

## CFA/VISHNO 2016

**Contrôle Non Destructif sans contact par onde ultrasonore de surface en mode statique et dynamique du champignon du rail**

B. Ndao<sup>a</sup>, F. Jenot<sup>a</sup>, G. Bourse<sup>b</sup>, M. Duquennoy<sup>a</sup> et M. Ouaftouh<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Université de Valenciennes / IEMN-DOAE, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, 59313 Valenciennes Cedex 09, France

<sup>b</sup>Mines Douai / TPCIM, 941 rue Charles Bourseul - CS 10838, 59508 Douai, France  
bada.ndao@univ-valenciennes.fr



LE MANS

Les méthodes d'inspection ultrasonores ont été largement utilisées pour le contrôle des structures dans divers domaines industriels, en particulier dans les secteurs : ferroviaire, aéronautique, mécanique... Elles permettent d'explorer la structure avec comme objectif, la détection des défauts, la caractérisation des propriétés de matériaux, la mesure d'épaisseur...

La possibilité de détecter des défauts surfaciques dans les structures ferroviaires, tels que les squats et les head-checks qui sont situés au niveau de la tête du rail (champignon) par des méthodes ultrasonores, représente un enjeu économique et sécuritaire majeur pour l'industrie ferroviaire. La plupart de ces défauts sont principalement dus à la fatigue de contact de roulement (FCR), causée par le chargement des voies et par l'intensification du trafic.

Des opérations de maintenance sont régulièrement organisées, afin d'assurer la sécurité des structures ferroviaires. Les méthodes habituelles provoquent l'interruption ou le ralentissement du trafic, ce qui a pour effet d'augmenter les coûts de maintenance et donc de fonctionnement pour les compagnies ferroviaires. Les défauts FCR doivent être détectés dans le rail avant qu'ils n'atteignent le seuil critique de 5 mm, afin d'effectuer les opérations de maintenance rapidement. Le réseau ferroviaire doit être inspecté avec des méthodes efficaces, fiables et optimisées pour le contrôle automatique du champignon.

L'objectif de cette étude est de montrer la faisabilité en laboratoire, d'une méthode de contrôle non destructif innovante utilisant la génération et la détection sans contact d'ondes ultrasonores par laser et par EMAT (Electro-Magnetic Acoustic Transducer). Nous préconisons l'utilisation des ondes de Rayleigh pour la détection des défauts superficiels de profondeur inférieure à 5 mm situés dans le champignon du rail. Après validation de la détection des défauts en statique, notre objectif est d'effectuer cette détection pour des vitesses de contrôle comprises entre 25 à 36 km/h, avant d'envisager les mesures in situ.

## 1. Introduction

Actuellement, les méthodes de Contrôle Non Destructif ultrasonores dans le domaine ferroviaire s'orientent de plus en plus vers l'utilisation des ondes de surface pour l'inspection du rail. Ces ondes ont notamment été utilisées au Royaume-Uni et en Amérique du Nord dans ce but [1]–[3]. Elles possèdent une grande sensibilité aux défauts surfaciques, tels que : les fissures transversales, les head-checks, les squats... et peuvent se propager sur de longues distances.

Plusieurs moyens permettent de générer ces ondes comme l'utilisation de transducteurs piézoélectriques, d'EMATs (Electro-Magnetic Acoustic Transducers) ou bien encore de sources lasers [4].

Cette étude portera plus particulièrement sur les méthodes de génération et de détection sans contact d'ondes de Rayleigh par l'utilisation de sources lasers et de transducteurs EMATs.

La méthode Ultrasons-Laser n'est pas la plus courante pour le contrôle envisagé du fait de sa relative complexité de mise en œuvre. Celle-ci est d'autant plus importante lorsque le contrôle s'effectue en dynamique et avec des vitesses proches de celles d'exploitation du trafic ferroviaire. Quelques systèmes ont cependant été développés. Par exemple, le système automatisé dénommé LURI (Laser Ultrasonic for Rail Inspection) [5]. LURI est constitué d'une unité de commande et d'une unité optique pour la génération et la détection d'ondes ultrasonores. L'ensemble est embarqué dans un train pour l'inspection en mode dynamique. La vitesse des essais peut aller jusqu'à 40 km/h, avec une perte de la fiabilité des mesures lorsque la vitesse d'inspection est la plus élevée. Ce système peut produire trois types d'ondes : des ondes longitudinales, des ondes transversales et des ondes de Rayleigh. Ce système LURI peut détecter des défauts internes au niveau du champignon du rail, au niveau de la base mais aussi des ruptures complètes de la section du rail. Le TTCI (Transportation Technology Center, Inc.) a aussi développé aux États-Unis un système Ultrasons-Laser pour la détection des défauts cités ci-dessus [6]. Les vitesses de contrôle peuvent aller jusqu'à 32 km/h, mais la vitesse qui offre des mesures fiables se situe entre 8 km/h et 15 km/h.

A ce jour, en considérant ces deux systèmes, il n'a pas été mentionné d'essais en présence de défauts du type squat ou head-check.

Habituellement, la technique de contrôle du rail s'effectue manuellement via des systèmes d'inspection portatifs. De nos jours, avec l'essor des systèmes de détection automatisés, les méthodes manuelles, s'orientent de plus en plus vers la caractérisation des défauts, la vérification et la validation de résultats issus des inspections automatiques.

