

Réunion de la

# COMMISSION THEMATIQUE LAMINAGE

13 Mars 2018, 14-17h

**Paris**

**MINES ParisTech**

**60 boulevard Saint-Michel**

**salle V111**

**La réunion n'est pas restreinte aux membres officiels de la  
Commission Thématique Laminage,  
toute personne intéressée est la bienvenue**

# Ordre du jour

## 1 – Exposés & discussions:

**14h00 – 15h30**

- A fast model to evaluate threading refusal risk in the hot rolling process (E. Mathey, J. Pezzana)
- Quelques impressions de la IOM3 Conf "In-line measurement and control for metals processing", Warwick University, 6-7 Décembre 2017 (P. Montmitonnet)

## 2 – Bilan commenté des actions 2017

Réunion du 6 Avril 2017: Thématique des exposés "tribologie à chaud"

## 3 – Proposition d'actions 2018-2019 (séminaires, colloques...)

**15h30 – 16h30**

- Organisation de Journées Thématiques – plusieurs possibilités ont été discutées:
  - \* frottement, usure, lubrification du laminage à chaud
  - \* porosités et criques: ouverture, fermeture, guérison
  - \* bilan critique de la simulation numérique en laminage
- Idées de sessions / symposiums de conférences en 2019 ?

## 4 – Questions diverses - prochaine réunion

# Présents

**Patrick DENEUVILLE, Constellium CRV**

**Didier FARRUGIA, Tata Steel, Sheffield (par téléphone)**

**Didier LAWRJANIEC, Ascometal, groupe Schmolz & Bickenbach, CREAS**

**Florian LYONNET, Framatome (ex AREVA) – Paimboeuf**

**Eliette MATHEY, ArcelorMittal Maizières**

**Pierre MONTMITONNET, MINES ParisTech, CEMEF**

**Thomas SOURISSEAU, Ugitech, groupe Schmolz & Bickenbach, CRU**

**Ariane VIAT, Constellium CRV**

**Hamid ZAHROUNI, Université de Lorraine, LEM3**

Pour cette réunion, nous accueillons avec plaisir 3 "nouveaux":

- A. Viat et Florian Lyonnet viennent d'intégrer leur entreprise respective après avoir fini leur thèse, respectivement en tribologie à Centrale Lyon et en modélisation du contrôle par ultra-sons à l'UPMC (Paris 6),
- E. Mathey succède à Tien NGO au sein de la CT comme représentante d'ArcelorMittal.

# Ordre du jour

## 1 – Exposés & discussions



## A fast model to evaluate threading refusal in the hot rolling process

(E. Mathey, J. Pezzana, ArcelorMittal Maizières)

Le refus d'engagement est un problème récurrent en entrée de cage en laminage à chaud. Une condition d'engagement approximative est que le coefficient de frottement de Coulomb  $\mu$  doit être supérieur à l'angle d'attaque  $\alpha$ : la force nette d'entraînement est alors positive, dirigée dans la direction de laminage. Cette relation très simple est conservatrice car elle ne tient pas compte de l'énergie cinétique de la brame qui facilite son engagement. L'objectif des auteurs est de construire un modèle juste un peu plus sophistiqué, semi-analytique, plus précis mais très rapide ( $\ll 1$ s). Pour cela, on calcule l'évolution de la vitesse à partir d'un bilan entre l'énergie cinétique, l'énergie apportée par le frottement (et celle qu'il consomme une fois le point neutre atteint) et l'énergie consommée par la déformation plastique. Si la vitesse remonte après avoir flêchi, la bande est entraînée et le laminage peut se poursuivre ; si elle décroît jusqu'à s'annuler, c'est un refus d'engagement et il faut par exemple diminuer la réduction, la distribuer différemment sur les passes.

Après vérification à l'aide de calculs Abaqus explicit ®, l'application du modèle à des cas variés montre

- (1) qu'à faible énergie cinétique, on retombe bien à peu de choses près sur une condition  $\mu_{lim} = \tan\alpha$  ;
- (2) que plus l'énergie cinétique est forte (brame de forte masse, vitesse d'approche élevée) et plus le métal est mou ( $\rightarrow$  faible dissipation plastique), plus la condition devient favorable,  $\mu_{lim}$  baisse et on peut laminer avec un frottement relativement faible (compatible avec la lubrification par exemple),
- (3) tous les cas testés vérifient  $\tan\alpha > \mu_{lim} > \tan\alpha/2$ , la seconde inéquation étant la condition traditionnelle d'entraînement d'un produit complètement introduit dans l'emprise (démarrage bande engagée).

