



RÉSEAU
TRANS~
NETWORK



*Enjeux techniques et solutions possibles
pour les fonderies d'aluminium*



Yohan Tremblay, ing.

Président et métallurgiste principal

www.solutionsfonderie.com

02 février 2017

Déroulement

- Introduction
- Les enjeux
- Les propriétés mécaniques
- Théorie des bifilms de John Campbell
- Design et procédé pour minimiser les bifilms
- La microstructure
- Contrôle du bain de métal

Introduction

Un enjeu ? c'est quoi ?

Ce que l'on peut gagner ou perdre dans une entreprise quelconque. (Dictionnaire Larousse)

- On peut gagner:
 - De nouveaux marchés, clients, produits
 - La pérennité et la croissance de l'entreprise
 - Des profits et des investissements
- On peut perdre:
 - Retours clients, des rejets ou des défauts
 - Instabilité des propriétés des pièces
 - Des coûts plus élevés, un manque de productivité
- Les enjeux sont en fait des risques ou des opportunités que rencontrent les fonderies

Les enjeux

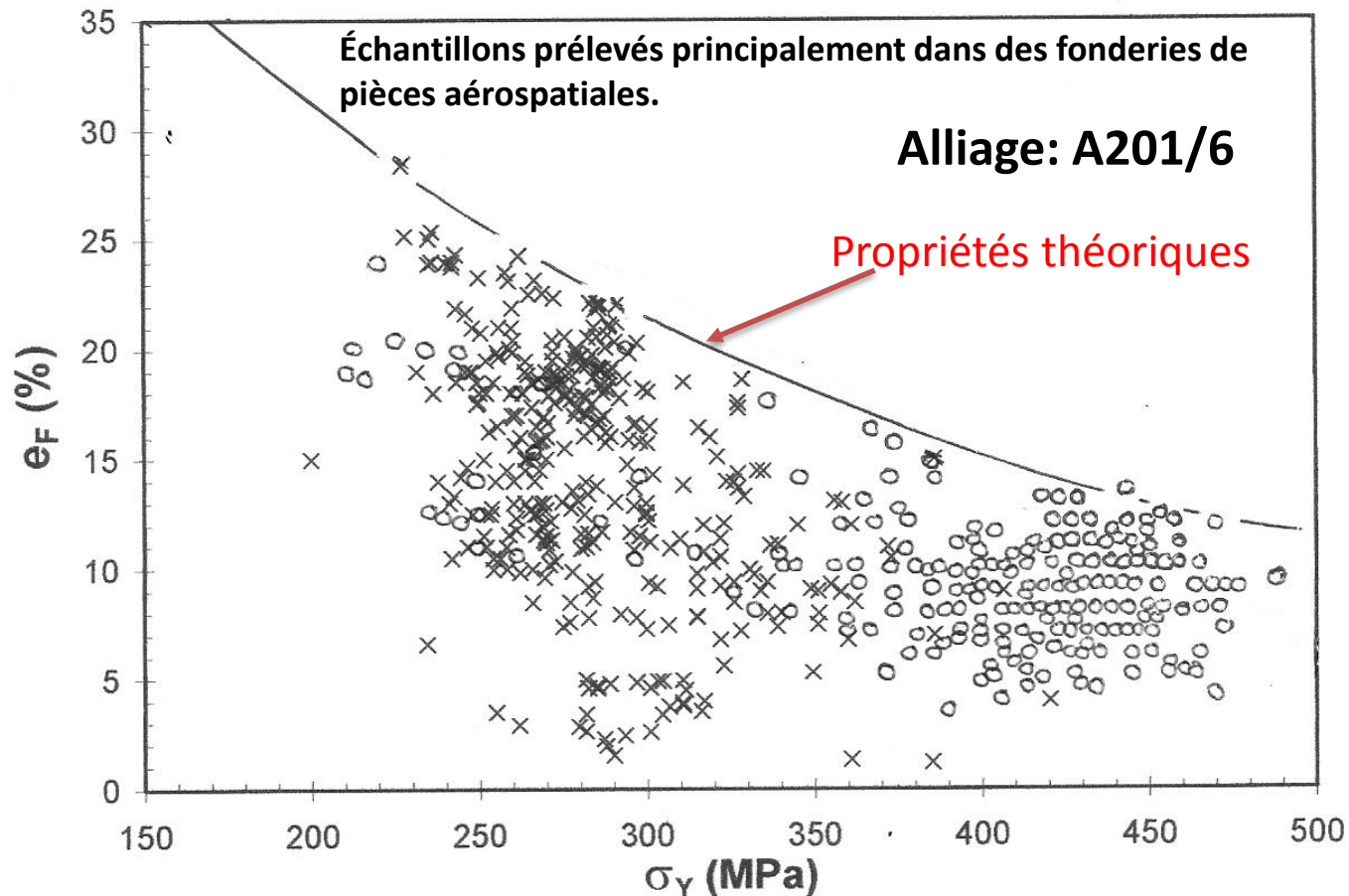
1. Obtenir des pièces ayant des propriétés mécaniques stables et élevées pour fournir les marchés en croissance.
2. Adapter son procédé et ses designs d'alimentation pour minimiser les bifilms.
3. Offrir un développement des pièces plus rapide en utilisant les technologies d'impression 3D et de simulation.
4. Offrir un service clé en main de la conception à l'usinage aux utilisateurs de pièces.
5. Formation et rétention de la main-d'œuvre technique.



« L'innovation systématique requiert la volonté de considérer le changement comme une opportunité. » **Peter Drucken**

