

## Commission Thématique LAMINAGE

-----

**Réunion du 6 Janvier 2021**

*Connexion Zoom*

-----

**Thème de la matinée : Lubrifiants et environnement**

### Compte Rendu

#### Participants

Eliette Mathey	(ArcelorMittal R&D Maizières)
Maurice Tornicelli	(ArcelorMittal R&D Maizières)
Maxime Laugier	(ArcelorMittal R&D Maizières)
Thiago Campos	(ArcelorMittal R&D Maizières)
Thierno Fall	(ArcelorMittal R&D Maizières)
Alain Lamandé	(ArcelorMittal R&D Maizières)
Luca Marioni	(ArcelorMittal R&D Maizières)
Odile Carrier	(ArcelorMittal R&D Maizières)
Elise Marchand	(ArcelorMittal R&D Maizières)
Manuel Vasquez	(ArcelorMittal R&D Maizières)
Matthias Arroyo	(ArcelorMittal Dunkerque)
Didier Lawrjaniec	(Ascometal Hagondange, CREAS)
Alexandre Barthelemy	(Constellium – C-TEC, Voreppe)
Ariane Viat	(Constellium – C-TEC, Voreppe)
Laurent Nguyen	(Constellium – C-TEC, Voreppe)
Alexis Gaillac	(Framatome ANP, CR Ugine)
Pierre Montmitonnet	(MINES ParisTech, CEMEF),
Thomas Sourisseau	(Ugitech, CR Ugine)
Hamid Zahrouni	(Université de Lorraine, LEM3)
Cédric Hubert	(Université Hauts-de-France, LAMIH)

Remarque : l'assistance particulièrement nombreuse a permis une discussion nourrie et riche.

10h00 – 10h20 Tour de table

10h20 - 11h20 Contraintes environnementales et évolution des lubrifiants et des systèmes de lubrification - *Pierre MONTMITONNET – CEMEF, MINES ParisTech*

11h20 - 12h30 Discussion sur le thème de l'évolution des lubrifiants vers moins de pollution: retours d'expérience, centres d'intérêts, actions possibles

12h30 - 12h50 Programmation des futures réunions et actions de la CT Laminage

Après un tour d'horizon des familles de lubrifiants, bases et additifs, l'exposé de P. Montmitonnet se concentre sur l'exemple de la mise en forme des aciers inoxydables et d'un additif emblématique de ce domaine, les paraffines chlorées (PC). Ces produits sont réputés toxiques au point que la législation a déjà interdit les plus volatiles (basse masse moléculaire), et il faut se préparer à un durcissement progressif. Deux études relatant des tentatives de substitution sont présentées, venues de Scandinavie toutes deux. L'une porte sur le laminage à pas de pèlerin des tubes d'acier inoxydable austénitique, l'autre sur la mise en forme des inox en feuille (étirage, emboutissage, découpe fine).

Pour les tubes, divers essais tribologiques sont comparés entre eux et à des essais sur laminoir : essais 4 billes (modalité grippage / modalité usure), essais pion-disque alternatif (cylindre sur génératrice ou sphère). Parmi les propositions alternatives aux paraffines chlorées, des additifs soufrés, une huile sans additif extrême pression (EP) et des lubrifiants de composition inconnue. Deux enseignements peuvent être tirés de cette comparaison :

1. Le classement diffère considérablement suivant l'essai : ainsi le lubrifiant sans EP, caractérisé par l'acide laurique, donne la plus faible usure en conditions « douces » ; par contre lors de l'essai 4 billes à grippage, il est mis hors-jeu dès les premiers stades, ce qui correspond bien mieux aux résultats sur laminoir. On voit là se poser une fois de plus l'insoluble question du choix d'un essai tribologique. La meilleure conclusion qu'on en puisse tirer est qu'il est bien dangereux de se confier à un tribotest de laboratoire unique. La question est donc plutôt « quelle combinaison de tests (s'intéressant chacun à une propriété spécifique : viscosité, caractère limite, mouillabilité...) faut-il mettre en œuvre ? ».
2. Même si certains tests de laboratoire montrent une performance aussi bonne que les PC pour certains additifs soufrés, ils restent quand même en deçà sur laminoir, tout en fournissant une alternative possible si l'on accepte de revoir les gammes, ou de modifier les matières des outils.