Le modèle, qui tourne en environ 0.1 s, est applicable en pré réglage de train tandem. La discussion a porté sur la difficulté à connaître  $\mu$ , variable fondamentale de l'approche, qui peut être estimé d'après les résultats (glissement en avant par exemple) des bandes précédents.

Le refus d'engagement se produit aussi en laminage de produits longs; des approches similaires pourraient être développées, le terme de déformation plastique serait un peu plus compliqué à estimer.

## Quelques impressions de la IOM3 Conf "In-line measurement and control for metals processing", Warwick University, 6-7 Décembre 2017

**P. Montmitonnet**

Les techniques de mesure de microstructure et d'analyse de composition chimique sont désormais mûres pour implémentation en ligne dans les environnements les plus sévères (hautes températures, gaz corrosifs, vapeur d'eau, hautes vitesses...):

### - analyse chimique en ligne, en continu et sans contact:

- \* Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS) pour tous types d'analyses élémentaires
- \* Mesure de concentration en oxygène en fours
- \* Spectroscopie de lumière émise par Glow Discharge (GDOES) ou Inductively Coupled Plasma (ICP): analyses d'effluents divers

### - évaluation de la microstructure en continu et sans contact

- \* Spectroscopie Electro-Magnétique (EMSpec®)
- \* Laser US

### - Pyromètres IR : mesure de température en continu, ponctuelle vs balayage ligne

### - mesure optique:

- \* Mesure interférométrique d'épaisseur d'oxyde en four
- \* Mesure d'épaisseur de film lubrifiant par absorption IR
- \* Analyse d'image pour la détection automatique des défauts par caméra
- \* Rugosimétrie optique en ligne
- \* Mesure de forme et de défauts de planéité par projection de ligne

## Analyse chimique en ligne, en continu et sans contact

### Quelques applications du LIBS

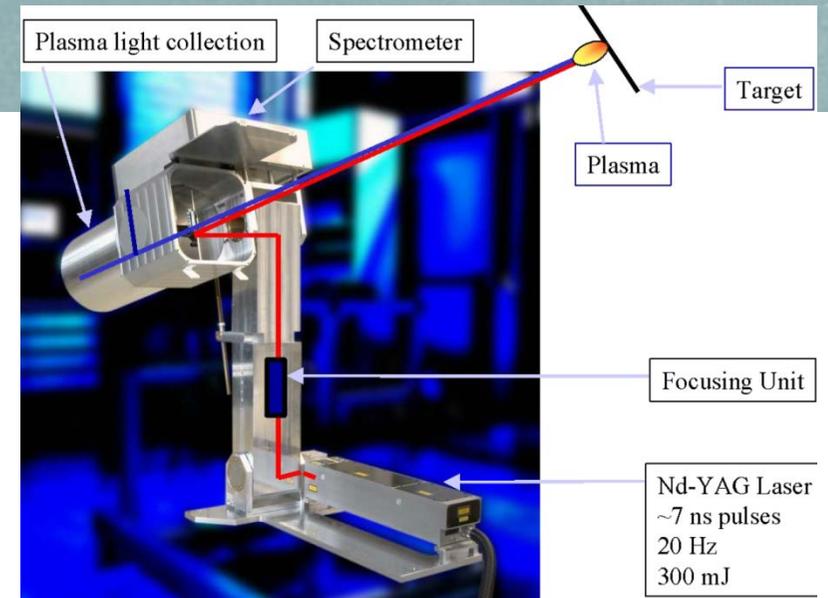
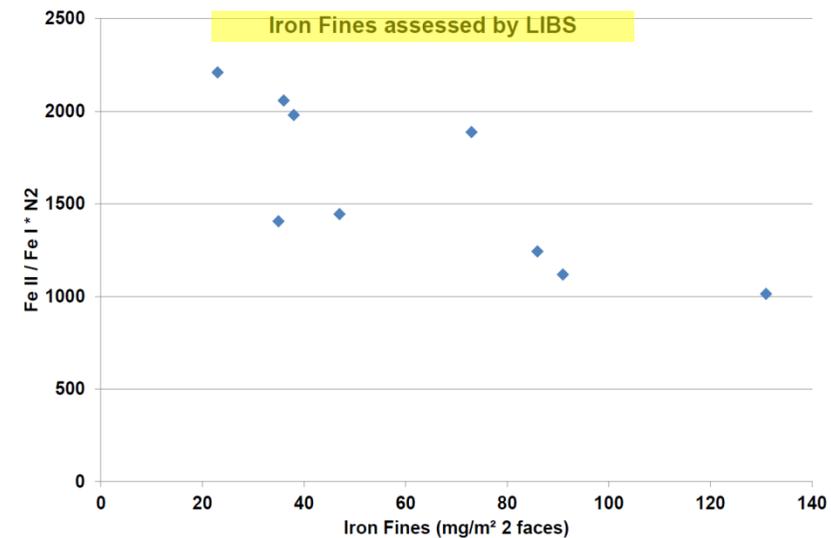
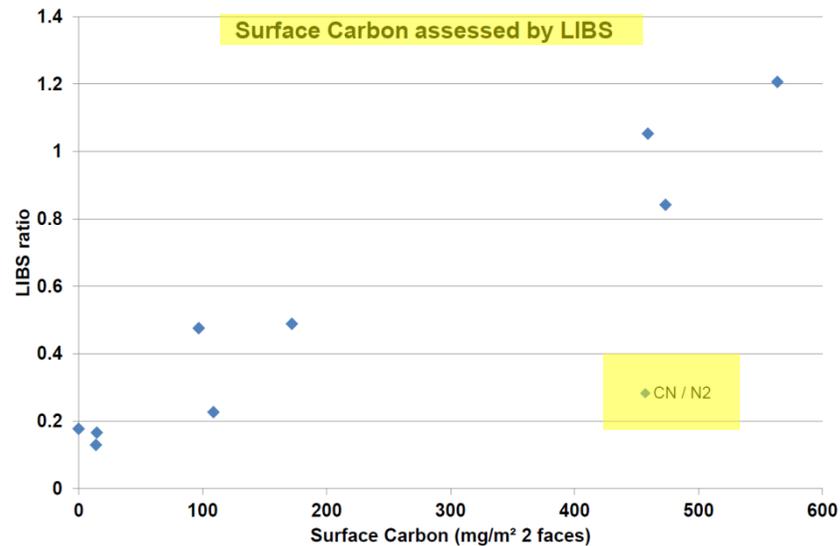
#### Principe