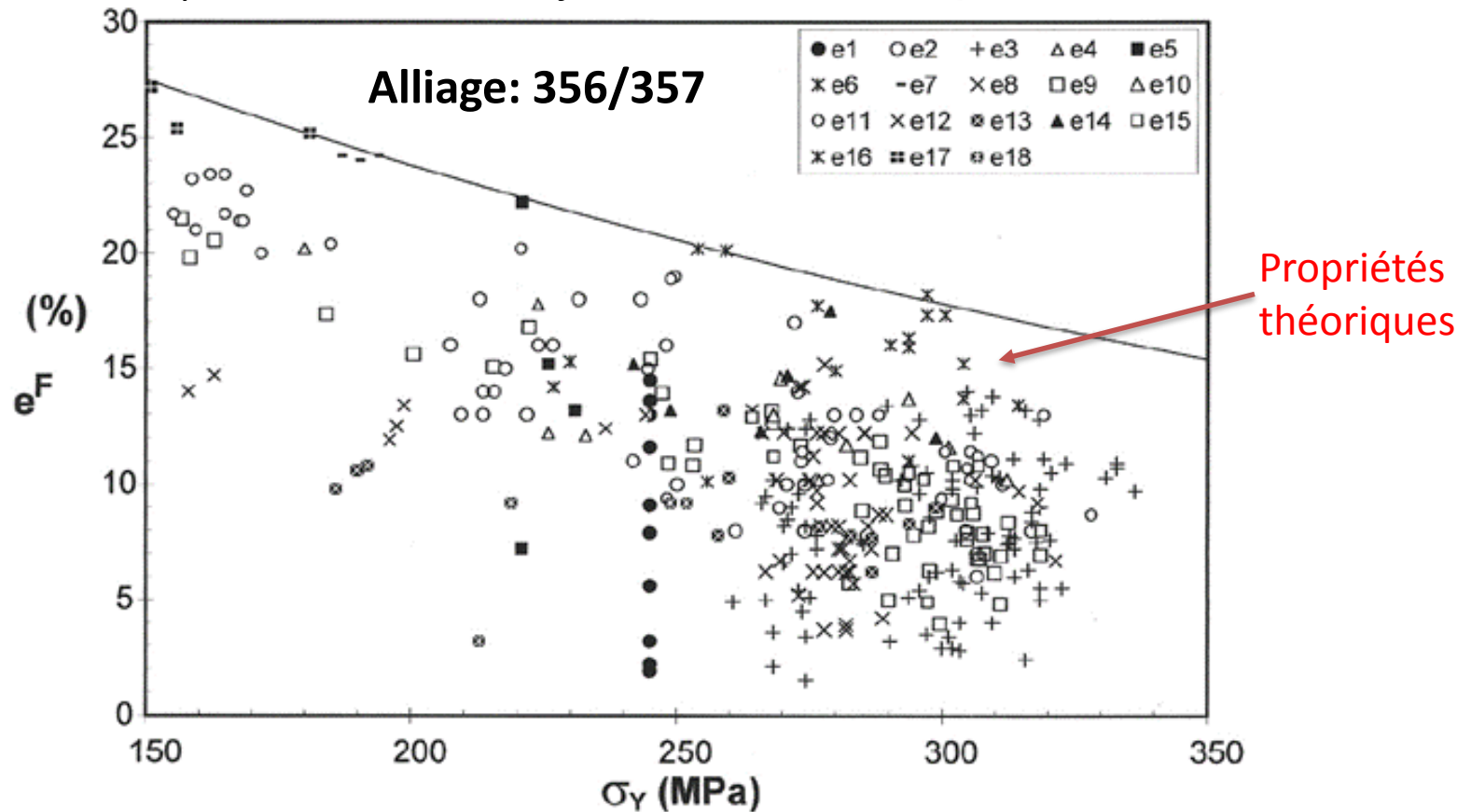
Les propriétés mécaniques

- La résistance et l'allongement varient beaucoup entre différentes fonderies, différentes pièces et différentes journées.



Les propriétés mécaniques

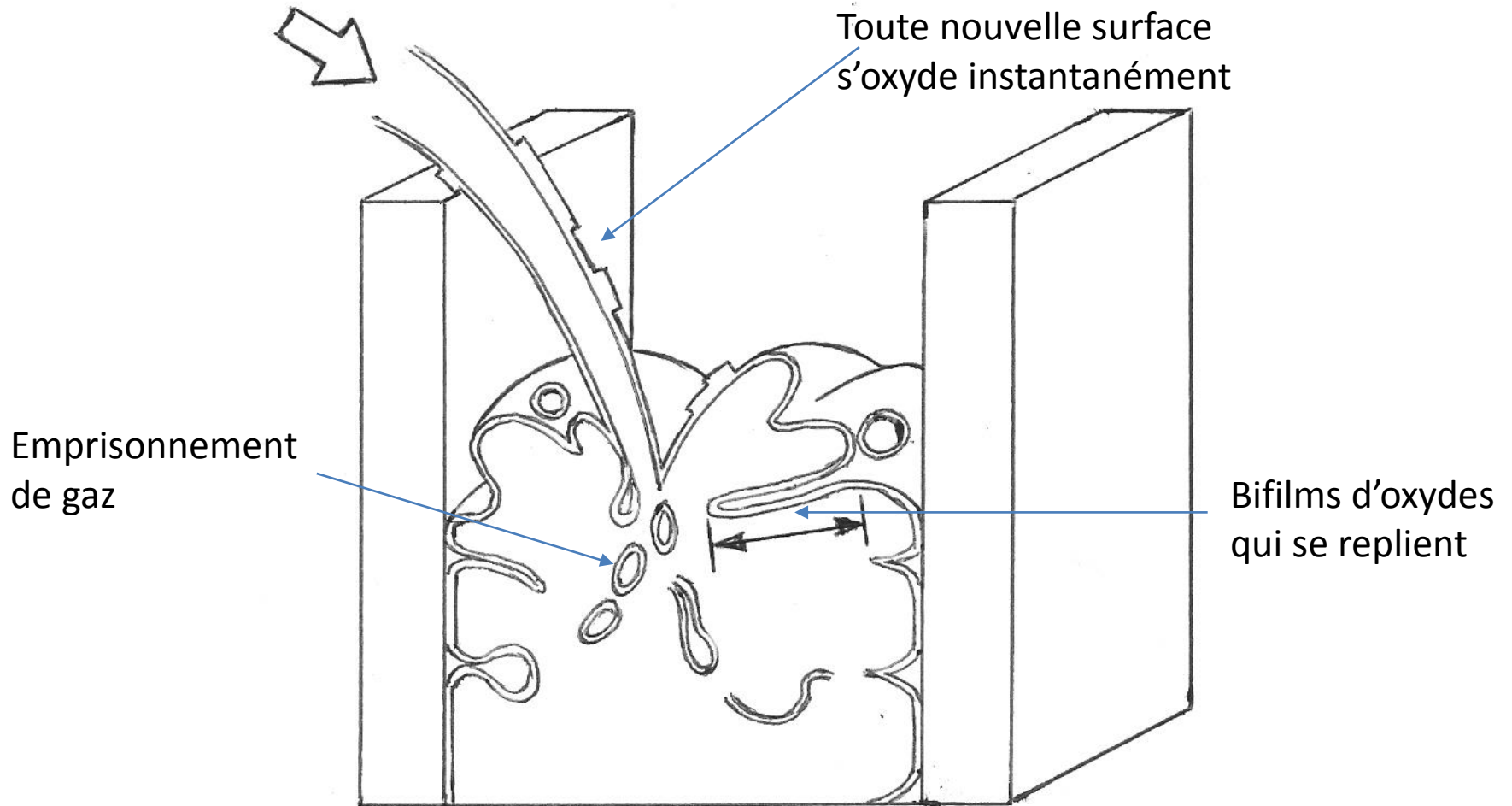
- La résistance et l'allongement varient beaucoup entre différentes fonderies, différentes pièces et différentes journées.