La localisation et la caractérisation de défauts reposent principalement sur l'exploitation de l'amplitude, l'étude du contenu fréquentiel, l'analyse des temps de vol associés aux ondes ultrasonores.

Kim N. H. & al ont étudié, en statique, l'interaction des ondes de surface avec des défauts surfaciques dans le rail [7]. Le système utilisé est constitué d'un laser impulsionnel Nd:YAG (longueur d'onde 1064 nm, énergie 850 mJ, durée d'impulsion 6 ns, diamètre de la tache focale 9 mm) pour la génération et d'un vibromètre laser à effet Doppler pour la détection. Des défauts surfaciques de profondeur inférieure à 5 mm ont été détectés avec des ondes de Rayleigh...

L'utilisation des transducteurs acoustiques électromagnétiques (EMAT) comme méthode d'inspection dans l'industrie ferroviaire, a fait l'objet de plusieurs études. Beaucoup de travaux ont été effectués par des chercheurs britanniques pour la caractérisation en statique des défauts surfaciques (2,5 à 15 mm de profondeur) dans le rail, avec des ondes de Rayleigh mais aussi avec des ondes SH [1], [8], [9] et [10]. Les fréquences utilisées sont comprises entre 50 et 500 kHz.

## 2. Les types de défauts recherchés

### 2.1. Les squats

Les squats sont des fissures qui apparaissent et se propagent dans le champignon du rail. Au premier stade, la fissuration apparaît sur une profondeur allant jusqu'à 4 mm, formant un angle ouvert de (10° à 30°) par rapport à la surface extérieure du rail. Ensuite, en fonction de la distribution des contraintes, deux directions de propagation sont possibles :

- Une direction de propagation vers l'intérieur du champignon, dans le sens vertical, ce qui provoque la rupture du rail dans de nombreux cas (figure 1, A).

- Une direction de propagation vers l'extérieur provoquant une perte de matière ou un écrasement, ce qui laisse une cavité à la surface (figure 1, B).

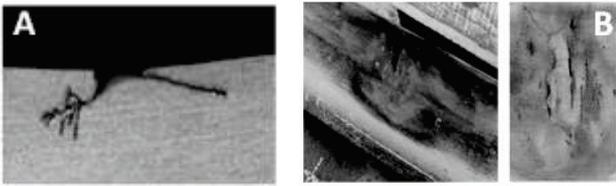


Figure 1 : Exemples de défauts du type squat [11]

## 2.2. Les head-checks

Ce sont des fissures ouvertes à la surface du rail présentant une grande densité au mètre (figure 2), principalement sur la face de roulement du rail et plus précisément sur le rail le plus à l'extérieur des sections courbées de la voie ferrée. En fonction des conditions climatiques locales, de la qualité et du profil du rail, des fissures parallèles apparaissent espacées de 1 mm à 7 mm environ les unes des autres et se propageant à un angle de  $25^\circ$  vers l'intérieur du champignon pour reprendre ensuite, dans bien des cas, un chemin parallèle à la surface de roulement ou s'orientant vers le bas. Ces fissures se réunissent bien souvent, provoquant la rupture du matériau sur la face de roulement ou des ruptures multiples du rail sur plusieurs mètres.

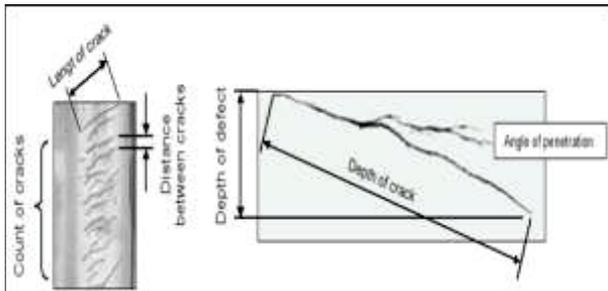


Figure 2 : Exemples de défauts du type head-check sur un rail [12]

## 3. Méthode de contrôle par Ultrasons-Laser

### 3.1. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental utilisé pour la génération et la détection d'ondes ultrasonores dans le rail est illustré à la figure 3. Il est constitué d'une source laser Nd:YAG pulsé qui peut être doublée en fréquence et d'un interféromètre permettant la détection du déplacement normal de la surface de l'échantillon provoqué par les ondes ultrasonores.

Le faisceau issu de la source laser est focalisé à la surface de l'échantillon et selon la nature de la lentille de focalisation, une source linéique ou ponctuelle peut être obtenue.

Les sources linéiques présentent l'avantage de pouvoir être très directives ce qui n'est pas le cas des sources ponctuelles qui sont omnidirectionnelles.

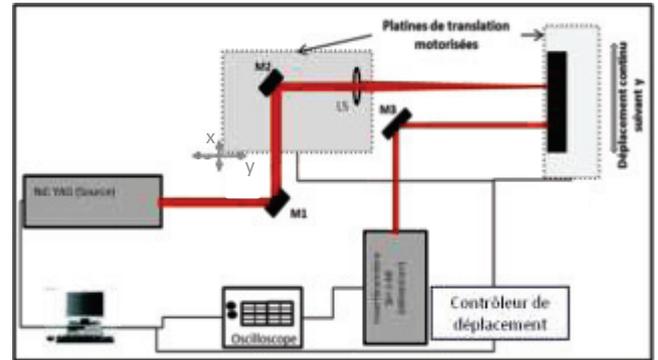


Figure 3 : Dispositif expérimental utilisé

### 3.2. Excitation des ondes ultrasonores

L'absorption locale de la radiation lumineuse engendre un échauffement brutal de la zone considérée. Les contraintes qui en résultent provoquent ainsi l'excitation d'ondes ultrasonores.