- un tir laser volatilise le matériau superficiel → plasma qui émet une lumière dont on analyse le spectre.
- un nettoyage préalable (Laser) peut être nécessaire

#### Applications tout au long du cycle de vie

- contrôle automatique des matières premières: agglomération de minerai
- contrôle automatique de process : composition acier liquide, tôles, bain de galvanisation: teneur en Al, Fe...
- tri automatique de métaux à recycler : alliages légers, ferrailles pour aciérie électrique...

#### - Mesure en ligne de la propreté de tôles d'acier (CRM)



## Evaluation de la microstructure en continu et sans contact Spectroscopie Electro-Magnétique (EMSpec®)

### Principe

- une bobine excitatrice crée un courant induit en surface du métal
- deux bobines de mesure détectent le champ de ce courant induit
- on mesure cette réponse en fonction de la fréquence (→ "spectro") et en particulier la "Zero Crossing Frequency" (ZCF,  $\text{Re}(Z) = 0$ )

### Application actuelle

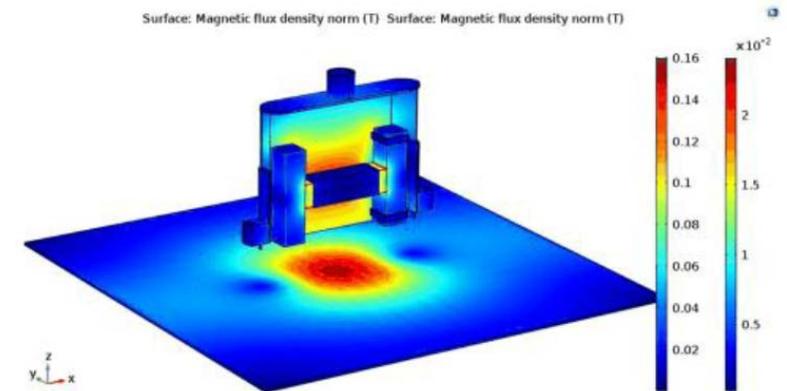
Mesure du taux d'avancement de la transformation  $\gamma \rightarrow \alpha$  sur la Table de Sortie du Train à Bande à chaud, car la perméabilité magnétique ( $\mu$ ) et la résistivité électrique ( $\rho$ ) des deux phases sont différentes

### Elargissement: modélisation des effets de diverses caractéristiques microstructurales

De nombreux éléments microstructuraux jouent sur  $\mu$  et  $\rho$ , donc sur la réponse du capteur:

- ferrite vs martensite, bainite...
- hétérogénéité des phases dans l'épaisseur via effet coeur peau → faire varier la gamme de fréquence
- texture topologique, finesse de perlite, degré d'écrouissage, taille de grain (et structure des JdG), précipités...

