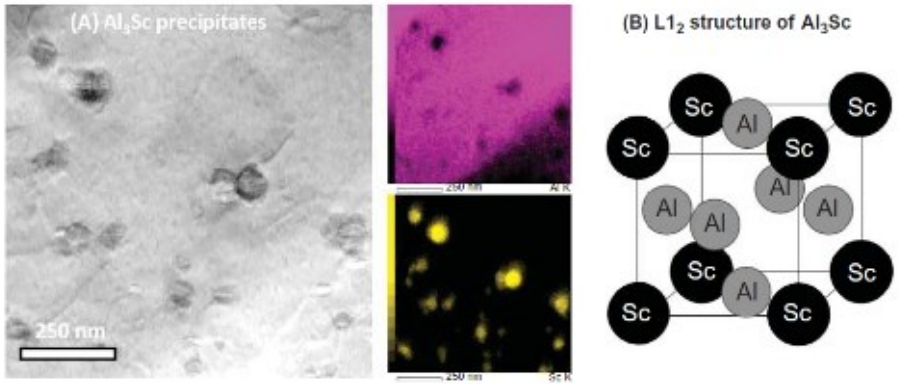
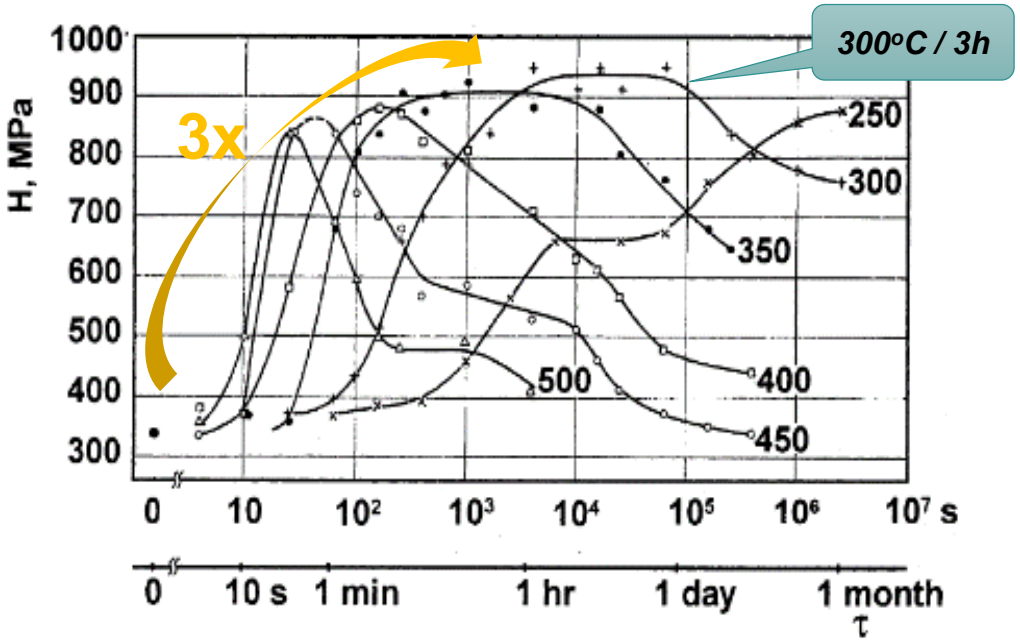


Image par MET d'un échantillon Al-0,2%Sc vieilli à 400°C/1h de Dorin, T et ass., 2018, *Fundamentals of Aluminium Metallurgy*, Elsevier Ltd., p 443.

Les mécanismes suivants s'appliquent:

1. **Affinement de grain** lors de la solidification d'un alliage hypereutectique (> 0,4% Sc)
2. **Durcissement par précipitation** des particules d'Al_3Sc (2 à 6 nm) lorsque traité thermiquement entre 250 et 400°C
3. À haute température (400-600°C), des précipités d'Al_3Sc (20-100 nm) se forment, produisant une excellente **résistance à la recristallisation**

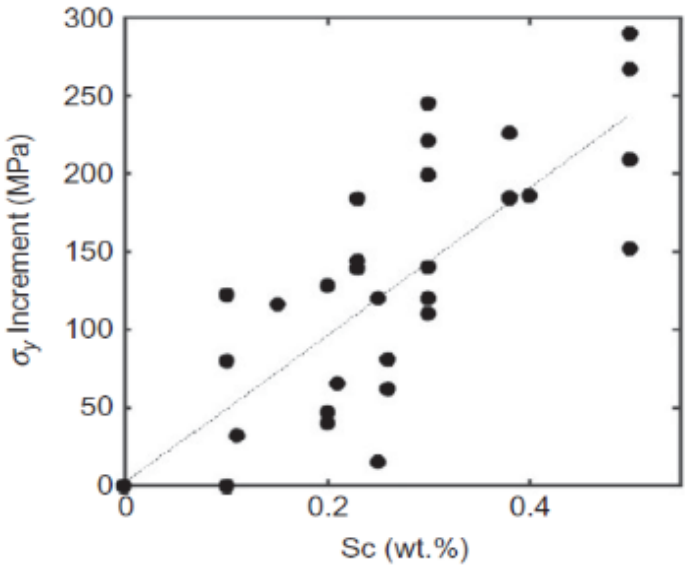


Évolution de la microdureté d'un lingot Al-0,4%Sc en fonction du temps à différentes températures de V.V. Zakharov,, *Mat. Sci. and Eng. A280* (2000) p.30-36