La densité de puissance du laser est ajustée afin de se situer dans le domaine thermoélastique ce qui n'endommage pas et ne compromet pas la résistance de la structure.

Pour faire varier la densité de puissance déposée à la surface de l'échantillon, les deux paramètres modifiables sont la surface de la tache focale et l'énergie émise.

### 3.3. Système de détection

Nous disposons d'une sonde interférométrique hétérodyne (SH-140) du type Mach-Zehnder (figure 4). Sa puissance est de 100 mW et sa bande passante est comprise entre 200 kHz et 45 MHz. Elle délivre un signal proportionnel au déplacement normal de la surface de l'échantillon engendré par le passage de l'onde ultrasonore.

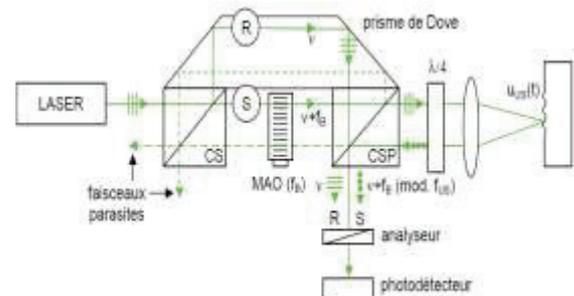


Figure 4 : Schéma optique de la sonde SH-140 [13]

L'acquisition des signaux s'effectue par le biais d'un oscilloscope Lecroy 9350A dont la fréquence d'échantillonnage est de 500 MHz. Un ordinateur contrôle la source laser et les tables de déplacement. Il permet l'acquisition des données et d'effectuer des essais automatisés.

Un procédé de traitement du signal est ensuite appliqué sur les signaux temporels et l'analyse des résultats donne des informations sur l'intégrité du rail.

### 3.4. Résultats expérimentaux

Premièrement, nous cherchons à vérifier que l'onde de surface détectée correspond à l'onde de Rayleigh sur un échantillon de référence sans défaut. Ensuite, nous évaluons

l'interaction onde/défauts en statique sur des échantillons contenant des défauts artificiels représentatifs des squats et des head-checks. Finalement, nous testons le potentiel du dispositif expérimental lors d'essais avec déplacement relatif, à faible vitesse sur l'échantillon de référence.

### 3.4.1 Essais sur un échantillon de référence

Afin de vérifier que l'onde ultrasonore détectée est l'onde de Rayleigh, nous avons notamment effectué des mesures de vol en fonction de différentes distances de propagation. La détection est maintenue à une position fixe et la source est déplacée sur l'axe central du rail de référence par pas de 2 mm. La figure 5 montre les résultats obtenus. Cet essai permet d'obtenir la vitesse de l'onde de Rayleigh. Celle-ci est de 2984 m/s, ce qui est en accord avec les valeurs de la littérature [14].

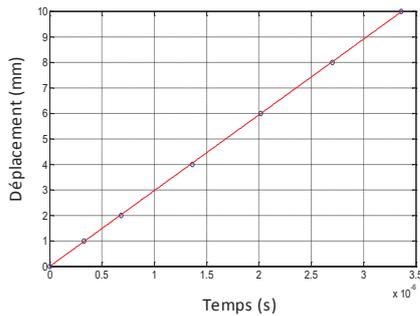


Figure 5 : variation de la distance Emetteur-Récepteur en fonction du temps de vol de l'onde de surface

### 3.4.2 Essais en statique sur un échantillon présentant des squats artificiels

Nous effectuons des mesures par pas de 1 cm sur l'axe central du rail (figure 6). La source et le point de détection sont distants d'environ 2 cm. L'observation des résultats permet de constater que lorsque la source (E) et le point de détection (R) sont avant ou après un défaut (essai en réflexion) le signal direct et les signaux produits par réflexion sur les défauts impliqués sont détectés comme le montre la figure 7. Ceci n'est pas le cas lorsqu'un défaut se trouve entre l'émission et la détection (essai en transmission) comme le montre la figure 8. En effet, dans nos essais, les longueurs d'onde associées aux ondes de Rayleigh sont nettement plus petites que la profondeur des défauts étudiés.

