

MESURE EN LIGNE DE L'ÉPAISSEUR DE VERNIS APPLIQUÉ SUR TUBES ACIER

ONLINE VARNISH THICKNESS MEASUREMENT ON STEEL TUBES

S. Petit, F. Lesage, B. Bisiaux
Vallourec & Mannesmann France – Centre de Recherche Vallourec (CEV)
60, route de Leval, BP 20149, 59620 Aulnoye-Aymeries
E-mail : alejandra.segura@vallourec.fr

Résumé

Pour protéger temporairement les tubes en acier de la corrosion (stock), les tubes V&M sont enduits d'un vernis transparent d'une épaisseur de l'ordre de 30 microns. Ce vernis est réticulé sous UV en usine en défilement linéaire à 2 m/s. Pour à la fois garantir un minimum d'épaisseur et optimiser les coûts de ce vernis, V&M souhaite contrôler l'épaisseur déposée en ligne, sur chaque tube. Plusieurs méthodes de mesure ont été étudiées: méthodes électromagnétiques, laser à balayage, ultrasons hautes fréquences, micrographie confocale, rétrodiffusion X. Le système permettant de minimiser les risques et de garantir la mesure est un capteur à rétrodiffusion proche infrarouge. Les résultats en usine montrent la faisabilité.

Abstract

To protect from corrosion, 30 microns of transparent varnish is applied on V&M steel tubes. This coating is UV reticulated online at 2m/s. To both guarantee a minimum of wall thickness and to optimize the cost, V&M wish to control the varnish thickness on each tube. Different techniques have been investigated: electromagnetic systems, laser scanner, high frequency ultrasound, confocal micrography, X backscattered. The system that minimizes the risks and guarantees the measurement has been found to be a near infrared backscattering probe. Results in the plant show the feasibility.

INTRODUCTION : ENVIRONNEMENT ET OBJECTIFS

Le vernissage des tubes en acier

V&M est leader mondial dans la production de tubes sans soudures pour les marchés du pétrole et de l'énergie. Pour certaines applications, les tubes doivent être protégés de la corrosion dans des conditions de stockage standard pour une durée de 6 mois. La protection choisie est un vernis spécifique (résine organique monocouche), d'une épaisseur d'au moins 25 microns. Pour protéger également le marquage de chaque tube, ce vernis a été choisi transparent.

Le vernis (état liquide) est déposé sur les tubes dans un banc à défilement linéaire, à l'aide de 4 pistolets disposés autour du tube selon la configuration suivante : cf. Figure 1. Le vernis est ensuite réticulé à l'aide de 6 lampes UV (cf. Figure 2). La vitesse de défilement peut atteindre 2m/s.

Caractéristiques des tubes à vernir : longueur : de 5m à 16m, diamètres : de 30 à 150mm, flèche moyenne < 1mm/m. Les tubes peuvent être plus ou moins calaminés, traités et de nuances d'acier variables.

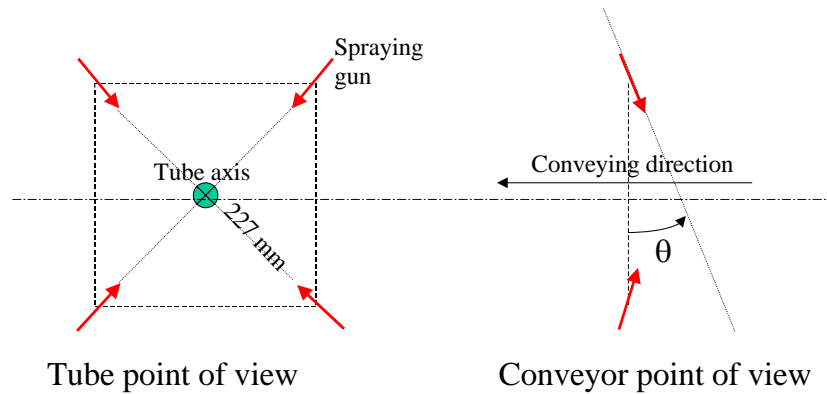


Figure 1 : Disposition des pistolets de pulvérisation du vernis sur tubes en défilement.