Scandium dans l'aluminium – Les avantages

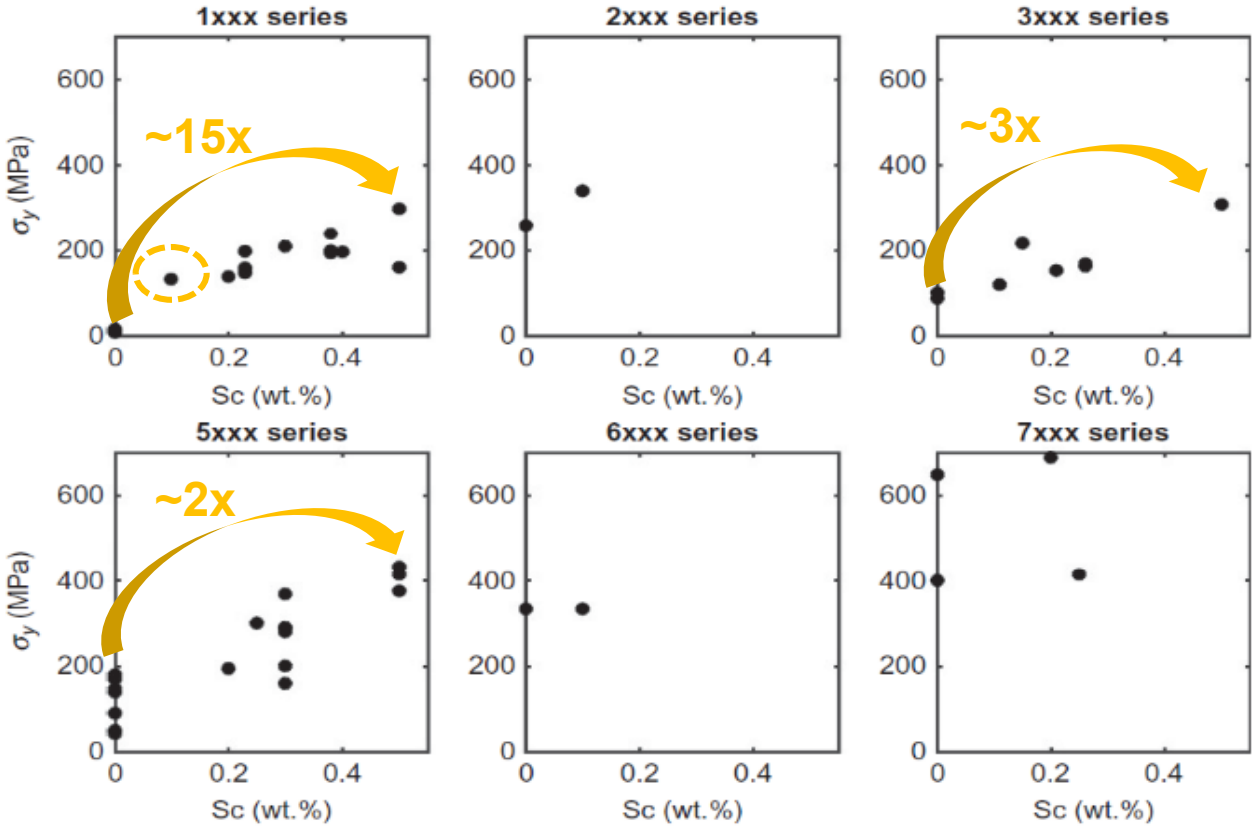
Augmentation de la limite élastique

- Faibles additions de Sc (0,1 à 0,5%) augmentent la limite élastique
  - ~50 MPa d'augmentation par 0,1% Sc



Augmentation moyenne de la limite élastique en function du %Sc (tous les alliages confondus) de Dorin, T et ass., 2018, *Fundamentals of Aluminium Metallurgy*, Elsevier Ltd., p 443.