Les propriétés mécaniques - causes

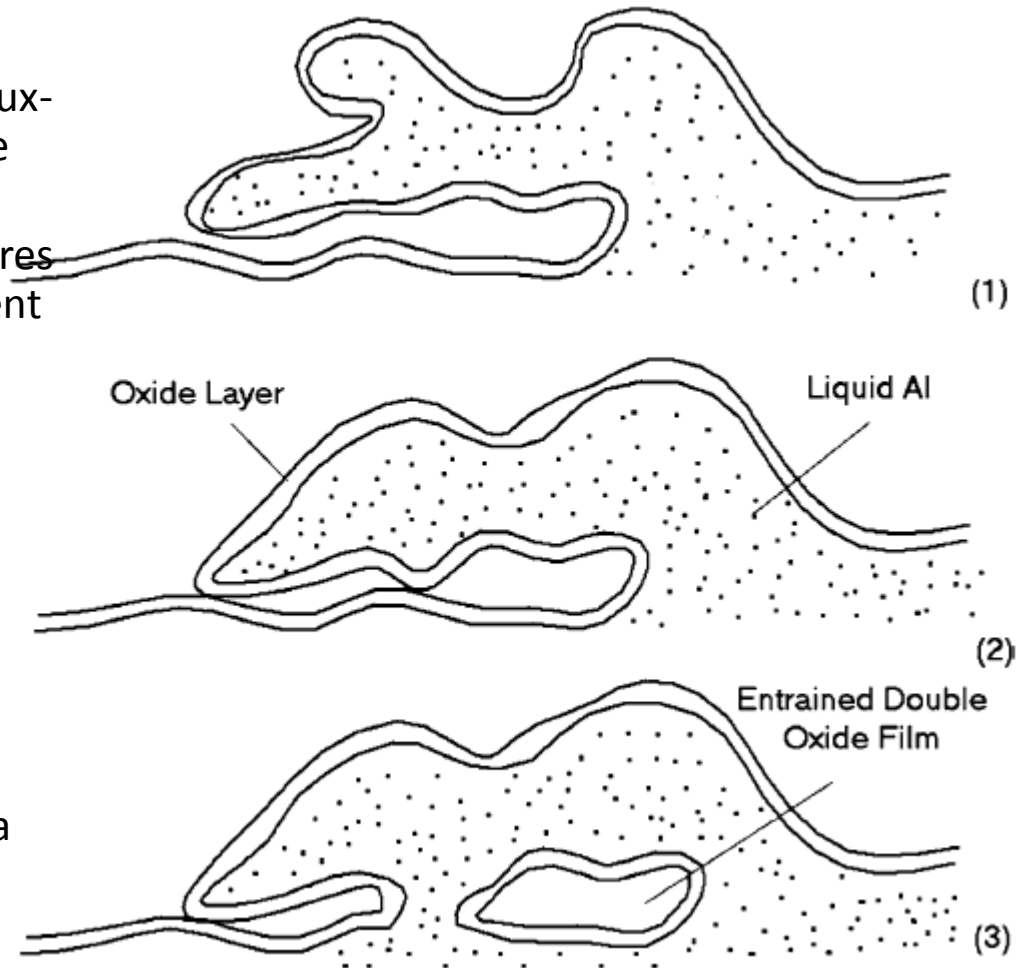
- Pourquoi les propriétés mécaniques sont-elles variables et basses par rapport à la théorie ?
- **Causes importantes:**
 - Les porosités et les inclusions
 - Les bifilms d'oxydes
 - Les bulles d'hydrogène
 - La microstructure
 - La dimension des grains
 - Affinage des grains
 - Vitesse de refroidissement
 - La morphologie de la phase eutectique Al-Si
 - La présence de phases indésirables (ex. Phase Beta Al-Fe)
 - Les variations du procédé