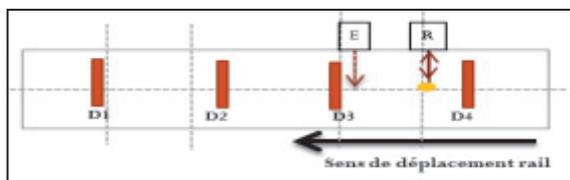


Figure 6 : Schéma représentatif de l'échantillon avec défauts artificiels (squats)

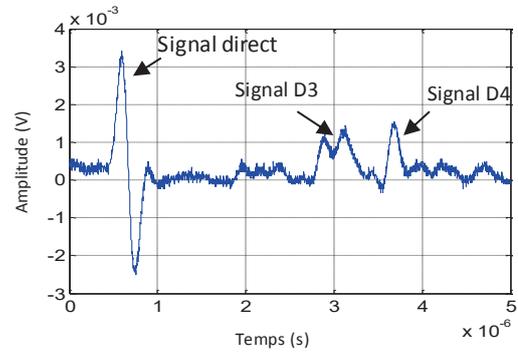


Figure 7 : Signaux obtenus en réflexion. Les squats D3 et D4 sont clairement observables en réflexion

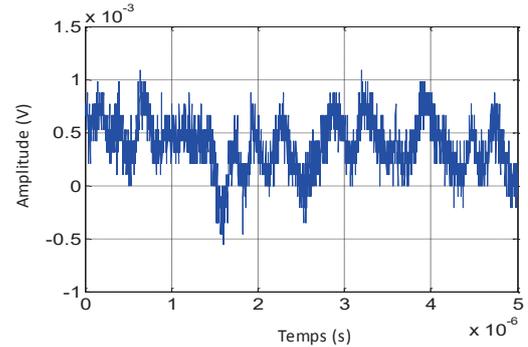


Figure 8 : Signal obtenu en transmission. Le squat D4 de profondeur 4 mm n'est pas observable en transmission

### 3.4.3 Essais sur un échantillon présentant des head-checks artificiels

Selon le même principe que précédemment, considérons un échantillon présentant des head-checks (figure 9). Nous obtenons des résultats similaires à ceux décrits précédemment. Nous observons en plus les conséquences de la loi de Snell-Descartes. L'inclinaison des défauts provoque la diminution de l'amplitude du signal détecté.

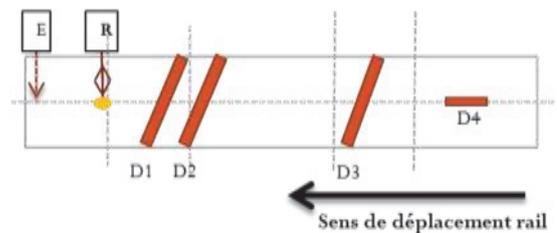


Figure 9 : Schéma représentatif de l'échantillon avec défauts artificiels (head-checks)

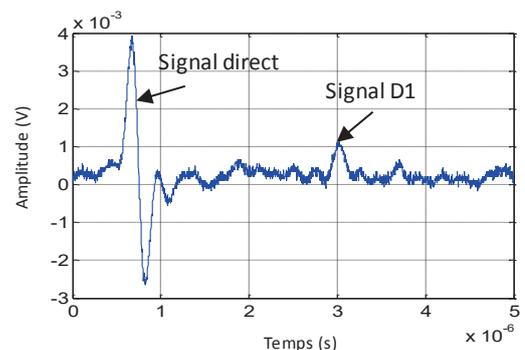


Figure 10 : Signal obtenu en réflexion sur le head-check D1

### 3.4.4 Essais avec déplacement relatif

Nous avons aussi étudié l'influence du déplacement de l'échantillon sur la détection de l'onde de Rayleigh. L'échantillon est monté sur une platine de translation capable de se déplacer en continu avec une vitesse de 2 mm/s. La source est séparée du point de détection d'environ 2 cm. Nous présentons à la figure 11 le signal, non moyenné, correspondant à l'onde de surface se propageant sur un rail possédant une surface de bonne réflectivité. Le même essai est ensuite réalisé sur un autre échantillon de rail possédant une mauvaise réflectivité. La figure 12 correspond au signal obtenu, ce résultat montre les limites du système de détection dans ces conditions.

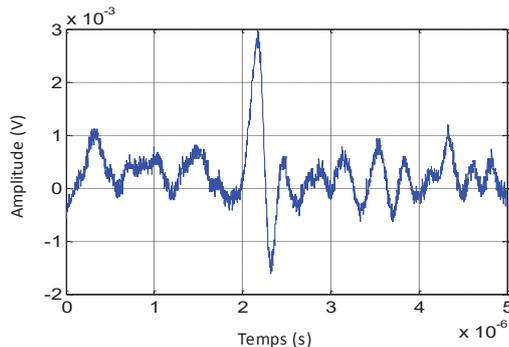


Figure 11 : Signal obtenu en dynamique sur un rail dont la surface présente une bonne réflectivité

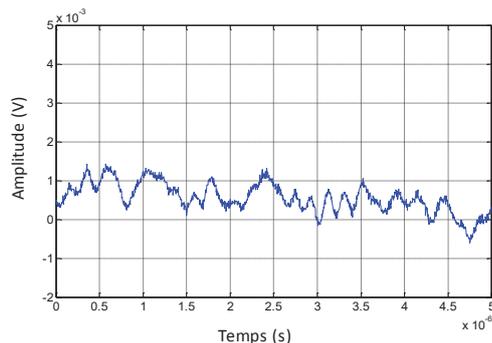


Figure 12 : Signal obtenu en dynamique sur un rail dont la surface présente une mauvaise réflectivité

## 4. Méthode de contrôle par EMAT

Les EMATs (Electro-Magnetic Acoustic Transducer) sont des dispositifs électromagnétiques capables de générer et détecter des ondes ultrasonores dans des matériaux conducteurs électriques. Leur fonctionnement peut se faire sans contact et ne nécessite pas l'utilisation de couplant. L'utilisation des EMATs n'est pas récente et date des années 1970.