Gains les plus importants pour les alliages non-traitable thermiquement (1xxx, 3xxx, 5xxx)



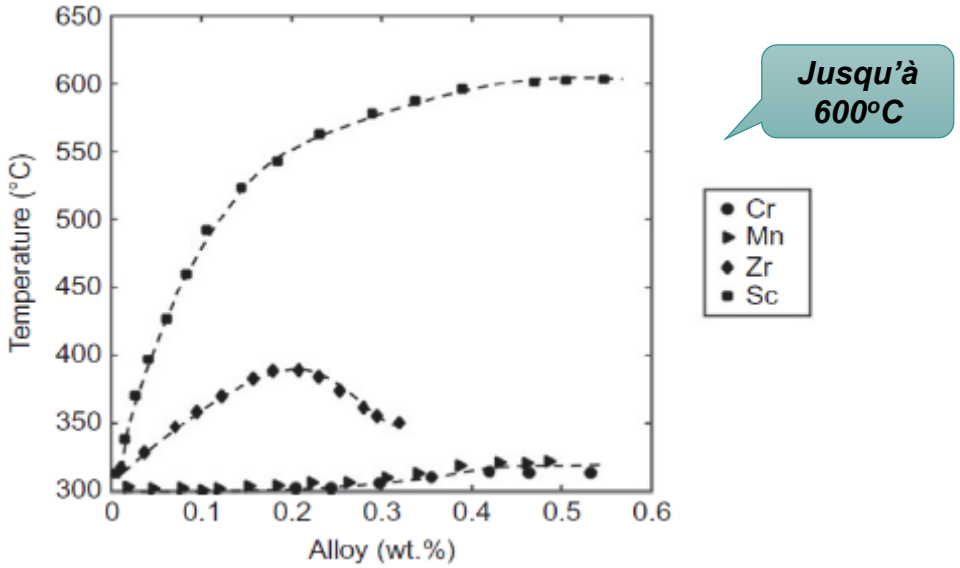
Augmentation de la limite élastique en fonction du %Sc pour different alliages from Dorin, T and al., 2018, *Fundamentals of Aluminium Metallurgy*, Elsevier Ltd., p 443.

© Rio Tinto 2020

Scandium dans l'aluminium – Les avantages

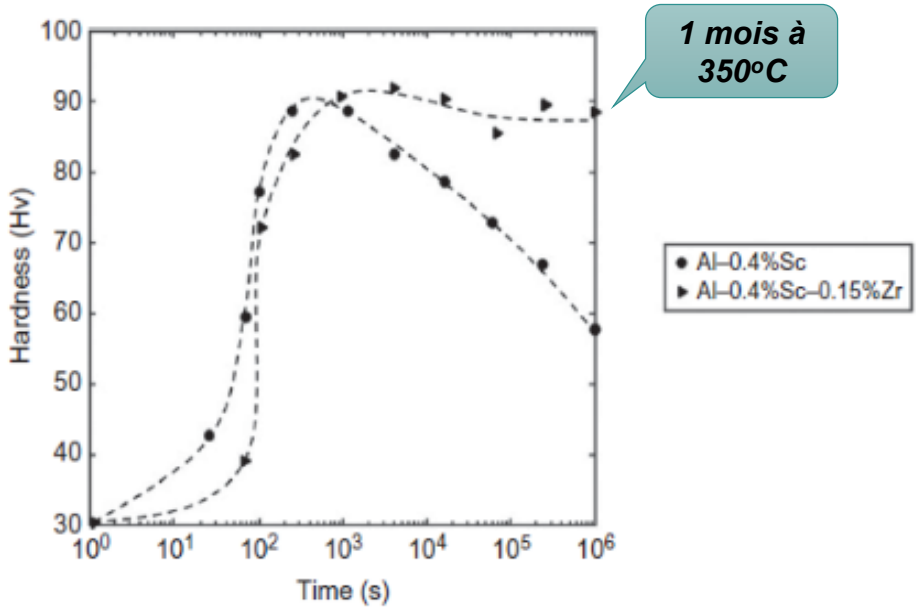
Effet d'anti-recristallisation

- Le Sc est l'élément le plus efficace pour empêcher la recristallisation suivi par le **Zr**, le **Mn** et le **Cr**



Effet des éléments d'alliage sur la température de recristallisastion (50%) sur une feuille d'aluminium laminé à froid de Zakharov, *Effect of scandium on the structure and properties of aluminum alloys*, Met. Sci. Heat Treat. 45 (7–8) (2003) 246–253.

- Jusqu'à 50% du Sc peu être remplacé par le **Zr** augmentant la **stabilité à haute température**



Microdureté d'un alliage Al-0,4%Sc et Al-0,4%Sc-0,15%Zr traité thermiquement à 350°C de Davydov, V.G., *Scientific principles of making an allowying addition of Sc to Al alloys*, Mater. Si. Eng. A280 (2000) P. 30-36