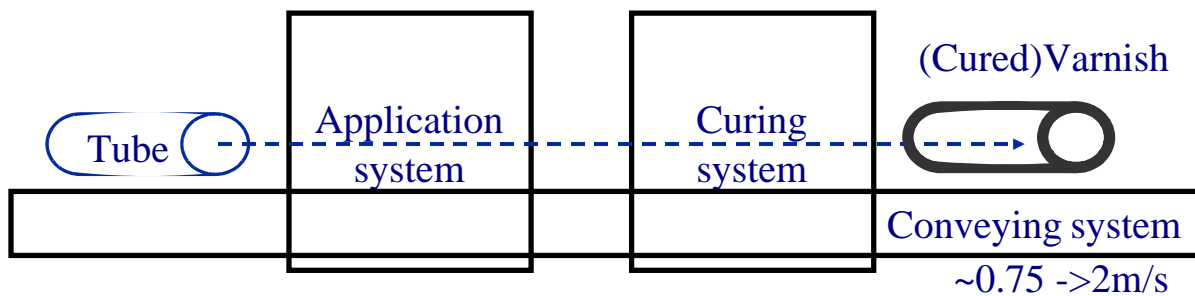


Figure 2 : Principe du système d'application de vernis réticulé sous lampes UV.

Contrôler l'épaisseur de vernis déposé en usine aujourd'hui

Si localement l'épaisseur de vernis appliqué était inférieure à 25 microns, il est admis que la protection contre la corrosion ne serait pas efficace; il faut donc vérifier que cette épaisseur est toujours supérieure.

Actuellement, l'épaisseur de vernis est contrôlée manuellement en effectuant régulièrement des mesures à l'aide d'une sonde portable Fischer Deltascope. Cette sonde ponctuelle fonctionne sur le principe de l'induction magnétique.

De par son principe, cette sonde mesure l'épaisseur de revêtement en mesurant la distance la séparant de l'acier: la mesure ne distingue donc pas le vernis de la calamine par exemple, et est affectée par l'état de surface (rugosité). Enfin, la correspondance entre la mesure physique et l'épaisseur de vernis est calculée sur la base d'une calibration (définition du zéro, calibration selon la nuance d'acier, le diamètre, la calamine estimée). Au final, la tolérance estimée sur la mesure est de l'ordre de +/- 5 microns.

Enfin, ce type de technique ne permet pas d'effectuer une mesure complète sur chaque tube, et ne permet donc pas de garantir un minimum de vernis.

En effectuant néanmoins quelques essais avec cette technique ponctuelle sur un tube verni, nous pouvons constater rapidement des variations d'épaisseur de vernis importantes sur un seul et même tube, pouvant aller de 20 à 100microns, pour une consigne de l'ordre de 60 microns à déposer.

Outre l'importance de réguler la pulvérisation, et d'optimiser l'homogénéité de l'épaisseur le long du tube, il faut donc trouver une solution de mesure en ligne de l'épaisseur de vernis appliqué.

MESURE EN LIGNE DE L'ÉPAISSEUR DE VERNIS

Solutions envisagées pour un contrôle en ligne

La recherche bibliographique montre très rapidement qu'il n'existe pas de solution standard connue pour ce problème. Tout au plus nous trouvons quelques systèmes chez les revêteurs de tube pour des couches épaisses (époxy). La plupart des autres systèmes sont dédiés aux tôles, ou sont des systèmes ponctuelles/portables, ou encore de laboratoire (pour circuits imprimés par exemple).

L'analyse des risques montre qu'il faut s'attacher en priorité aux techniques de mesure sans contact, insensible à la calamine et à l'état de surface du tube, et ne nécessitant pas de consignes de sécurité particulières.

Nous avons choisi d'investiguer la faisabilité de plusieurs techniques différentes : méthodes magnétiques, ultrasons haute fréquence, micrographie confocale, rétrodiffusion des rayons X faible puissance, différence de diamètre avant et après vernissage par laser à balayage et rétrodiffusion proche infrarouge.