Le mécanisme de génération d'un EMAT peut se faire suivant trois mécanismes en fonction des propriétés de l'échantillon [15]–[17] : la force de Lorentz, la force d'aimantation et/ou la magnétostriction.

Un dispositif EMAT est généralement constitué d'une bobine conductrice et d'un aimant permanent ou d'un électro-aimant.

Lorsque la bobine placée au voisinage d'un échantillon conducteur électrique est alimentée par un générateur électrique à la fréquence ultrasonore désirée, des courants de Foucault sont induits dans le matériau conducteur. Le champ magnétique présent interagit avec ce courant et

engendre une force électromagnétique appelée force de Lorentz dont l'expression peut s'écrire comme suit :

$$\mathbf{F} = \mathbf{J} \wedge \mathbf{B} \quad (1)$$

Le mécanisme de la génération d'ondes par la technologie EMAT est fortement lié à la disposition du champ magnétique statique généré par l'aimant et du courant induit par la bobine. Plusieurs types d'onde peuvent être générés suivant la polarité de l'aimant et la direction de circulation du courant.

Kawashima [18] a montré expérimentalement pour un même transducteur, que les caractéristiques des ondes générées diffèrent selon le type du matériau (non magnétique ou ferromagnétique). Dans le cas des matériaux non magnétiques, la génération d'ondes ultrasonores par EMAT est uniquement régie par le mécanisme de la force de Lorentz [19]. Dans le cas des échantillons ferromagnétiques comme l'acier, la génération d'un EMAT s'effectue suivant deux mécanismes : la magnétostriction et la force de Lorentz.

Le mécanisme de la force de Lorentz est linéaire et insensible aux propriétés du matériau telles que la conductivité électrique et la perméabilité magnétique relative, tandis que la magnétostriction est fortement non-linéaire et dépend en grande partie des propriétés physiques du matériau et de l'orientation du champ magnétique appliqué [20].

Des études antérieures ont montré que la magnétostriction constitue le mécanisme dominant lorsque le champ magnétique statique de l'EMAT est orienté parallèlement à la surface de l'échantillon ferromagnétique [20]. Par ailleurs, quand le champ statique est normal à la surface de l'échantillon, certains auteurs affirment que le mécanisme de la force de Lorentz est dominant [20]–[22].

Dans le cadre de cette étude qui est portée sur des échantillons de rail réalisés en acier ferromagnétique, le mécanisme de génération des ondes ultrasonores par EMAT est dominé par celle de la force de Lorentz car le champ magnétique des sondes utilisées est toujours orienté normalement à la surface libre.

### 4.1 Dispositif expérimental

Pour la réalisation des essais avec les EMATs, nous disposons d'une PowerBox 2 (Innerspec Technology USA) qui nécessite un pilotage externe s'effectuant à partir du logiciel « UT Power ». C'est un instrument portable conçu pour les applications de contrôle non destructif exigeant de fortes puissances énergétiques et ayant une fréquence d'échantillonnage de 100 MHz. La PowerBox 2 incorpore des processeurs intelligents qui intègrent un numériseur et avec des cadences d'excitation jusqu'à 2 kHz.

Des impulsions « Spike » et « Tone-Burst » peuvent être générées à des fréquences allant de 50 kHz à 6 MHz, pour exciter une gamme complète de types d'ondes ultrasonores, et en particulier les ondes guidées en configuration pitch-catch ou pulse-écho.

Un adaptateur d'impédance assure la compatibilité entre les capteurs (Emetteurs/Récepteurs) et la PowerBox 2. Suivant le type des aimants, l'architecture de la bobine et la direction du champ magnétique de l'aimant permanent, plusieurs types d'ondes peuvent être générés et détectés. Dans le cadre du projet, les sondes utilisées génèrent des ondes de Rayleigh.

Dans le cadre de la détection de défauts isolés, deux capteurs (figure 13) suffisent pour la détection et le

positionnement d'un défaut. En réalité cette situation idéale, ne se présente pas toujours. Il est possible que des défauts soient présents en réseau sur certaines zones du rail. L'utilisation de trois capteurs (un émetteur et deux récepteurs) permettra d'améliorer la précision des mesures dans le cadre d'un contrôle avec mouvement relatif.

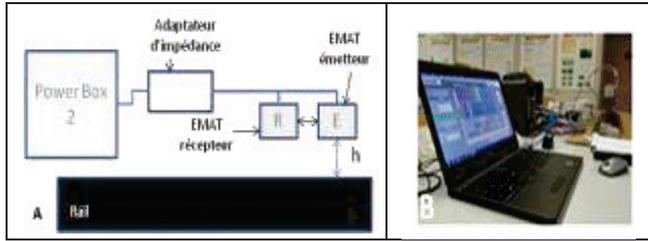


Figure 13 : Dispositif expérimental EMAT

## 4.2 Résultat expérimentaux

### 4.2.1 Etude de l'atténuation de l'onde de Rayleigh dans le rail

Pour évaluer l'atténuation de l'onde de Rayleigh dans le rail, nous avons effectué des essais sur un rail de 3m supposé sans défaut.