Dans l'autre article, qui porte sur la mise en forme des tôles, les alternatives proposées sont des lubrifiants à base d'esters naturels (ou issus de la biomasse transformée), une dispersion de cire, des « lubrifiants contenant Ca, S et P » ou encore une anti-référence sans EP qui, sans surprise, va faillir dans tous les tests qui sont: Bending Under Tension (emboutissage), étirage, découpe.

1. Là où les PC passent tous les tests, les autres lubrifiants n'en passent qu'un ou deux : la substitution ne peut être envisagée globalement, mais procédé par procédé. La remarquable universalité des PC avec les inox est une fois de plus soulignée.
2. Des solutions crédibles ressortent, avec certains esters issus de la biomasse.

Lors de la discussion, Th. Sourisseau (Ugitech) confirme que lors de travaux d'Ugitech sur l'étirage d'inox, la même constatation de la supériorité des PC a été trouvée : des remplaçants soufrés peuvent faire l'affaire mais sans égaler les PC. Selon A. Gaillac (Framatome), en laminage à pas de pèlerin d'alliages de Zr, des additifs chlorés donnent de meilleurs états de surface que des lubrifiants plus « bénins » à base de corps gras. On retrouve sur cet exemple des PC et de l'inox un fait fréquent, qu'il est rare de trouver du premier coup des substituants aussi efficaces que des produits optimisés et fiabilisés durant des décennies.

La discussion entre experts a ensuite élargi le débat à d'autres produits en sursis pour des raisons sanitaires ou environnementales. Sur les huiles, on ne ressent pas de pression forte maintenant que les fractions benzéniques, puis naphthéniques ont été éliminées des formulations.

Les enjeux sont plutôt du côté de la complexe chimie des tensio-actifs qui contrôlent les propriétés des émulsions de laminage à froid (surtout pour les aciers au carbone) ou à chaud (alliages légers). Les plus désagréables pour l'environnement, comme les nonyl-phénols éthoxylés, ont été éliminés. Ceux qui restent posent cependant des problèmes de traitement des effluents.

M. Laugier (ArcelorMittal) souligne l'importance de la maîtrise de ces émulgateurs, car une émulsion bien lubrifiante est par nature instable alors que la recirculation demande de la stabilité. Il souligne l'abandon progressif prévisible de « l'application directe<sup>1</sup> » qui produit trop d'effluents à traiter. Relié à la « lubrification flexible » (documents fournis), cela entraîne une remise en cause notable de la stratégie des tensio-actifs.

Ariane Viat indique que la substitution par des additifs biosourcés est une des tendances du secteur. Cela peut porter sur

- des huiles d'origine végétale (éventuellement transformées) comme l'huile de colza ou l'huile de soja, ce qui rappelle les heures de gloire de l'huile de palme dans la première moitié du 20<sup>ème</sup> siècle ; T. Campos souligne que des essais industriels sont en cours chez ArcelorMittal ;
- des tensio-actifs (polysorbates, dérivés du sorbitol, hexa-alcool en C6 tiré du fruit du sorbier ou encore du pruneau<sup>2</sup>) ;
- le remplacement d'EP phosphatés par des additifs polaires à condition de les protéger par des antioxydants.

Les intervenants soulignent la difficulté de faire évoluer les lubrifiants de laminage qui constituent souvent un marché de niche dans le catalogue de fournisseurs puissants. La question parallèle est celle du maintien en interne de compétences en chimie des lubrifiants.