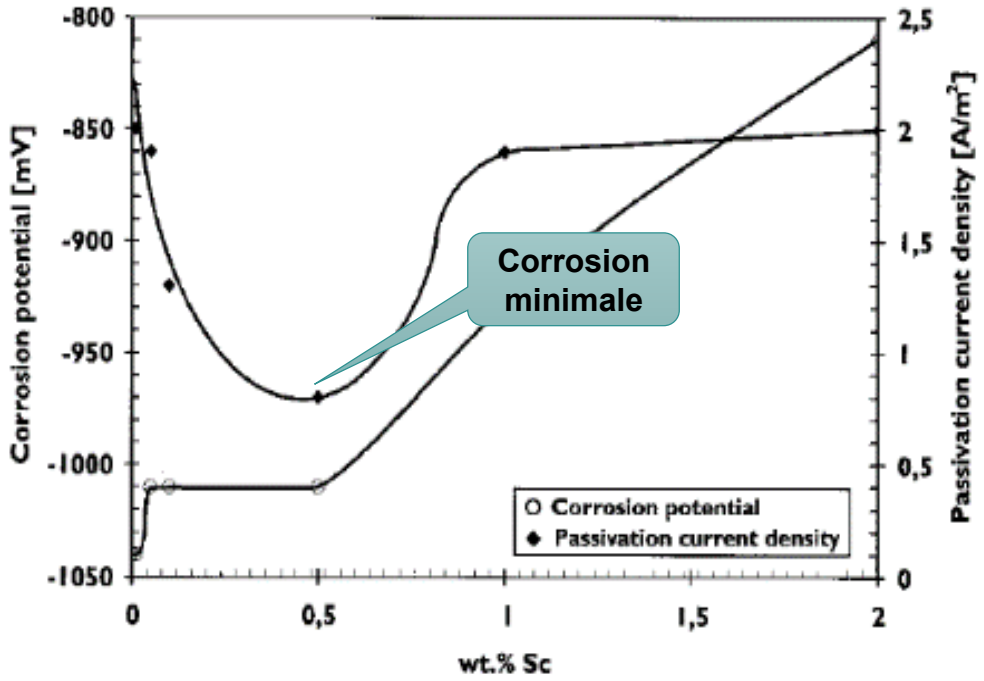
Scandium dans l'aluminium – Les avantages

Performance en corrosion

- Rend un alliage **plus noble** mais dépend du %Sc et du traitement thermomécanique
- Améliore la résistance à la corrosion des alliages de la série **2xxx** (générale) et **7xxx** (CSC)
- Au-dessus de 0,5%Sc, les précipités d'Al_3Sc causent une **corrosion microgalvanique** augmentant la piqûration

Déchirure à chaud

- Sc performe mieux que les affineurs de grains courants (TiB_2 ou TiC) ce qui réduit la tendance à la **déchirure à chaud**



Variation de potential de corrosion et du courant de passivation dans un alliage binaire Al-Sc de Royset, J. & ass., *Scandium in aluminium alloys,* International Material Reviews, 2005, Vol. 50, No.1 P. 19-44

11 | © Rio Tinto 2020

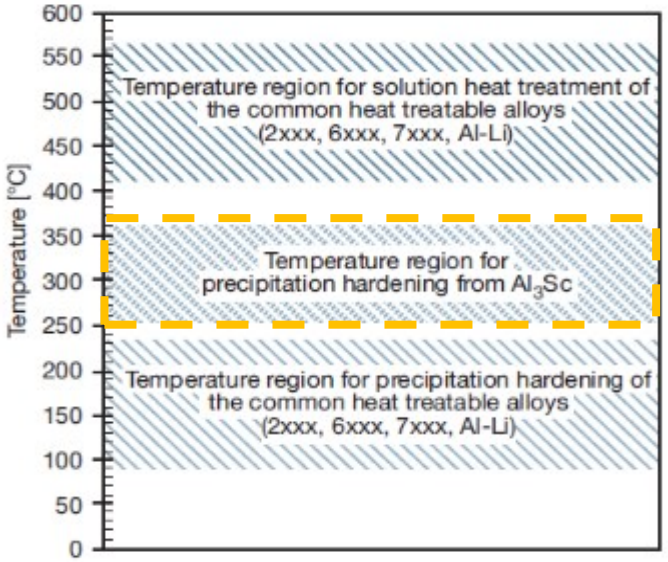
Scandium dans l'aluminium – Les limitations

Traitement thermique

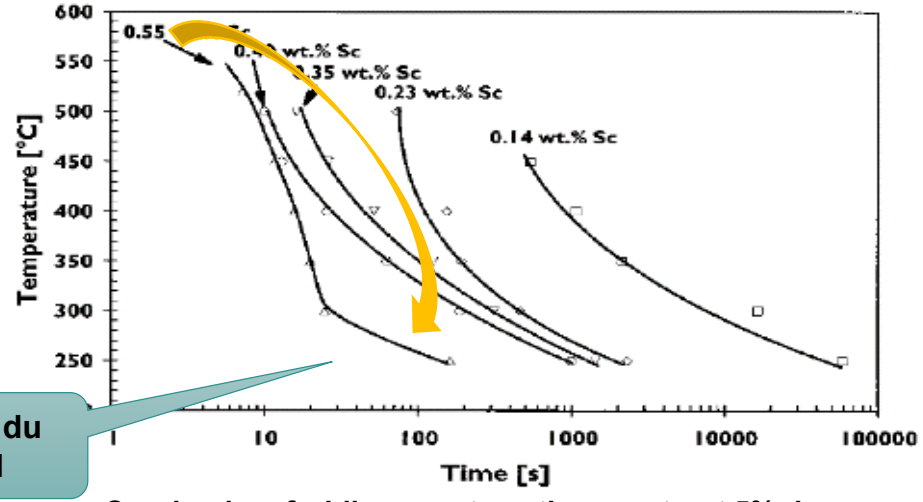
- Difficile de concevoir un traitement applicable aux alliages traitables thermiquement
- **Mise en solution** complète du Sc est difficilement atteignable
- La vitesse de refroidissement est critique pour assurer une **sursaturation** du Sc