Turbulence = création de défauts



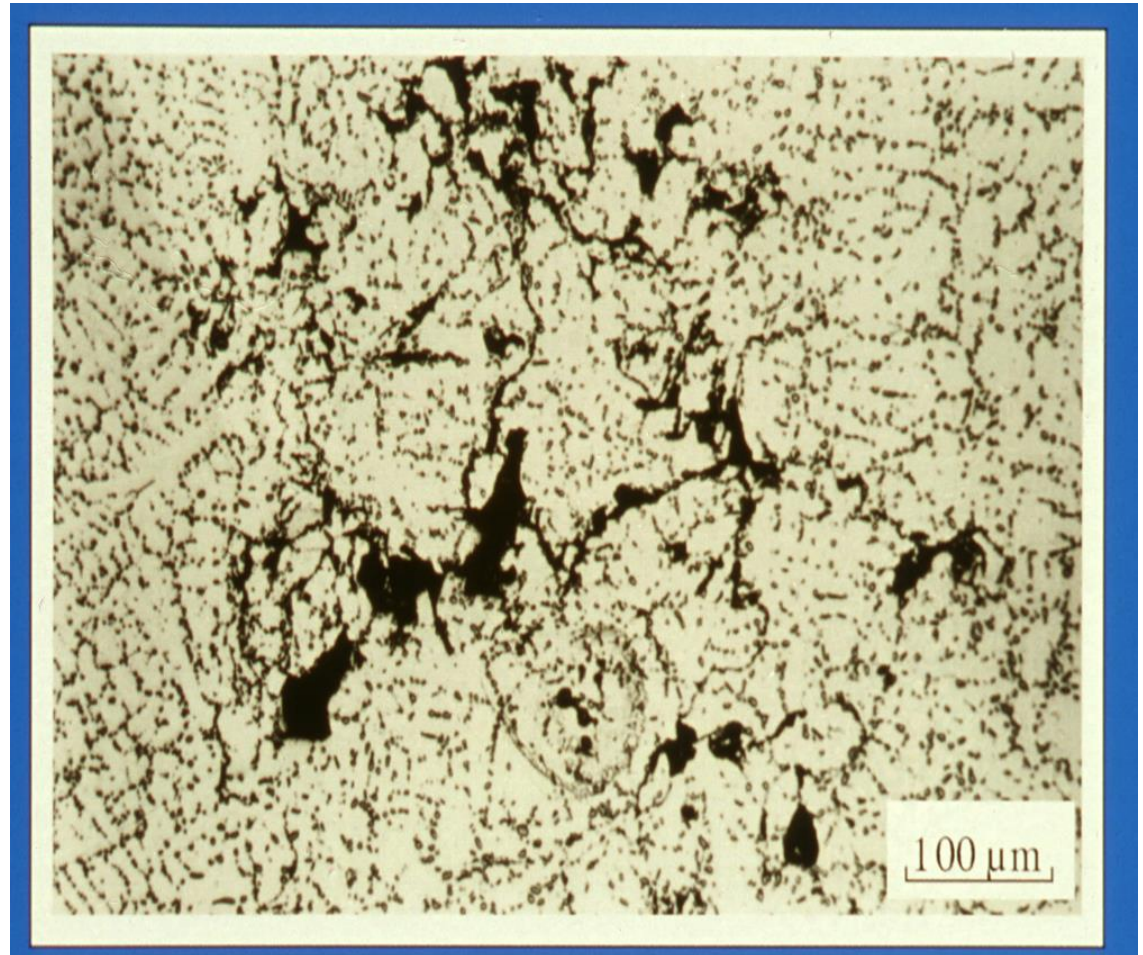
Les bifilms d'oxydes

- Les films d'oxydes se replient sur eux-mêmes et emprisonnent du liquide et du gaz.
- Les deux surfaces oxydées intérieures ne se lient pas ensemble et forment une craque, c'est le bifilm.
- L'interface intérieure devient une zone faible d'où démarrent les fissures.
- Plus il y a de bifilms et plus la fissuration est facile.
- La surface d'oxyde extérieure du bifilm est liée à la matrice. Ces surfaces deviennent des sites de germination pour la formation et la croissance des phases en cours de solidification.



Microstructure de bifilms

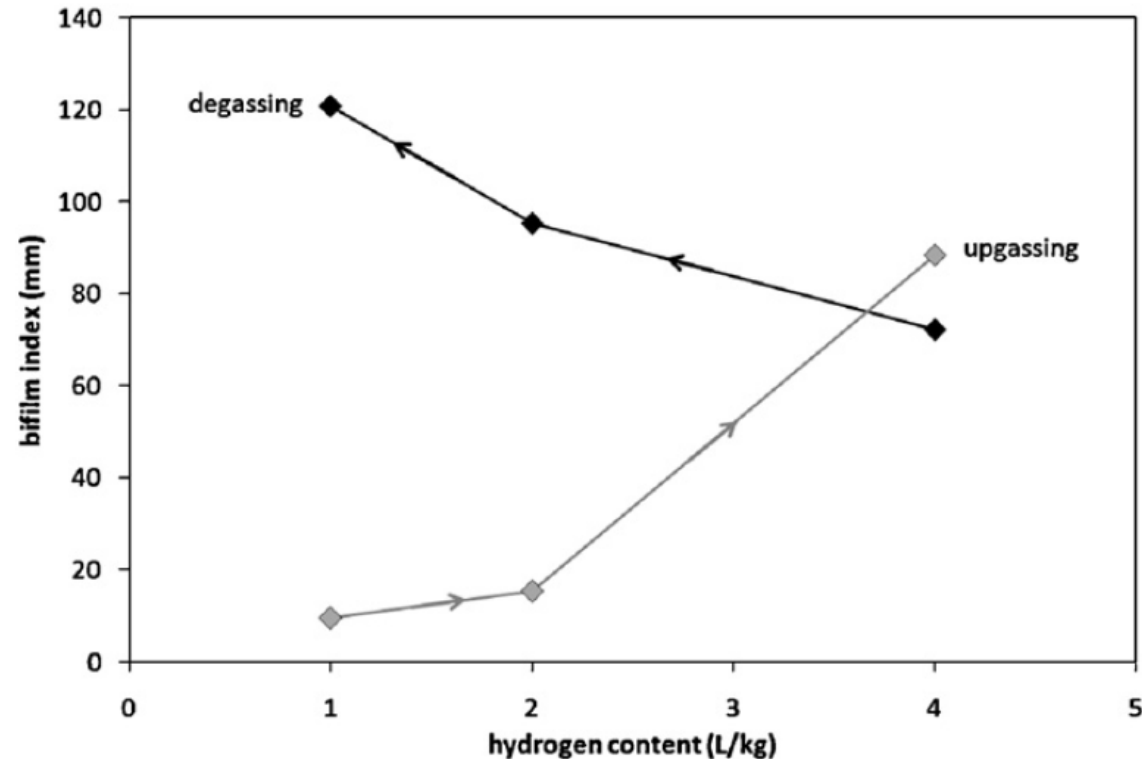
- Cet exemple montre l'effet de bifilms enroulés avec l'aluminium liquide.
- La surface oxydée va faciliter la précipitation de l'hydrogène.
- Les bifilms sont poussés par la solidification et se retrouvent souvent concentrés aux joints de grains.



L'hydrogène et les bifilms

- L'hydrogène a besoin de bifilms pour précipiter.
- Le dégazage diminue la concentration d'hydrogène, mais a tendance à augmenter les bifilms.
- Au départ, les gros bifilms vont flotter vers la surface et seront diminués.
- Les plus petits films sont dispersés et restent en suspension.
- Un dégazage qui n'est pas bien ajusté et suivi risque d'amener les gros bifilms de la surface dans le bain.
- La procédure de dégazage est critique et doit être contrôlée.

Effet de l'hydrogène sur le bifilm index (mm)



Réf : J.Campbell, 2011



"We tend to overvalue the things we can measure and undervalue the things we cannot." — John Hayes

Essais de pression réduite (RPT)

- L'effet de la pression réduite est de gonfler les bifilms.
- Le RPT permet d'obtenir **l'effet combiné** de l'hydrogène et des bifilms.
- L'hydrogène augmente l'effet grossissant.
- Il est difficile de bien interpréter le faciès de l'échantillon RPT.
- Avec la radiographie, nous observons les bifilms que nous ne voyons pas sur le faciès.
- L'interprétation de la qualité du métal avec le RPT peut être faussé.
 - Trop d'oxydes ?
 - Trop d'hydrogène ?