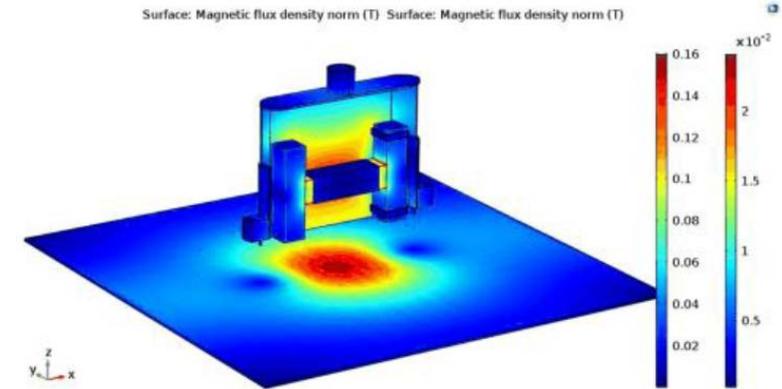
Leur identification demande des mesures en laboratoire et l'inversion de modèle reste problématique (pas de solution unique)



# Evaluation de la microstructure en continu et sans contact Spectroscopie Electro-Magnétique (EMSpec®)

## Principe

- une bobine excitatrice crée un courant induit en surface du métal
- deux bobines de mesure détectent le champ de ce courant induit
- on mesure cette réponse en fonction de la fréquence (→ "spectro") et en particulier la "Zero Crossing Frequency" (ZCF,  $Re(Z) = 0$ )



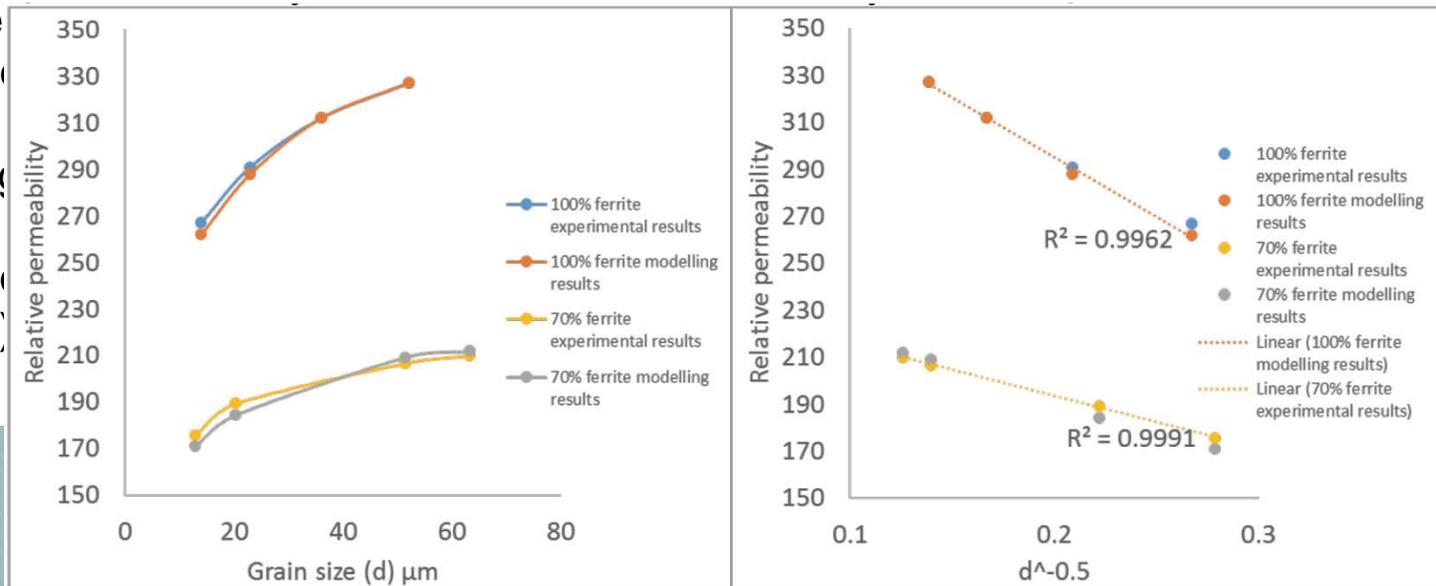
## Application actuelle

Mesure du taux d'avancement de la transformation  $\gamma \rightarrow \alpha$  sur la Table de Sortie du Train à Bande à chaud, car la perméabilité magnétique ( $\mu$ ) et la résistivité électrique ( $\rho$ ) des deux phases sont différentes

## Elargissement: modélisation des effets de diverses caractéristiques microstructurales

- De nombreux é
- ferrite vs mart
  - hétérogénéité
  - texture topolo

Leur identification  
solution unique,



fréquence  
JdG), précipités...  
matique (pas de

## Vers l'évaluation de la microstructure en continu et sans contact Laser - US

### Principe

- une impulsion Laser déclenche une onde ultrasonore dans un matériau
- un Laser de lecture mesure les vibrations de la surface à une distance  $L$ , et par là la vitesse  $V_{US}$ , l'atténuation...
- $V_{US}$  est sensible à la taille de grains, la texture...