Dans le cas des méthodes magnétiques, les possibilités sont importantes, notamment en associant des capteurs aux sensibilités différentes, permettant d'obtenir sans contact la distance capteur - substrat et capteur - revêtement. Néanmoins, ce capteur doit être à une distance relativement courte du tube pendant son défilement. Or, une des contraintes importantes apportées par les vernisseuses, est le débattement éventuel de certains tubes (notamment les tubes courts), qui peuvent éventuellement « sauter » sur plusieurs dizaines de centimètres, problème inhérent au fait que les tubes défilant sur la machine sont de dimensions variables. Ce problème a également restreint les possibilités offertes par la micrographie confocale, dont le principe est pourtant bien adapté à la mesure d'épaisseur de ce revêtement transparent. Quant aux ultrasons (essais réalisés à 200MHz), l'interface acier - vernis n'est pas assez franche pour être détectée (calamine).

Il semble que la rétrodiffusion des rayons X à faible puissance (ne nécessitant donc pas de consignes de sécurité particulières) puisse être corrélée à une épaisseur de vernis ; mais ce type d'instrument n'existe pas sous forme industrielle, applicable aux tubes.

Enfin il est également possible d'effectuer une estimation de l'épaisseur appliquée en contrôlant les diamètres des produits avant et après application, mais il est difficile de garantir une épaisseur minimale en un point (le diamètre nécessitant deux points de mesure, bien entendu). En outre, le tube vrille pendant son passage dans la machine, ce qui ne permet pas de faire une corrélation correcte.

Ces difficultés sont éliminées en utilisant un capteur de mesure de rétrodiffusion proche infrarouge. Après avoir vérifié la bande d'absorption du vernis utilisé, un tel capteur permet d'effectuer une mesure sur une certaine zone, à une distance d'environ 115mm, en environnement industriel.

Mesure par rétrodiffusion proche infrarouge – Principe de base

L'idée consiste à analyser la quantité de lumière absorbée par un matériau, et ce dans les longueurs d'ondes dites du « proche infrarouge » (de 1 à 3 microns environ). Pour ce faire, un faisceau lumineux est généré à l'aide d'une lampe halogène et filtré par un système optique (roue à 6 ou 10 filtres) qui sélectionnent les longueurs d'onde : cf. Figure 3; le

faisceau qui est directement réfléchi par la surface inspectée ne nous intéresse pas puisque cette lumière n'a pas traversé le revêtement (c'est pourquoi on cherche à l'éviter en inclinant le capteur d'un angle d'environ 20°). Par contre, la lumière qui a traversé le vernis est ensuite renvoyée par le substrat (ici l'acier ou même la calamine) dans toutes les directions : il se forme une sphère de rétrodiffusion (lumière rétrodiffusée = lumière réémise après diffusion dans le vernis). Il faut alors capter une partie de cette lumière rétrodiffusée (miroirs concentriques) et l'analyser. Un filtre (au moins) correspond en particulier à la bande d'absorption du matériau considéré, en l'occurrence le vernis. Les autres filtres permettent de fixer une référence de mesure en fonction des autres paramètres ambiants. Ce genre de système est donc relativement stable vis-à-vis des variations de luminosité ambiante, de température, etc. Une seule calibration est nécessaire à la première utilisation.