Mise en forme

- La **vitesse de précipitation** des Al_3Sc dépend du contenu en Sc, de la température de traitement et du degré d'écrouissage
- Sc a un impact négligeable sur la **mise en forme**
- Dispersoïdes d'Al_3Sc préservent une microstructure fine lors de déformations à haute température



Région type permettant la mise en solution et le durcissement par précipitation de l'aluminium de Royset, J., Metallurgical Science and Technology, p. 11-21



Courbe de refroidissement continu montrant 5% de transformation des alliages Al-Sc de Zakharov, V.V., Met. Seci. Heat Treat., 1997, p.61-66

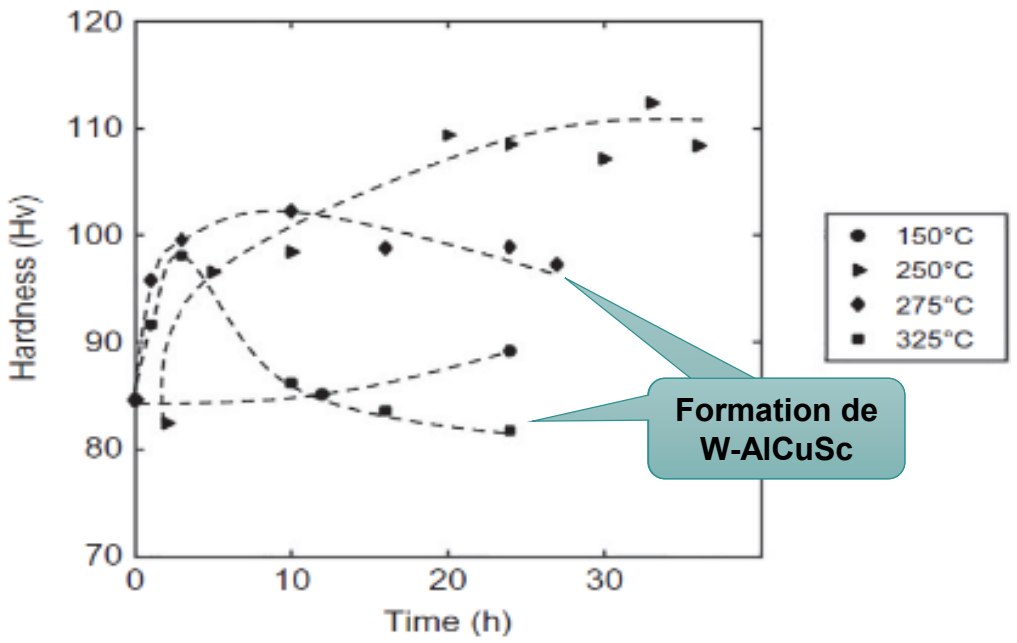
Scandium dans l'aluminium – Les limitations

Interaction du Sc avec d'autres éléments

- **Précipités ternaires** avec le **Cu** et le **Si** qui diminuent la quantité de Sc disponible pour précipiter (Al_3Sc)
  - Si >0,8% → V-$AlSc_2Si_2$ durant la solidification
  - Cu si le Mg <1% → W-AlCuSc (T> 250°C)
- Le Sc n'interagit pas avec le **Mn,** le **Zn,** le **Mg** et le **Li**

Économique

- Augmente significativement le prix de l'alliage de base (**> 2x**)
- **Microdosage** (<0,1%Sc) et l'addition de **Zr** pour remplacer une partie du Sc sont prometteur
- **Propriétés uniques** des alliages avec Sc doivent être considérées dans l'évaluation des coûts
- Diminution potentielle des coûts de **mise en forme**



Évolution de la dureté en function du temps et de la température pour un alliage Al-4%Cu-0.2%Sc de Dorin, T and al., 2018, *Fundamentals of Aluminium Metallurgy*, Elsevier Ltd., p 453.