### Application existante : mesure dimensionnelle

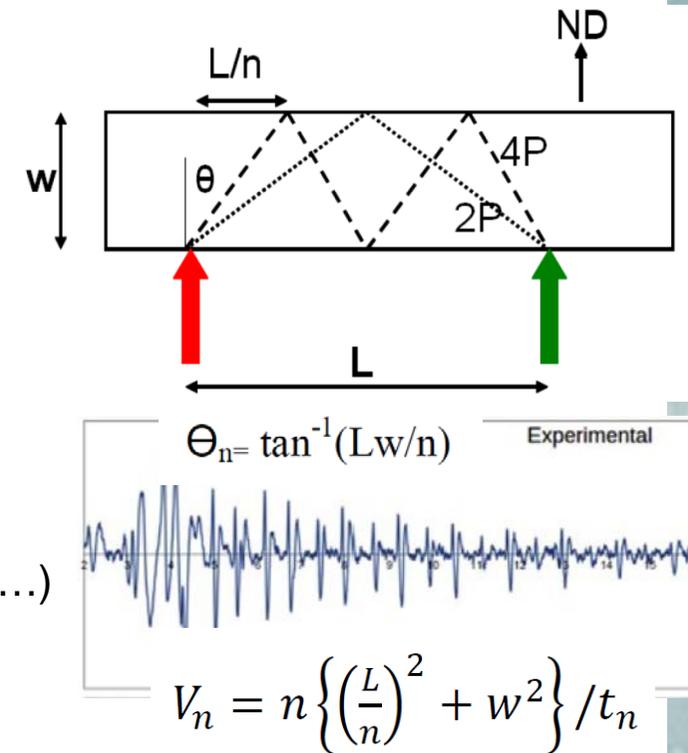
Au 1er ordre,  $V_{US}$  connue, le Temps de Vol donne l'épaisseur (barres, tubes...)

### Applications en développement: mesure de la microstructure

"... very detailed texture information cannot be achieved by this approach. Nevertheless, there is good reason to believe that significantly different textures such as those following deformation or after recrystallization can be distinguished from one another" (Mauritzson et al., SWEREA KIMAB)

"Preliminary results show that the grain size values obtained by LUS match reasonably with grain sizes predicted by an established model for a few cases. However, since some discrepancies exist between final microstructures predicted by LUS and those verified by metallography, further work is needed for fine tuning procedures" (Legrand et al., ArcelorMittal)

Didier Farrugia précise que l'étude de cette technique se poursuit activement dans le cadre d'un projet RFCS.

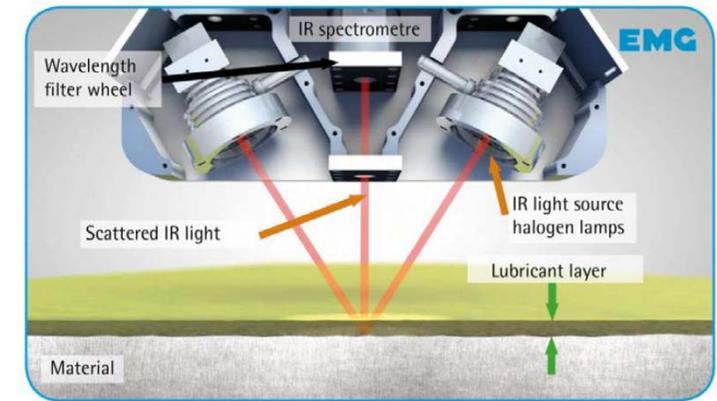


## Mesures optiques

### Mesure d'épaisseur de film lubrifiant par absorption IR

#### Principe

- illumination par un faisceau IR et mesure de l'intensité réfléchi après traversée (2 fois) du film d'huile (loi de Beer-Lambert)
- variante moins sensible à l'état de surface : si l'ajout d'une molécule fluorescente est possible, illumination UV et mesure de la fluorescence
- possibilité de scan → cartographie