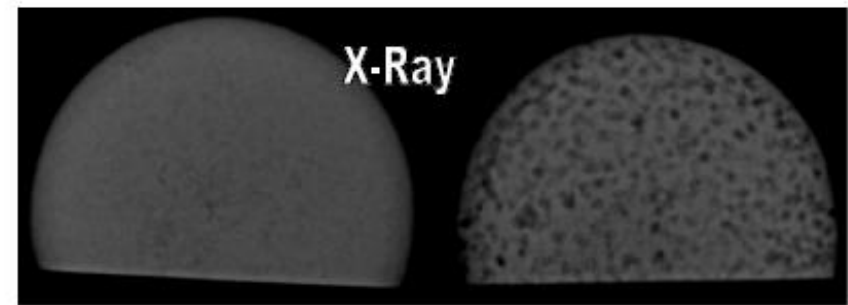
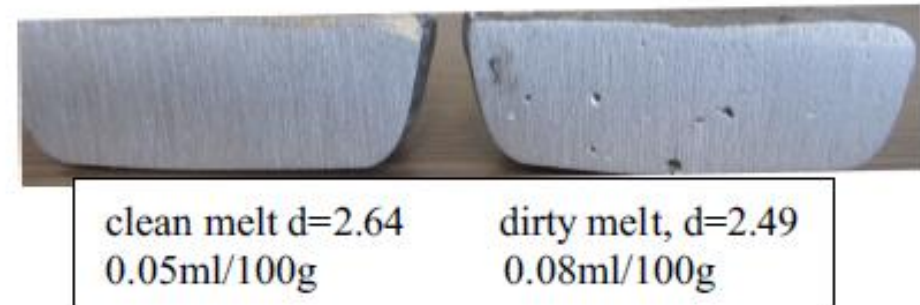
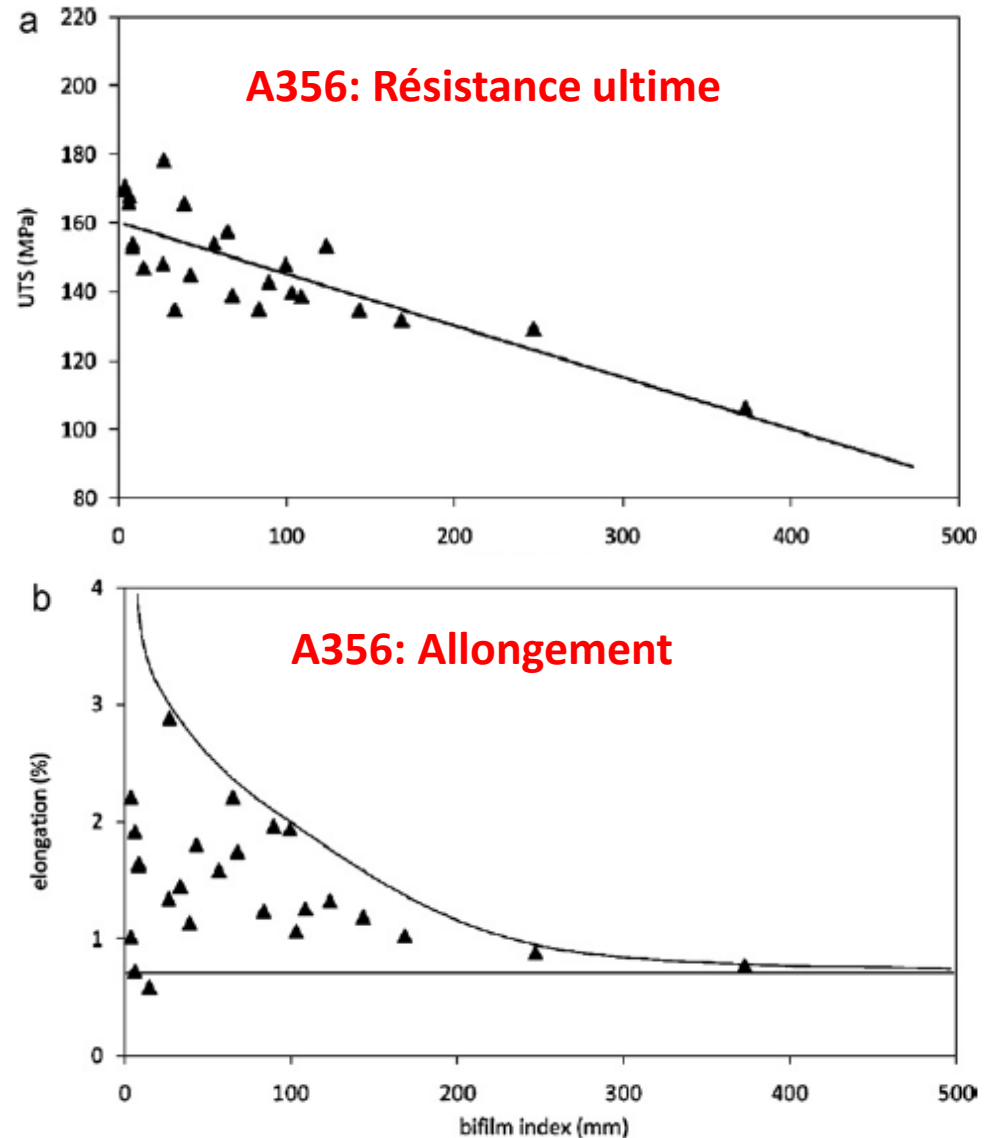


Figure 3. RPT samples of clean and dirty melts with similar low hydrogen content are pictured.

Propriétés mécaniques et les bifilms

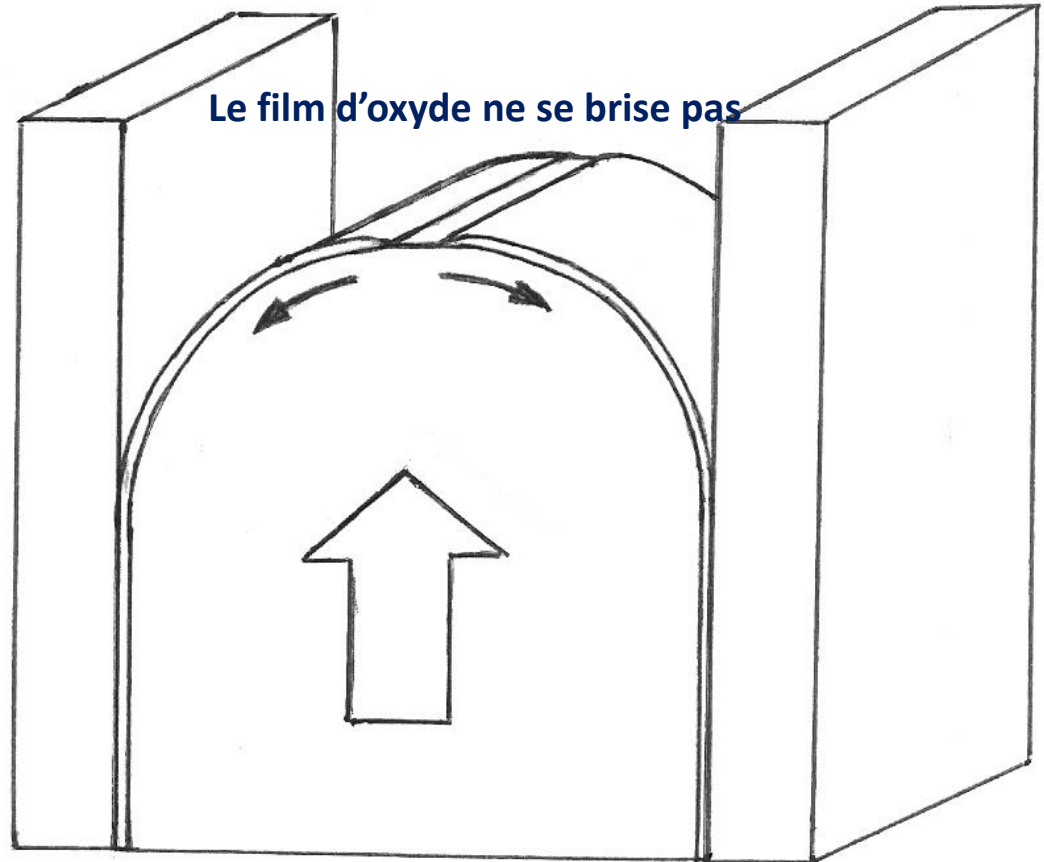
- L'allongement et la résistance diminuent drastiquement en présence de bifilms.
- Les bifilms ont une plus forte influence sur les propriétés mécaniques que l'hydrogène.
- On peut constater que nous devons minimiser les bifilms pour obtenir des propriétés mécaniques stables et élevées.