- Projet de Rio Tinto
- Effet du scandium dans l’aluminium
- **Exemples d’application**
- Défi Québec Al-Sc et autres références

Échangeurs de chaleur

Une conductivité et une résistance supérieure après brasage

Contexte

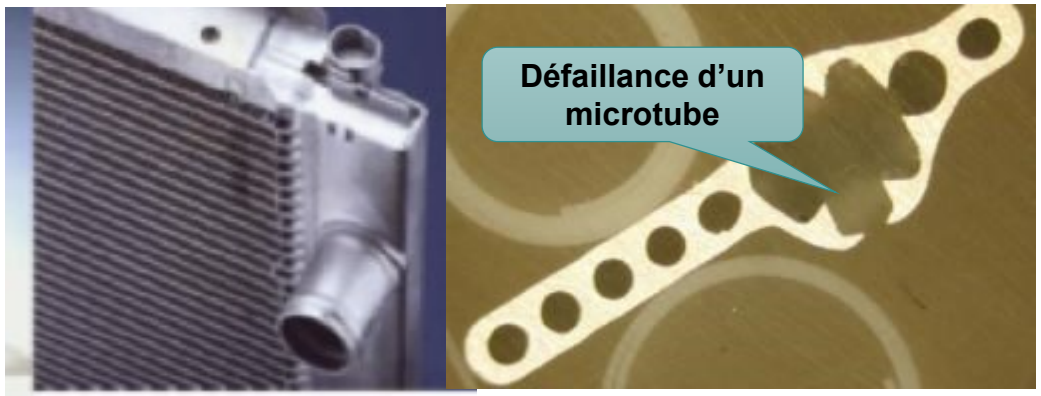
- Les alliages d'aluminium utilisés (3xxx) perdent leur propriétés mécaniques et leur résistance à la corrosion dû à la **recristallisation** après **brasage** (600°C)

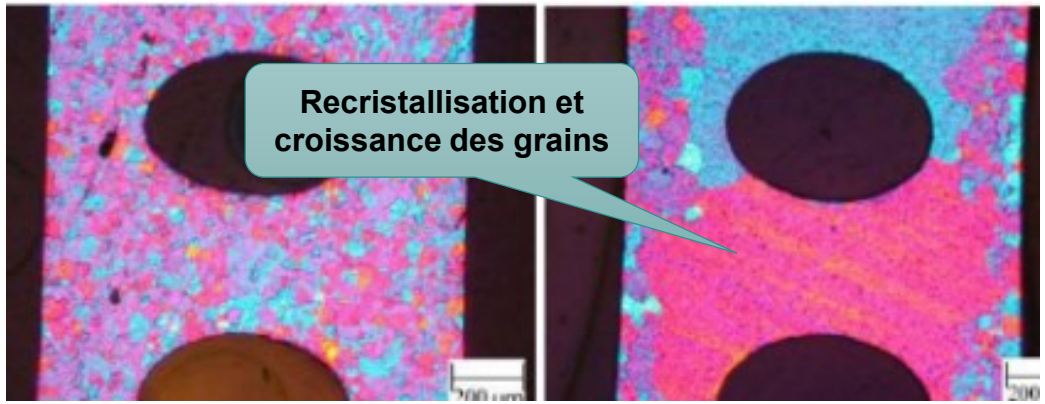
Avantages du scandium

- Un alliage 1xxx+Sc offre des **forces d'extrusion moindres** et présente un **conductivité thermique supérieure** (vs 3xxx)
- Plus grande résistance mécanique permet de **diminuer l'épaisseur de tubes** ou d'augmenter la pression / température d'opération
- **Augmenter l'efficacité** de l'échangeur et réduire sa taille

Exemple

- Un alliage **1xxx+Sc** permet d'augmenter de **80% la pression d'éclatement** comparativement à un alliage AA3102





Microtubes d'aluminium AA3102 avec 4% de deformation (avant et après brasage) de Miller, H., 2006, "Instability and Failure in Aluminum Multi-Channel Tubing," MSME Thesis Ohio University.

Soudage (TIG)

Fils de soudage à haute résistance mécanique

Contexte

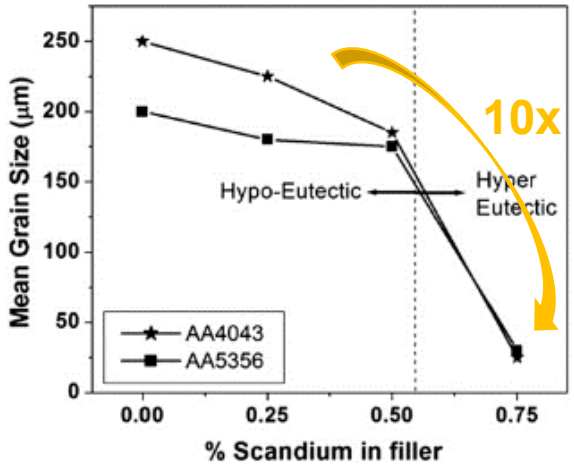
- L'aluminium est sensible à la fissuration lorsque soudé
- Fils d'**Al-Mg** (5xxx) augmentent la résistance mécanique mais diminue la pénétration par rapport aux fils d'**Al-Si** (4xxx) qui offrent une plus grande **fluidité**