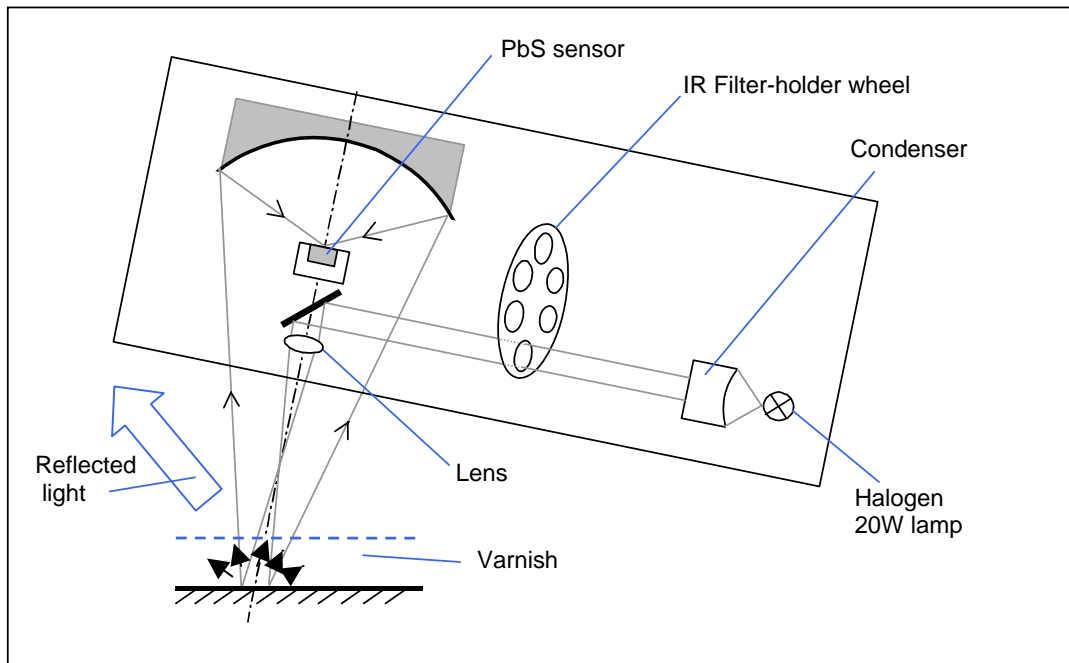


Figure 3 : Principe d'un capteur à rétrodiffusion proche infrarouge.

Ces capteurs sont traditionnellement utilisés dans l'industrie agroalimentaire (mesure en ligne de quantité de graisse, d'humidité sur biscuits, etc.) et dans d'autres secteurs (mesure de l'humidité du coke).

Pour notre application, le capteur choisi a une zone d'inspection de 10mm x 10mm : cf. Figure 4.

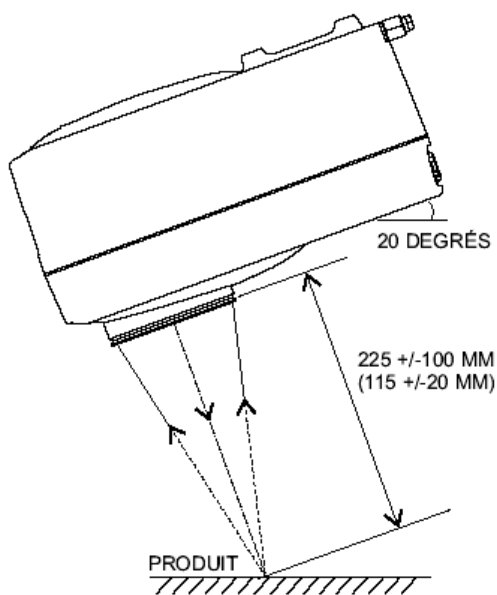


Figure 4 : Installation du capteur chez V&M

RESULTATS DES MESURES EN LIGNE CHEZ V&M

Mesures en statique sur différents tubes :

Nous avons comparé les mesures effectuées en statique en différents points d'un tube revêtu par la sonde à rétrodiffusion proche infrarouge et la sonde ponctuelle Fischer Deltascope, utilisée ici comme référence. Ces mesures ont été effectuées sur des séries de 10 tubes de 5 lots différents (diamètre, état de surface, nuance, etc.). Le repérage de la zone contrôlée par la sonde infrarouge est aisé puisqu' elle est illuminée ; par contre, il nous faut effectuer plusieurs mesures avec la sonde Deltascope dans cette zone et en déterminer la moyenne pour pouvoir comparer les mesures.

L'écart maximal rencontré entre une mesure par sonde Fischer et par capteur proche infrarouge, en statique, est de 10 microns, ce qui est inclus dans les tolérances estimées de la sonde Fischer (+/- 5 microns) : cf. Figure 5.

L'analyse de variance sur chaque population, montre qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les 2 séries de mesure.