Dans un premier temps, les capteurs sont maintenus à l'aide d'un entrefer h d'environ 0,6 mm au-dessus de la bande de roulement du rail. La puissance d'excitation des sondes de Rayleigh utilisées est 450 W pour une longueur d'onde de 6,5 mm. L'émetteur est maintenu fixe et le récepteur est décalé par pas de 10 cm.

Les résultats obtenus (figures 14 et 15) permettent de constater que l'onde de Rayleigh détectée est observable jusqu'au moins 1 m.

Le même test a été réalisé avec les sondes de longueur d'onde égale à 2 mm sur le même rail. Les résultats obtenus sont moins probants du fait de la sensibilité élevée de l'onde de Rayleigh, à l'état de la surface du rail qui n'était pas homogène sur toute la longueur.

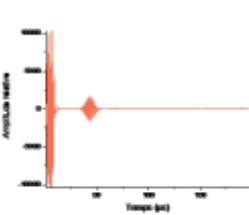


Figure 14: A-scan du signal pour d=10 cm avec h=0,6mm

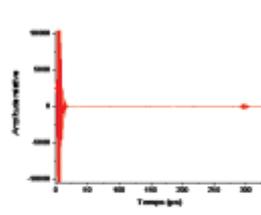


Figure 15: A-scan du signal pour d=100 cm avec h=0,6mm

### 4.2.2 Détection des défauts artificiels

L'échantillon de rail utilisé pour ces tests provient d'un rail du type UIC60 d'une longueur d'un mètre. Des défauts artificiels représentatifs de squats (N° 2) et de Head-checks (N° 3, 4, 5) ont été usinés comme l'illustre les figures 16. Le but de ces essais est d'étudier le comportement de l'onde de Rayleigh en présence d'une fissure surfacique.

Pour réaliser cette expérience, nous utilisons la configuration pitch-catch, l'émetteur (E) et le récepteur (R) sont maintenus à distance fixe (d=6,5 cm), avec un lift-off (h=1,2 mm). L'ensemble est déplacé le long de la surface de roulement du rail par pas de 1 cm. La puissance

d'excitation des sondes ( $\lambda=5$  mm) est de 450 W avec un gain d'amplification de 0 dB.

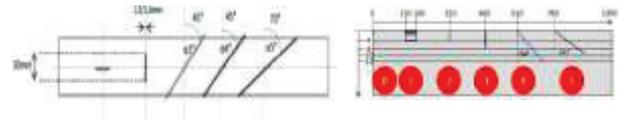


Figure 16 : Schémas des défauts sur le rail

Les résultats obtenus sont représentés ci-dessous, sous forme de B-scan. L'analyse peut se faire de deux manières :

- ❖ Lorsque l'on ne s'intéresse qu'aux signaux transmis (figure 17), on peut observer que lorsqu'il n'y a aucun défaut entre l'émetteur et le récepteur, l'amplitude de l'onde de Rayleigh détectée est maximale. Dans le cas contraire, l'amplitude de l'onde est atténuée, cette atténuation dépend de deux critères :

- Du rapport entre la profondeur du défaut et la longueur d'onde de Rayleigh. Plus ce rapport est élevé, plus l'onde transmise est atténuée, le défaut joue ici, le rôle d'un « filtre passe-bas ».

- De l'orientation du défaut par rapport à la surface de roulement et de son inclinaison dans l'épaisseur du champignon.

- ❖ Lorsqu'on ne s'intéresse qu'aux signaux réfléchis (figure 18), les échos produits par les défauts peuvent également être observés, comme en transmission, l'amplitude de l'écho dépend aussi :

- Du rapport entre la profondeur du défaut et la longueur d'onde de Rayleigh. Plus ce rapport est élevé, plus l'amplitude de l'onde réfléchie est élevée dans le champ lointain.

- De l'orientation du défaut par rapport à la surface de roulement. Pour des défauts inclinés (cas des head-checks), l'onde de Rayleigh arrivant sur l'interface d'un défaut est parfois renvoyée hors du champ de détection du récepteur. Dans certains cas, une faible portion de l'onde renvoyée peut être interceptée par ce dernier. C'est pour cette raison que les échos générés par ce type de fissure (N° 3, 4 et 5) sont très faibles pour être correctement observés. Un traitement du signal plus élaboré sera mis en œuvre pour améliorer la visibilité de ces échos.

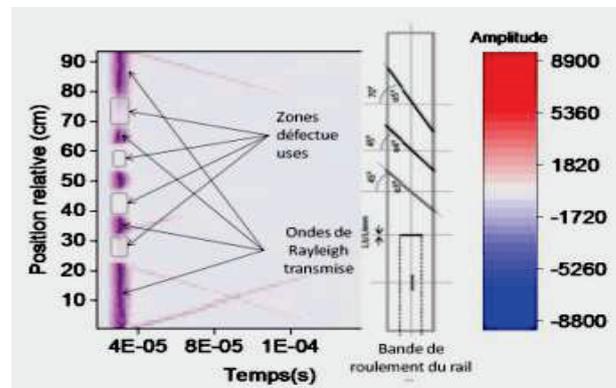


Figure 17: C-scan obtenu sur l'échantillon de rail contenant des défauts artificiels