Remplissage sans turbulence = qualité

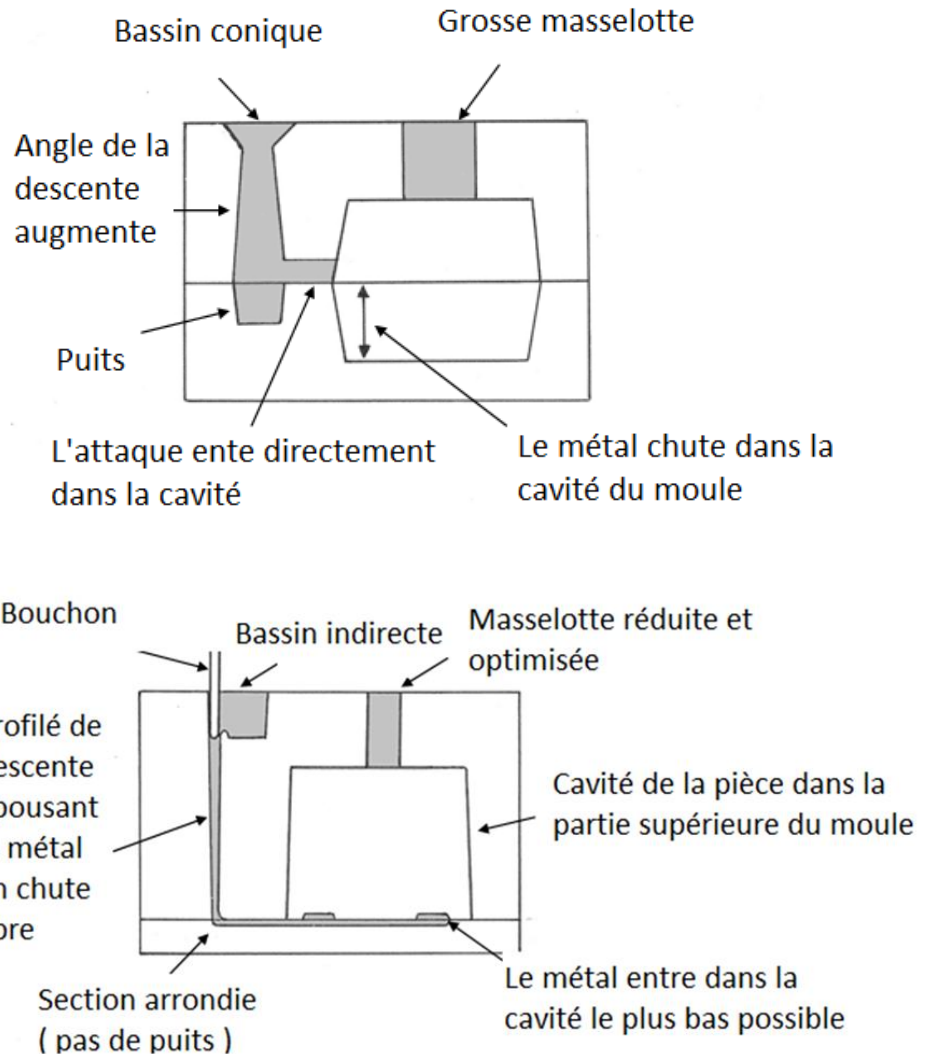
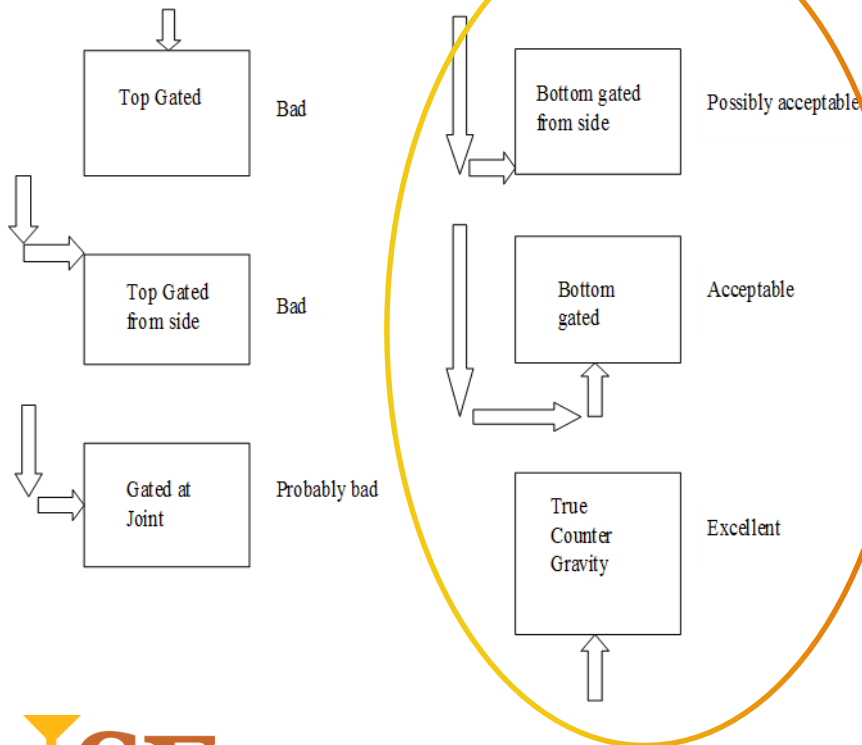
- Pour ne pas créer des bifilms, il faut éviter la turbulence!
- Il faut éviter les transferts de métal par basculement.
- Idéalement, amener le métal du four au moule par une pompe magnétique.
- Vitesse du métal ne doit pas dépasser **0,5 m/s**
- Couler en source