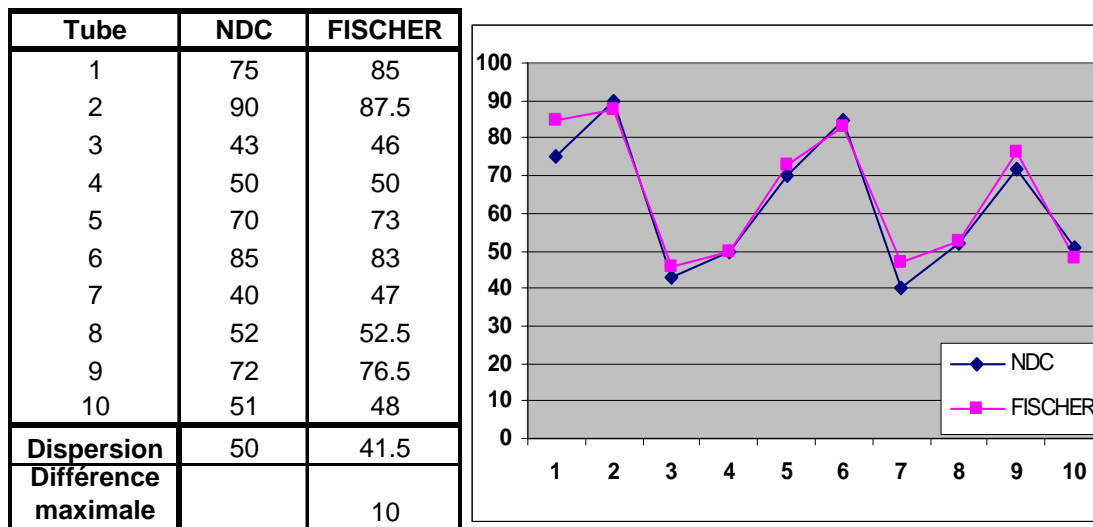


Figure 5 : Comparaison des mesures effectuées par sonde infrarouge (NDC) et magnétique (Fischer) en microns, sur le lot de tubes qui a donné l'écart maximal.

Mesures en dynamique

La sonde à rétrodiffusion proche infrarouge a ensuite été testée en dynamique. Pour ces essais, nous n'avons pas intégré de capteurs de présence produit: la mesure est donc effectuée en continu, même lorsqu'il n'y a pas de tube (la valeur mesurée est aberrante mais stable). Cela a pour conséquence des zones non mesurées en début et fin de tube (valeurs aberrantes sur 10mm) ; Sur la Figure 6, nous voyons le résultat de mesure de 7 tubes.

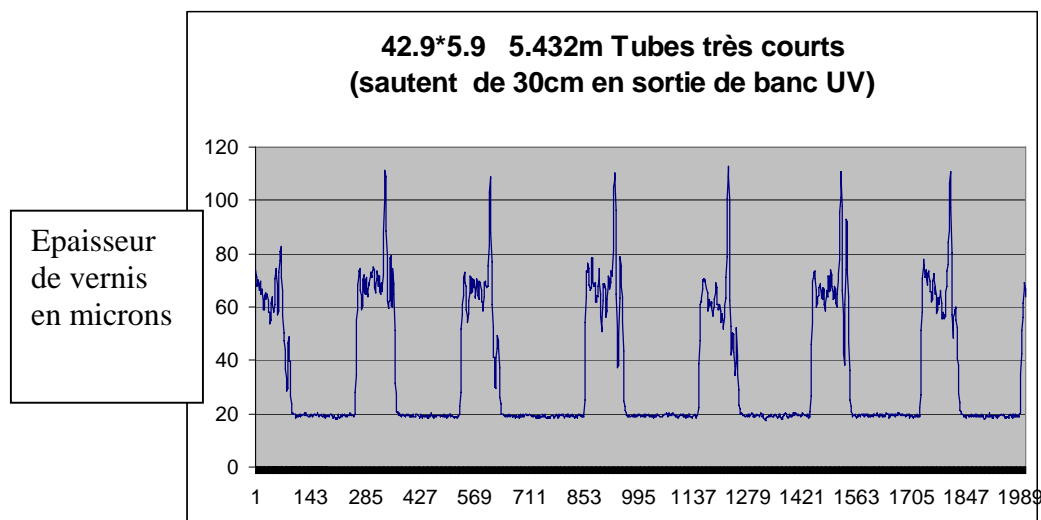


Figure 6 : Exemple de mesure en continu effectuée chez V&M.