En ce qui concerne le laminage à chaud des aciers, la lubrification est peu répandue, si ce n'est dans les premières cages (les plus chargées) du train finisseur. Une raison tient au rôle modeste du frottement : faible jusque dans les premières cages du finisseur (rapport longueur / épaisseur d'emprise faible, ~1 à 2), plus important ensuite mais les cages sont alors surdimensionnées par rapport aux efforts demandés. On attend davantage du lubrifiant en termes de qualité de surface de tôle et de maîtrise de l'usure des cylindres. Mais la tendance serait à la généralisation.

Les huiles ne posent pas à ce stade de problème sanitaire ou environnemental majeur, mais il y a un effet collatéral. Du fait des grands angles d'attaque, on a besoin d'un fort frottement : on ne peut donc pas lubrifier la tête de bande, sous peine de patinage et refus d'engagement. Et même, il faut nettoyer les résidus d'huile restant sur le cylindre depuis la bande précédente.

---

<sup>1</sup> arrosage par une émulsion extrêmement instable juste en entrée d'emprise, sans recirculation ; c'est un mode de lubrification très efficace

<sup>2</sup> <https://fr.wikipedia.org/wiki/Polysorbate> ; on notera que la maîtrise de leur HLB repose, comme dans les nonylphénols éthoxylés, sur le nombre de segments ethoxy ; mais l'absence du cycle phénolique rassure ! De même que la dérivation à partir de produits végétaux ?

Ce sont les produits utilisés pour ce dégraissage qui posent problème. Le diable est dans les détails...

Il faut maintenant sortir des lubrifiants stricto sensu pour trouver un autre grand enjeu pour le laminage, le revêtement chrome dur qui, déposé sur les cylindres à partir de bains de sels de Cr<sup>VI</sup>, est clairement dans le collimateur des autorités sanitaires et du législateur - les moratoires finiront bien par toucher à leur terme... Il est souligné qu'au-delà des propriétés anti-usure du Cr (forte dureté, ~1000 Hv), antiadhésives, la résistance aux chocs (« marques de cylindre ») ou l'amélioration de la propreté des tôles (moins de dépôt de particules d'usure sur la tôle) sont des enjeux forts de cette substitution. Les substituts doivent faire au moins aussi bien – et comme ceux qui semblent émerger sont nettement plus chers, on attend de fait qu'ils aient de meilleures propriétés, en particulier des durées de vie plus longues. À titre d'exemple, des travaux sont en cours sur des cermets (métal + carbures), mais aucune solution n'a été validée à ce jour par des essais en vraie grandeur.

De l'exposé comme des discussions, il ressort l'importance des méthodes et outils d'études : comme on l'a vu au début, les tests tribologiques en laboratoire ne peuvent constituer qu'un pre-screening éliminant des solutions manifestement impropres. Le juge de paix est le passage sur laminoir et Constellium comme ArcelorMittal disposent de laminoirs d'essai. Sur les applications fil, Ugitech à un banc de tréfilage dédié. Pour ce qui est du laminage à pas de pèlerin, il est plus facile de faire des essais sur ces laminoirs de production plus modeste, et c'est ce qui est généralement pratiqué. Comme on l'a dit ci-dessus, un essai tribologique de laboratoire unique a peu de chances de donner une réponse représentative de la réalité du laminage.

Quelques documents fournis par les participants et illustrant tel ou tel des points résumés ci-dessus seront postés sur la page de la CT Laminage : <https://sf2m.fr/commissions-thematiques/commission-laminage/>

#### Prochains thèmes proposés (rappel : réunions trimestrielles)

Maîtrise des températures en laminage : refroidissement des cylindres et des tôles, impact de températures inadaptées, interactions avec la lubrification... le thème est multifactoriel

Laminabilité, criques et fissures dans les alliages complexes (biphasés, alliages chargés...), qui furent le thème d'une Journée de la CT Laminage le 31 Octobre 2012.

Les phénomènes vibratoires des laminoirs (broutage et autres) et outils connexes – la mécanique et les interactions avec la lubrification là encore.