Avantages du scandium

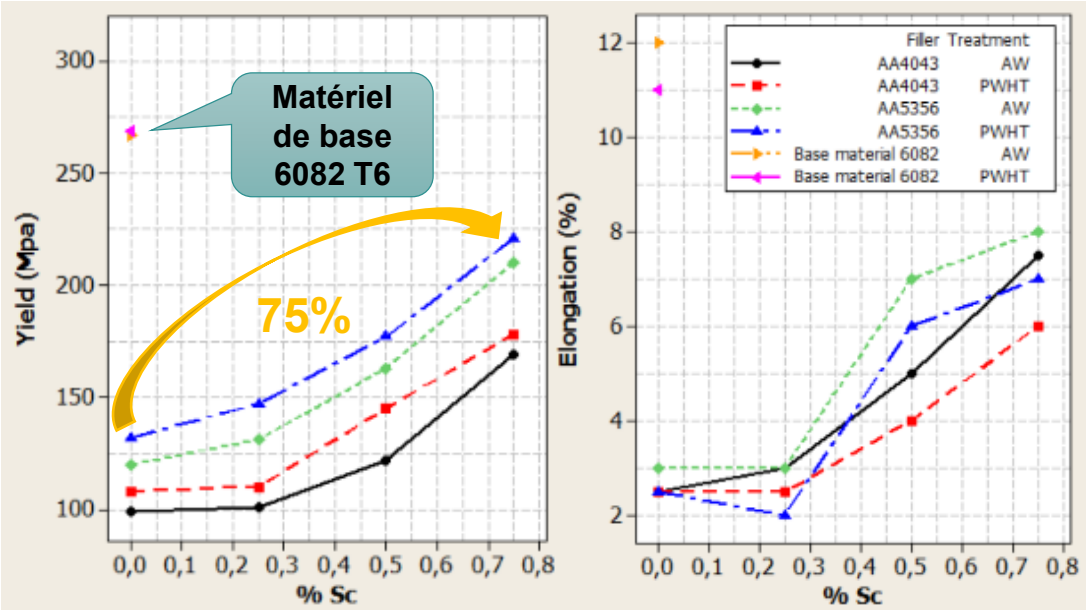
- Au-dessus de 0,5%Sc, le scandium agit comme affineur de grain ce qui diminue la tendance à la **fissuration**
- Grande résistance en fatigue et en corrosion est atteinte en utilisant le **Sc dans le fil seulement** (économie)
- Élimination possible de la mise en solution et de la trempe

Exemple

- 6082 (T6) soudé avec un fil de 4043 ou 5356 modifié au Sc montre que la résistance de la soudure peut augmenter de **75%**



Taille des grains dans la soudure selon le %Sc d'un fil AA4043 et AA5356, N.K. Babu et al., Materials Chemistry and Physics, 137 (2012) p. 543-551



Propriétés en tension du matériel de base et de la soudure assemblée avec un fil AA4043 et AA5356 (tel que soudé AS et traité thermiquement PWHT) N.K. Babu et al., Materials Chemistry and Physics, 137 (2012) p. 543-551

Fabrication Additive (FA)

Poudre à haute résistance spécifique

Contexte

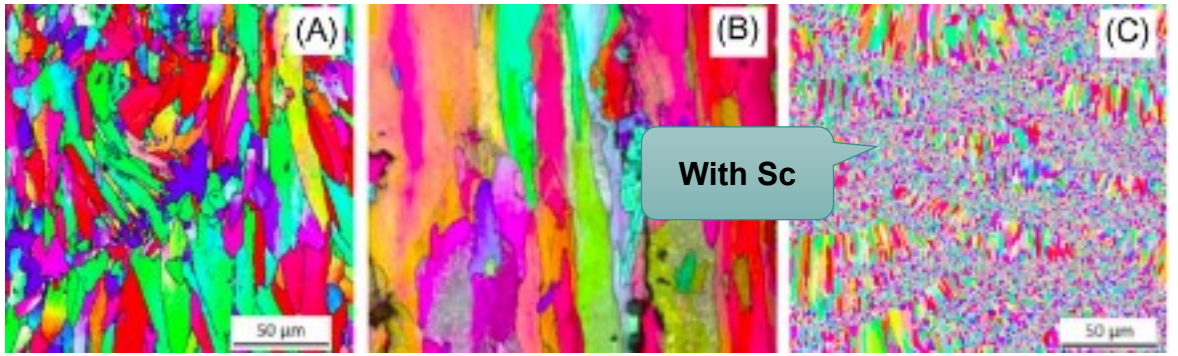
- **Temps pour bâtir** une pièce est proportionnel au volume et est indépendant de sa complexité
- Alliages Al-Si utilisés en FA (AlSi10Mg, AlSi7Mg, F357) souffrent d'une **recristallisation** des couches adjacentes