Les « pics » en fin de tube sont très caractéristiques. Après vérification et comparaison avec des mesures Fischer à ces endroits (et avis des opérateurs expérimentés), il semble qu'il y ait effectivement une surépaisseur en fin de tube. Ces tubes en particulier sont très courts (l'espace entre les galets porteurs est du même ordre de grandeur que leur longueur) et sortent du banc 30 cm au-dessus de leur ligne d'horizon théorique !

Sur d'autres tubes, les courbes d'épaisseur de vernis en fonction mesurée peuvent être différentes : cf. Figure 7. Ces tubes ont la particularité de porter les marques du passage dans la dresseuse.

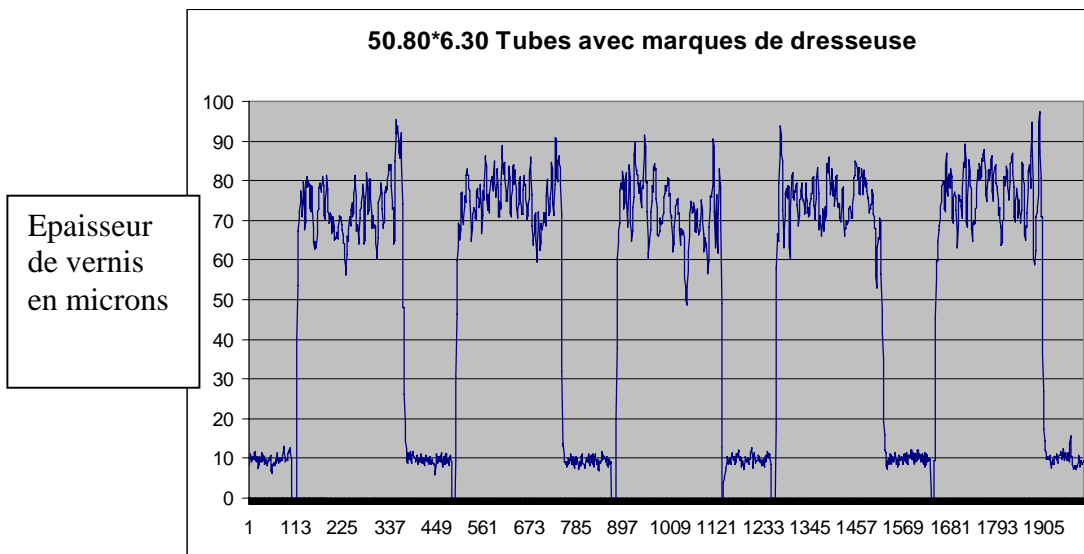


Figure 7 : Autre exemple de mesures effectuées sur tubes avec marques de dresseuse.

Les mesures par sonde Fischer sur les tubes correspondant à la Figure 7 ont donné des valeurs entre 40 et 70 microns. La dispersion sur la mesure d'épaisseur de vernis (de l'ordre de 30 microns) entre la sonde Fischer et le capteur proche infrarouge est donc cohérente, mais par contre les valeurs absolues sont différentes. La principale explication provient d'un « décalage de zéro » qui existe toujours selon le fournisseur sur les mesures en dynamique. Ce décalage est fixe quels que soient les autres paramètres, et doit donc être intégré à la mesure.

Mesures sur tube de référence

Nous avons sélectionné un tube de référence pour comparer les mesures en dynamique par le capteur proche infrarouge et en 8 zones repérées par la sonde Fischer. Le tube utilisé est de diamètre 50.8, d'épaisseur 3.8 et de longueur 14.718m. En se basant sur le début et la fin du tube, nous avons tenté d'aligner les courbes de mesures : cf. Figure 8.

Encore une fois nous voyons que les mesures sont cohérentes entre elles, en tenant compte de l'incertitude sur le positionnement des points mesurés.