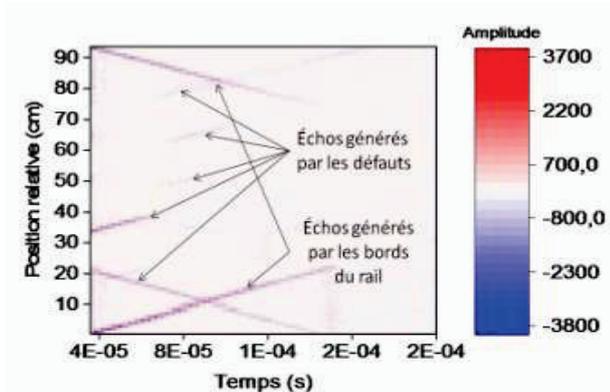


Figure 18 : Partie du C-scan (Fig.14) ne contenant que les échos produits par les défauts et les bords

## 5. Mise en place des bancs d'essais pour le contrôle en dynamique

Suite à ces essais en statique, nous envisageons de montrer la faisabilité de la détection de ces défauts surfaciques de manière sans contact et avec mouvement relatif. Les bancs de tests pour réaliser ces mesures sont en phase de finalisation. Il s'agit de deux bancs de guidage linéaire un pour les essais Ultrasons-Laser et l'autre pour les essais EMATs.

### 5.1 Banc de guidage linéaire pour essais Ultrasons-Laser

Nous disposons d'une unité de guidage dénommée DLS4, de 2,61 m de long, et d'un motoréducteur asynchrones permettant l'entraînement du chariot support des échantillons à des vitesses allant jusqu'à 7 m/s (figure 19).

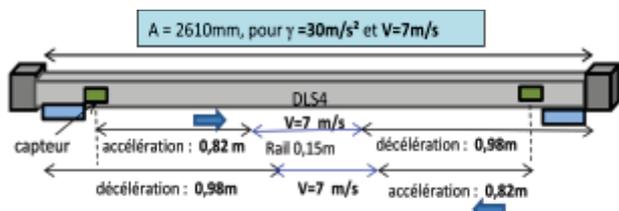


Figure 19 : Dimensionnement du banc Ultrasons-Laser

Ce banc présenté à la figure 20 devrait nous permettre de montrer la faisabilité de la détection de défauts surfaciques en mode dynamique avec comme objectif la réalisation d'essais à 25 km/h.



Figure 20 : Banc de guidage linéaire pour les essais Ultrasons-Laser

### 5.2 Banc de guidage linéaire pour essais Ultrasons-EMAT

Le banc de guidage pour les essais EMATs est aussi constitué d'une unité de guidage (DLS4), d'une longueur de 4,54 m (figure 21). Ce qui permettra d'atteindre des vitesses de déplacements allant jusqu'à 10 m/s.

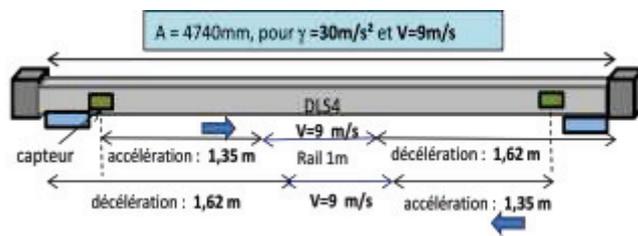


Figure 21 : Dimensionnement du Banc EMAT

Ce banc représenté par la figure 19, comme le banc ultrasons-laser, sont en phase de finalisation



Figure 22 : Banc de guidage linéaire pour essais EMAT

Cette différence de longueur entre les deux bancs s'explique par la différence de taille des échantillons utilisés distinctement pour les deux méthodes. Un mètre pour le banc EMAT et quinze à vingt centimètres pour le banc laser.

## 6. Conclusion

Les méthodes automatisées de Contrôle Non Destructif par Ultrasons-Laser dans le rail ne s'intéressent généralement qu'aux défauts internes. C'est pourquoi, notre étude s'est focalisée sur l'inspection de défauts surfaciques. Pour des défauts de profondeurs supérieures aux longueurs d'onde considérées, nous avons montré avec que des mesures en réflexion permettent de mettre en évidence la présence de défauts, ce qui n'est pas le cas en transmission aux fréquences acoustiques considérées. Nous avons aussi évalué la capacité de l'interféromètre SH-140 à détecter l'onde de Rayleigh sur un échantillon de bonne réflectivité en déplacement à faible vitesse. Nous avons aussi déterminé les limites du système de détection sur un échantillon de mauvaise réflectivité lorsqu'il y a un déplacement relatif.

Nous avons aussi mis en évidence la possibilité de détection des défauts surfaciques de petites tailles (< 8 mm) en utilisant la technologie EMAT.

Dans le cas d'un échantillon présentant des head-checks, l'inclinaison du défaut peut limiter sa détection aussi bien pour la méthode Ultrasons-Laser que pour la méthode EMAT.

En perspective, nous étudierons la faisabilité de la méthode avec des vitesses de déplacement de l'ordre de

25 km/h grâce un système de guidage linéaire qui est en phase de finalisation.

## Remerciements

Les auteurs remercient l'aide financière apportée par l'IRT RAILENIUM dans le cadre du projet CUSCIF.