Avantages du scandium

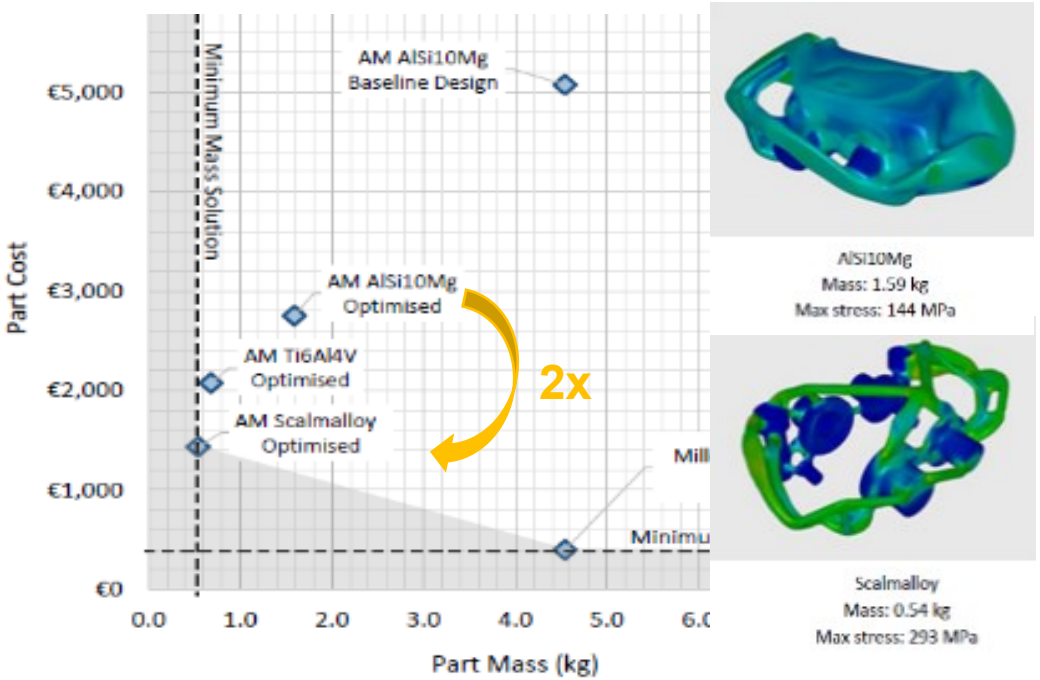
- Le Sc augmente la température de recristallisation en maintenant une **fine microstructure** dans la **ZAT**
- Le Sc réduit les retassures, les déchirures à chaud et produit **moins d'anisotropie** (i.e. variation de propriétés selon x-y-z)
- Le recuit nécessaire aux pièces (~300°C) diminue les propriétés des alliages Al-Si mais augmente celles des alliages Al-Sc

Exemple

- Les simulations montrent que des pièces en alliage 5083+0,6%Sc sont **2x moins dispendieuses** à produire que l'alliage AlSi10Mg



Comparaison de microstructure de pièces produites par SLM (machine EOS M280) A) **AlSi7Mg** B) **AlMgMnZr and** C) **AlMgScZr** de Rometsch, P. *Aluminum alloys for SLM-towards improved performance, 2019.*



Solution optimisée pour la FA en utilisant Paramatters de Metal Additive Manufacturing Spring 2019

Webinaire organisé par

- Projet de Rio Tinto
- Effet du scandium dans l'aluminium
- Exemples d'application
- **Défi Québec Al-Sc et autres références**

Défi Québec Al-Sc

Étape 1 (Concepts)

- Ouvert aux résidants du Québec
- Soumissions reçues avant le **29 octobre 2021**
- Jusqu'à trois (3) soumissions gagnantes de l'étape 1 recevront **25 000 $ CAD** pour réaliser une démonstration (Étape 2)
- L'annonce des gagnants de l'étape 1 sera faite le **12 novembre 2021**



Étape 2 (Faisabilité)

- L'étape 2 commencera le **29 novembre 2021** avec les gagnants de l'étape 1
- Gagner jusqu'à **100 000 $ CAD** pour réaliser le développement de votre application

Pour plus d'information consulter:
Aluquebec.com

Enregistrer vous sur le site de HeroX
pour rester informer sur l'évolution du défi

RioTinto ELEMENT NORTH 21

Webinaire organisé par aluQuébec Grappe de l'aluminium | CeiAl Centre d'expertise et d'innovation sur l'aluminium

Références

- Wébinaire organisé par **TMS** (libre d'accès)
- T. Dorin, ***Aluminium Scandium Alloys***, Fundamentals of Aluminium Metallurgy. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102063-0.00012-6, 2018 Elsevier Ltd.
- J. Røyset, N. Ryum, ***Scandium in aluminium alloys***, Int. Mater. Rev. 50 (1) (2005) 19–44
- V.G. Davydov, ***Scientific principles of making an alloying addition of scandium to aluminium alloys***, Mater. Sci. Eng. A 280 (1) (2000) p. 30–36.
- L.S. Toropova, **Advanced Aluminum Alloys Containing Scandium**, Taylor & Francis (1998)



Webinaire organisé par



Rendez-vous à aluquebec.com pour la liste complète des événements

Prochaines activités

6 octobre 2021 – 11h

Les adhésifs structuraux

Yves Archambault

17 novembre 2021 – 10h30

Conception d’assemblages d’aluminium soudés

David Leroux

Merci pour votre attention.
Est-ce qu'il y a des questions?



aluquebec.com