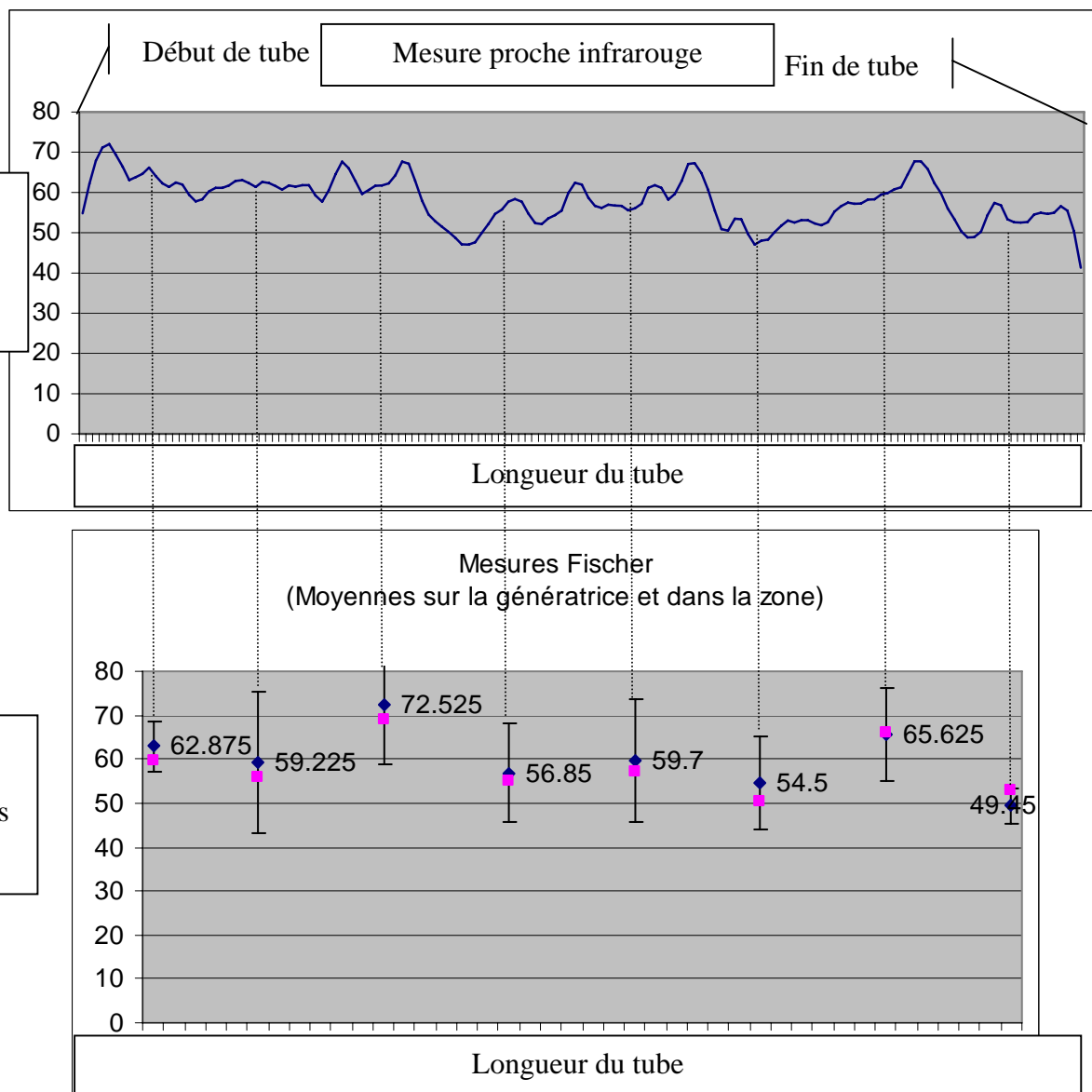


Figure 8 : Comparaison des mesures effectuées par les capteurs à rétrodiffusion proche infrarouge et Fischer sur un tube de référence. L'alignement a été estimé par rapport au début et fin de tube.

CONCLUSION

Les capteurs à rétrodiffusion proche infrarouge sont bien adaptés au contrôle en ligne de l'épaisseur de vernis appliqué sur tubes métalliques. Pour obtenir la mesure sur toute la circonférence, plusieurs capteurs sont à prévoir, si le tube défile sans rotation. La simplicité et la robustesse en milieu industriel de ce type de capteurs sont avérées, et la précision suffisante pour garantir un minimum d'épaisseur. En outre, le suivi tube à tube du process (manuel ou automatique) permettrait facilement d'optimiser la consommation de produit.

REMERCIEMENTS

Merci à la société NDC Infrared et à son représentant en France, Alain Martinez.