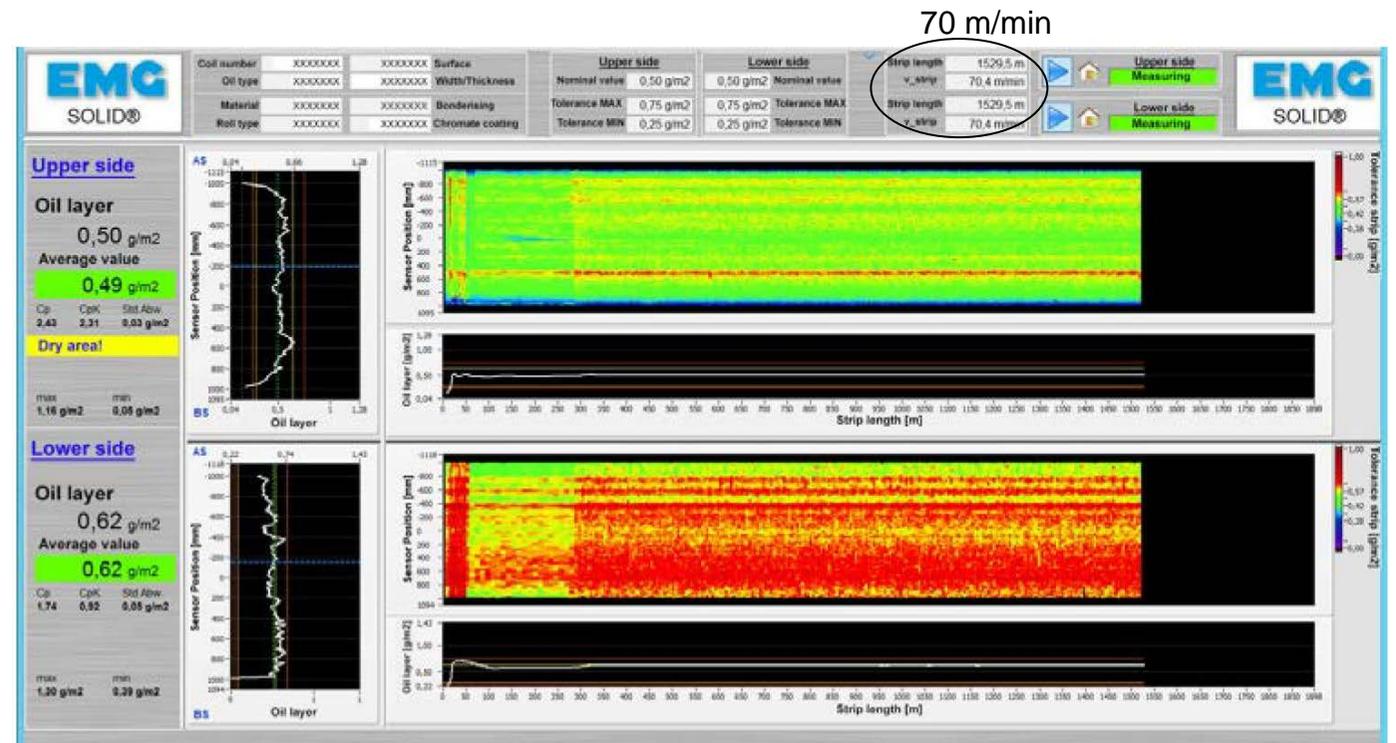


#### Applications

Mesure de l'uniformité ou de l'hétérogénéité (voulue ou non) de l'épaisseur déposée

- sortie de laminoir,
- ligne d'enduction,
- ligne d'emboutissage

Mesure de résidus de lubrifiant

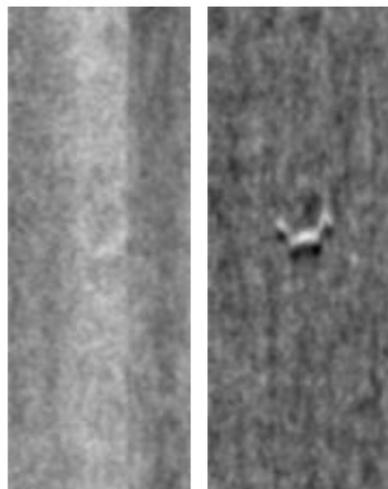


## Mesures optiques

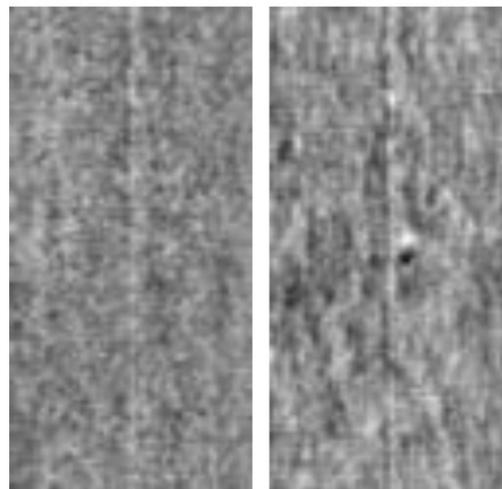
### Détection automatique des marques de cylindres par caméra