## Références

- [1] R. S. Edwards, S. Dixon, and X. Jian, "Characterisation of defects in the railhead using ultrasonic surface waves," *NDT E Int.*, vol. 39, no. 6, pp. 468–475, Sep. 2006.
- [2] D. Hesse and P. Cawley, "Excitation of Surface Wave Modes in Rails and their Application for Defect Detection," in *AIP Conference Proceedings*, 2006, vol. 820, pp. 1593–1600.
- [3] C. myoung lee, J. L. Rose, and Y. Cho, "A guided wave approach to defect detection under shelling in rail," *NDT E Int.*, vol. 42, no. 3, pp. 174–180, Apr. 2009.
- [4] F. FAËSE, F. Jenot, M. Ouaftouh, M. Duquennoy, and M. Ourak, "Fast slot characterization using laser ultrasonics and mode conversion," *Meas. Sci. Technol.*, vol. 24, p. 095602, 7 pages, 2013.
- [5] S. A. Nielsen, A. L. Bardenshtein, A. M. Thommesen, and B. Stenum, "automatic laser ultrasonics for rail inspection." [http://www.ndt.net/article/wcndt2004/pdf/laser\\_ultrasonics/377\\_nielsen.pdf](http://www.ndt.net/article/wcndt2004/pdf/laser_ultrasonics/377_nielsen.pdf).
- [6] D. Cemiglia, G. Garcia, S. Kalay, and F. Prior, "Application of laser induced ultrasound for rail inspection," in *Proceedings of the World Congress in Railway Research*. Montreal, Canada. 2006.
- [7] N.-H. Kim, H. Sohn, and S.-W. Han, "Rail Inspection Using Noncontact Laser Ultrasonics," *J. Korean Soc. Nondestruct. Test.*, vol. 32, no. 6, pp. 696–702, Dec. 2012.
- [8] Y. Fan, S. Dixon, R. S. Edwards, and X. Jian, "Ultrasonic surface wave propagation and interaction with surface defects on rail track head," *NDT E Int.*, vol. 40, no. 6, pp. 471–477, Sep. 2007.
- [9] R. S. Edwards, S. Dixon, and X. Jian, "Depth gauging of defects using low frequency wideband Rayleigh waves," *Ultrasonics*, vol. 44, no. 1, pp. 93–98, Jan. 2006.
- [10] J. L. Rose, M. J. Avioli, P. Mudge, and R. Sanderson, "Guided wave inspection potential of defects in rail," *NDT E Int.*, vol. 37, no. 2, pp. 153–161, Mar. 2004.
- [11] U. Zerbst, R. Lundén, K.-O. Edel, and R. A. Smith, "Introduction to the damage tolerance behaviour of railway rails – a review," *Eng. Fract. Mech.*, vol. 76, no. 17, pp. 2563–2601, Nov. 2009.
- [12] R. Meierhofer and R. Pohl, "Head check measurement a fully operational system on a rail grinder." In *Proceedings: World Congress on Railway Research*, Montreal Canada, 2006.
- [13] D. Royer and E. Dieulesaint, "Optical Detection of Sub-Angstrom Transient Mechanical Displacements," in *Proceedings of the 1986 IEEE Ultrasonics Symposium* (p. 527). IEEE New York.
- [14] S. Kenderian, B. B. Djordjevic, and R. E. Green, "Sensitivity of point- and line-source laser-generated acoustic wave to surface flaws," *IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Control*, vol. 50, no. 8, pp. 1057–1064, Aug. 2003.
- [15] M. Hirao and H. Ogi, *EMATs for Science and Industry: Noncontacting Ultrasonic Measurements*. Springer Science & Business Media, 2013.
- [16] X. Jian, S. Dixon, K. Quirk, and K. T. V. Grattan, "Electromagnetic acoustic transducers for in- and out-of plane ultrasonic wave detection," *Sens. Actuators Phys.*, vol. 148, no. 1, pp. 51–56, Nov. 2008.
- [17] S. B. Palmer and S. Dixon, "Industrially viable non-contact ultrasound," *Insight - Non-Destr. Test. Cond. Monit.*, vol. 45, no. 3, pp. 211–217, Mar. 2003.
- [18] K. Kawashima, "Experiments with two types of electromagnetic ultrasonic transducers," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 60, no. 2, pp. 365–373, Aug. 1976.
- [19] M. R. Gaertner, W. D. Wallace, and B. W. Maxfield, "Experiments Relating to the Theory of Magnetic Direct Generation of Ultrasound in Metals," *Phys. Rev.*, vol. 184, no. 3, pp. 702–704, août 1969.
- [20] R. M. Bozorth, *Ferromagnetism*. Princeton (N.J.); Toronto; London : D. Van Nostrand, 1951.
- [21] A. Wilbrand, "EMUS-Probes for Bulk Waves and Rayleigh Waves. Model for Sound Field and Efficiency Calculations," in *New Procedures in Nondestructive Testing*, P. D. P. Höller, Ed. Springer Berlin Heidelberg, 1983, pp. 71–80.
- [22] Wilbrand, A., "Quantitative modeling and experimental analysis of the physical properties of electromagnetic-ultrasonic transducers" in *Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation*. 7A, 1988, pp. 671–680.