Remplissage en source avec remplissage laminaire

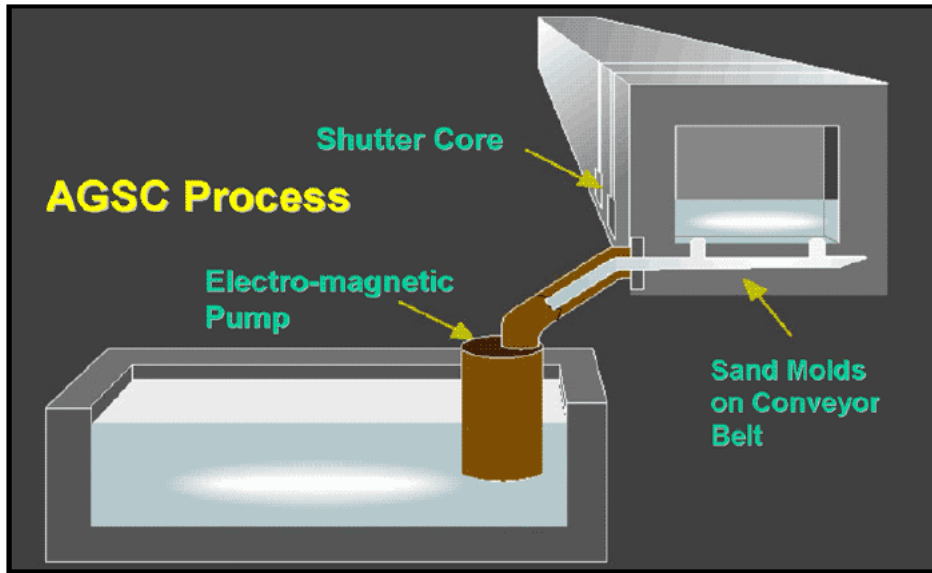


Design d'alimentation par gravité

Il faut revoir les designs d'alimentation pour minimiser la turbulence et l'aspiration d'air.

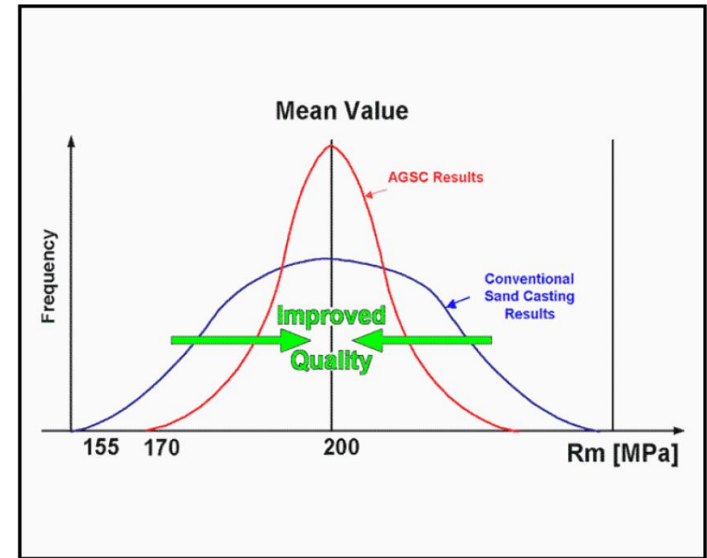


Revoir son procédé selon Campbell

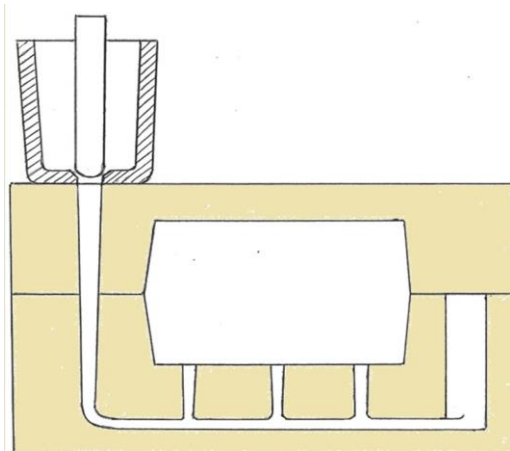


Mold filling from below by means of an electro-magnetic pump

Source: Alcoa



Comparison: Distribution of Rm, conventional sand casting vs. AGSC, schematically
Source: Alcoa



- Les fonderies qui ont adapté leur procédé selon les principes de Campbell ont fait des gains de qualité, de clients et d'argent.
- Les exemples sont de plus en plus nombreux et documentés.
- Les propriétés mécaniques seront élevées et stables.

La microstructure

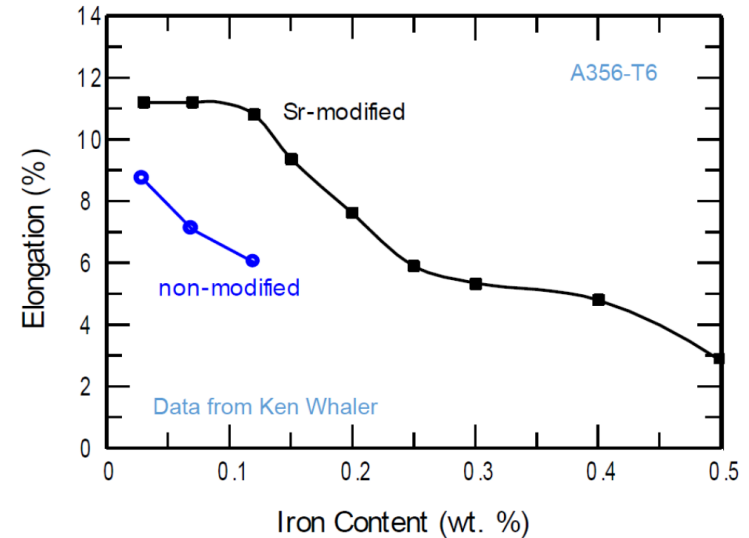
- La présence de phases indésirables affecte négativement les propriétés mécaniques.
- Les phases désirables sont à promouvoir par:
 - Affinage des grains
 - Modifications de la phase eutectique
 - Minimiser les éléments indésirables (Fe, P)
 - Vitesse de refroidissement
- La phase eutectique Al-Si en « aiguille » est propice aux fissures.
- Plus les grains sont petits et plus les propriétés mécaniques sont élevés. ^{Réf1}