#### Principe

- objectif: détection de petits défauts (roll marks) ~1 mm, en ligne jusqu'à 1200 m/min
- batterie de photodiodes Si haute sensibilité, couvrant toute la largeur de la bande
- observations en champ clair, champ sombre et vue latérale synchronisées (variation de l'angle et de l'intensité)
- défauts quasi-périodiques (sauf fluctuation de vitesse / réduction) → accumulation
- performance sur tandem: 80% des défauts détectés, < 10% de faux positifs

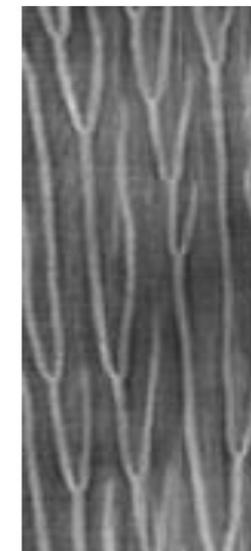


Before/after



Before/after

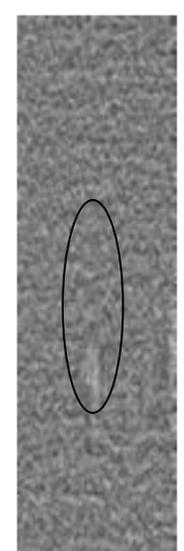
Figure 2: Efficiency of periodic structure "enhancing" for defect contrast improvement



a) Full width view



b) zoom



c) zoomed result

Figure 1: oil pattern filtering output

## Mesures optiques

### Rugosimétrie optique en ligne (SORM 3+)

#### Principe

"Superfast Optical Roughness Measurement",  
rugosimétrie optique par mesure de pente locale via l'angle de réflexion,  
puis reconstruction du profil

#### Applications

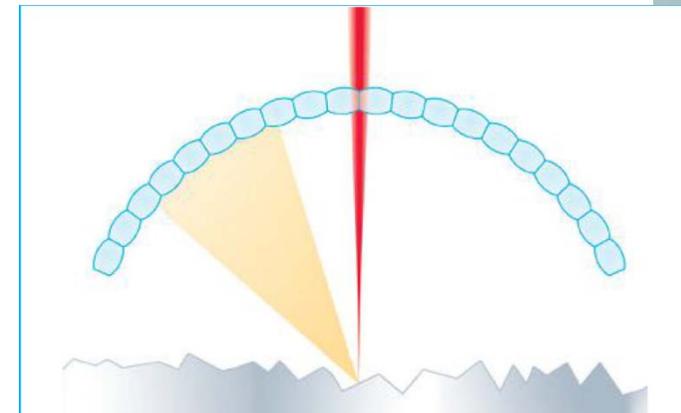
Skin pass, ligne de galvanisation ...

#### Performance

- la surface doit être propre (pas d'huile)
- Ra : de 0.1 à 3  $\mu\text{m}$
- balayage de 300 mm max à 600 mm/s max
- vitesse de défilement jusqu'à 2400 m/min !



SORM application at a hot-dip galvanising line



Measuring principle

# Ordre du jour

## 2 – Bilan commenté des actions 2017



## 2017 n'a pas été très riche

La Commission Thématique s'est réunie une fois dans l'année, le **6 Avril**. Nous avons échangé sur le thème de la **tribologie du laminage à chaud** avec un exposé de P. Deneuille (Constellium CRV) auquel a répondu une présentation d'André Dubois (LAMIH Valenciennes). Le premier a abordé les conditions de contact spécifiques du laminage à chaud des alliages légers, la difficulté de faire une mesure tribologique représentative en laboratoire, puis les solutions acier à cylindre (avec ou sans revêtement) / émulsion lubrifiante (mouillabilité, instabilité, additifs gérant la viscosité haute température). En réponse, le second exposé a décrit un essai tribologique à chaud, le WHUST (Warm/Hot Upsetting - Sliding Test), les conditions applicables, le protocole de mesure et l'application à la sélection de couples matériau à outil / lubrifiant en forgeage à chaud des aciers.

L'idée d'une journée thématique sur "**bilan pratique et critique de l'apport de la simulation numérique en laminage**" a émergé des discussions, mais ne pourra voir le jour qu'en 2018. C'est aussi le cas d'un article collectif dans les Techniques de l'Ingénieur sur les enjeux et les réalisations de la modélisation 3D du laminage.