Réf1: Relation Hall-Petch



« Toute vertu est fondée sur la mesure. » **Sénèque**

Effects of iron in casting alloys

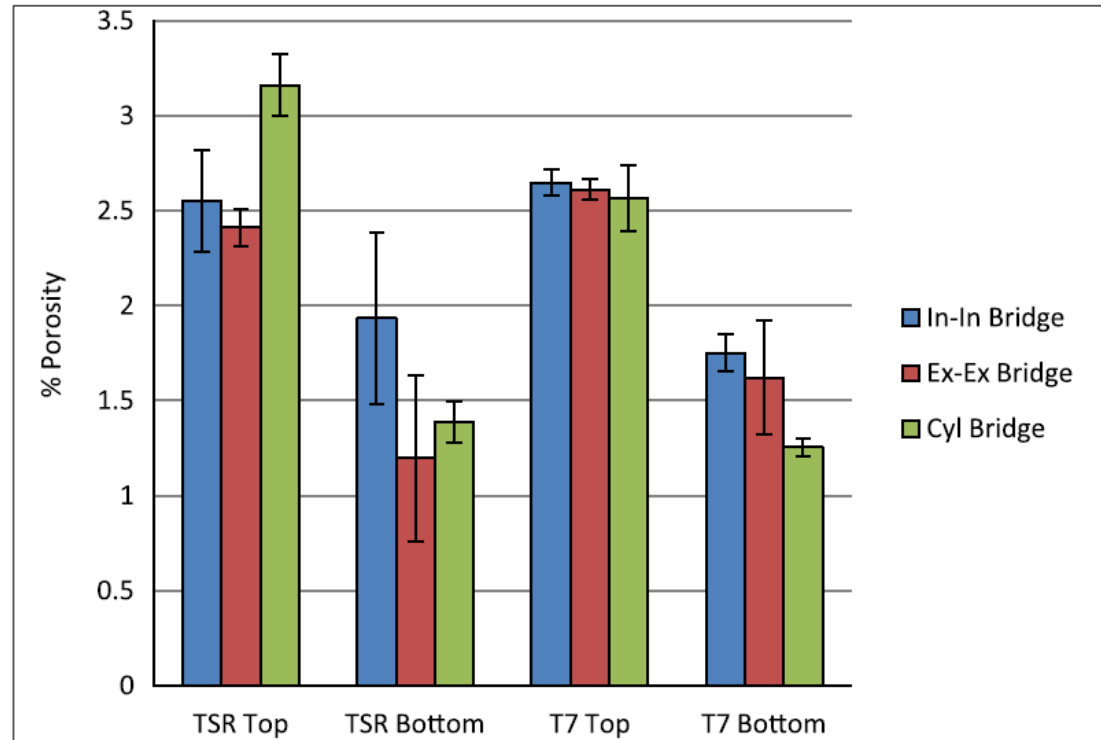


Loss of elongation in B108 permanent mold test bars

Réf2: Sigworth- AFS 2016-126

Vitesse de refroidissement

- La vitesse de refroidissement influence:
 - La dimension des grains
 - Le taux de porosités
 - Les propriétés mécaniques
- De nouveaux procédés accélèrent la vitesse de refroidissement localement pour améliorer les propriétés mécaniques.
 - Procédé par ablation
 - Ajout de refroidisseur (chill)



Taux de refroidissement plus élevé



« La meilleure façon de prédire l'avenir, c'est de le créer. » **Peter Drucken**

Procédé par ablation



- Ce procédé utilise un sable chimique soluble à l'eau
- Peu après le remplissage, des jets d'eau refroidissent la surface aux endroits ciblés.
 - Pour obtenir de meilleures propriétés localement
 - Pour obtenir une solidification dirigée.

Mesurer la qualité métallurgique du bain

- Selon le AFS Benchmarking^{ref1} 2016 sur les traitements de l'aluminium liquide, les fonderies d'aluminium Canada-USA (50),
 - 22% ne mesurent pas l'efficacité de l'affinage de grain.
 - 26% ne mesurent pas l'efficacité de la modification
 - 54% utilisent seulement le Spectro pour mesurer l'efficacité de la modification et de l'affinage de grain.
- L'analyse chimique par le Spectro ne permet pas d'évaluer la microstructure ni l'efficacité de ces produits.
- L'essai par pression réduite ne permet pas de mesurer l'hydrogène. Le bifilm index, effectué par analyse d'image, est un bon critère pour évaluer les porosités.

Réf1: AFS Aluminium division



« Si vous ne le mesurez pas, vous ne pouvez pas l'améliorer. » **Peter Drucker**

L'analyse thermique

- L'analyse thermique pour évaluer la qualité métallurgique du bain de métal est peu répandu en Amérique du Nord.
 - 16% des fonderies d'aluminium l'utilisent selon un sondage de l'AFS effectué en 2015. Réf1
 - Surtout utilisé par les fonderies appartenant à des groupes européens. Réf1
- L'analyse thermique permet d'évaluer rapidement l'efficacité de l'affinage de grain et de la modification. Réf2
- Évaluation de la proportion de phases de cuivre et magnésium. Réf2
- C'est un outil puissant de diagnostic lorsque des problèmes surviennent (retrait, changement soudain de propriétés) Réf2
- En 2009, Sokolowski a fait une étude avec l'analyse thermique pour mesurer l'hydrogène dans A319 via la formation de la phase de cuivre. Réf3



Nouvel outil de mesure des porosités

- Solutions Fonderie développe actuellement un nouvel outil basé sur l'analyse thermique qui permettra d'obtenir une analyse complète du métal.
- Capacités actuelles
 - Efficacité de l'affinage de grain et de la modification
 - Présence de phases indésirables
 - Ajustement des phases désirables
- En développement avec une subvention du CQRDA
 - **Phase 1:** Prédire l'hydrogène dans l'aluminium liquide.
 - Terminé en décembre 2016
 - Les résultats sont un succès.
 - **Phase 2:** Prédire les porosités causées par l'hydrogène et les bifilms d'oxydes dans l'aluminium liquide.
 - Février à avril 2017
 - Essais au CMQ
- Le but consiste à évaluer la contribution des bifilms ou de l'hydrogène à la formation de porosités et de corriger le four avant de couler.



« La science, c'est la possibilité de mesurer... Il n'est pas de connaissance sans mesure. » **Patrick O'Brian**

Conclusion

- La turbulence crée des bifilm d'oxydes.
- Les bifilms sont la cause principale de la variabilité et de la faiblesse des propriétés mécaniques par rapport à la théorie.
- La fonderie peut implanter des mesures pour diminuer les bifilms.
- L'analyse thermique est un outil de mesure permettant d'évaluer la qualité du liquide.

Références

- J. Campbell, *FESA 3rd Foundry Workshop, 2013*
- *W.D Griffith, Hydrogen, porosity and oxide film defects in liquid Al, 2008*
- J. Campbell, Porosity, hydrogen and bifilm content in Al alloy castings, 2011
- F.Chiesa, EFFECT OF INCLUSIONS ON THE TENSILE PROPERTIES INSIDE A LPPM A356 CASTING, 2016
- E. Vandersluis, F.Chiesa, Factor influencing thermal conductivity and mechanical properties in 319 Al cylinder heads, 2015
- G.K Sigworth, Thermal Analysis of Aluminum casting alloys, AFS 2016-105
- G.K Sigworth, Workshop on Aluminum casting, AFS 2016-126
- J.H Sokolowski, On-line prediction of the melt hydrogen and casting porosity level in 319 aluminium alloy using thermal analysis, 2006

Questions ?



SOLUTIONS FONDERIE,
services métallurgiques inc.

Yohan Tremblay

info@solutionsfonderie.com

819-588-3243

www.solutionsfonderie.com