Par contre, un sujet qui avait été débattu il y a quelques années dans une réunion de la CT Laminage s'est concrétisé, grâce à l'IOM3 et à Didier Farrugia, sous la forme d'une **Conférence "In Line Measurement and Control for Metals Processing"** qui vient d'avoir lieu les 6 et 7 Décembre au Warwick Conference Centre, près de Coventry. Le logo de la SF2M était présent.

# Ordre du jour



## 3 – Propositions d'actions 2018-2019

## **Journées Thématiques :**

Nous n'avons plus organisé de telles journées d'échange sur des problèmes industriels, réunions "semi-ouvertes" pour ne pas brider les échanges. Par "semi-ouvertes", nous entendons ouvertes aux membres de la CT avec éventuellement un appel à quelques experts extérieurs pouvant apporter un éclairage complémentaire.

De manière récurrent ont été évoqués lors des précédentes réunions les thèmes suivants :

### **1 – frottement, usure, lubrification du laminage à chaud**

serait une extension des présentations de P. Deneuille et André Dubois en Avril 2017.

### **2 – porosités et criques: ouverture, fermeture, guérison**

Ces deux sujets gardent leur intérêt mais celui qui rallie les suffrages et un début d'organisation est

### **3 - Bilan pratique et critique de l'apport de la simulation numérique en laminage**

C'est celui que nous proposons d'organiser le **7 Novembre 2018**. Le lieu reste à choisir, site industriel pour y associer une visite ou Paris, par exemple l'Ecole des Mines pour sa centralité.

## Bilan pratique et critique de l'apport de la simulation numérique en laminage

Discussion sur une proposition d'Alexis Gaillac, Framatome

Sur une journée (~10h-12h puis 13h30-16h30), présentations de 30' max.

### Introduction

Pierre Montmitonnet (ou autre): Simuler pour comprendre , concevoir et/ou réguler (←Rolling 2016)

### Applications industrielles

F. Lyonnet, A. Gaillac – Framatome: Simulation du laminage à pas de pèlerin à froid de tubes et de barres avec des modèles d'endommagement

X, Constellium via P. Deneuille : a priori OK

T. Sourisseau – Ugitech: OK

D. Lawrjaniec – Ascometal: OK

X, Arcelor-Mittal: nombreux sujets, choix à faire

C. Dumont – Aubert et Duval: à contacter

D. Farrugia – Tata steel: OK si possibilité de voyager

A. Villet, J. Pallix – Lisi: à contacter

N. Marouf – Vallourec: à contacter

SNR : à contacter

**Points de vue d'experts académiques (et/ou développeurs de logiciels?) : J.-P. Ponthot, H. Zahrouni?**

### Conclusion et perspectives (plutôt sous forme de table ronde?)

Problèmes actuels et perspectives d'évolution des modèles : modèles rapides en ligne, modèles stationnaires, évolution de microstructure et texture, endommagement, couplage modèle-mesure...

## Sessions / symposiums de conférences en 2019 ?

Echaudés par de précédentes expériences, nous ne sommes pas très enclins à proposer des sessions sur le laminage ou les procédés annexes dans des conférences. Sur ce point, nous faisons simplement avec l'aide de Didier Farrugia une liste d'évènements prévus ou envisagés:

2018 : prévue en Décembre, Oxides 2018, qui sera organisée par D. Farrugia sous l'égide de l'IOM3 avec le soutien apprécié de sociétés cousines, le programme étant proche de celui d'Oxides 2014 presque 5 ans après.

2019 : - International Rolling Conference "au Brésil" – ville et organisateurs pas encore connus  
- ESTAD à Düsseldorf

2020 : IOM3 Rolls 2020 (probablement en Octobre à Birmingham), consacrée aux technologies liées aux cylindres

20xx ? dans la mouvance FoF, Industry 4.0...D. Farrugia aimerait promouvoir une conférence sur le thème Sécurité des installations, maintenance et comportement humain (à affiner).

# Ordre du jour

## 4 – Questions diverses

A photograph of a large industrial facility, likely a steel mill, with several large furnaces or processing units. The text "4 – Questions diverses" is overlaid in the center. The image shows a long, perspective view of the facility with multiple large, cylindrical units labeled "IAC VESTA" and "IAC MESA" arranged in a row. The floor is covered with tracks and various industrial components.

En l'absence de questions de fond, nous avons consacré quelques minutes à faire un point, pour les nouveaux lamineurs, sur les lubrifiants de laminage (comparaison alliages légers / acier / zirconium...) ainsi qu'au laminage de tôles minces (presque de la feuille) en Hf, métal relativement peu courant sur les laminoirs.

