

## TP : Ondes centimétriques.

Les ondes électromagnétiques qui nous environnent, occupent un spectre de fréquence ou de longueur d'onde très large. Le domaine le plus courant est celui des ondes lumineuses pour lesquelles les longueurs d'ondes - toujours évaluées dans le vide - sont situées autour de  $\lambda = 0,5 \mu\text{m}$ . Les ondes dites centimétriques sont celles dont la longueur d'onde est de l'ordre du centimètre. La relation entre la longueur d'onde  $\lambda$  et la fréquence  $f$  est :

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

où  $c = 3 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  est la vitesse de la lumière dans le vide.

Situons les ondes centimétriques par rapport à des ondes électromagnétiques voisines. On trouve les ondes radio dans le domaine des grandes ondes - ondes modulées en amplitude - de fréquence  $f = 200 \text{ kHz}$  et de longueur d'onde  $\lambda = 1,5 \text{ km}$ . Pour la radio FM en modulation de fréquence  $f = 100 \text{ MHz}$ ,  $\lambda = 3 \text{ m}$ . Pour la téléphonie mobile, on se situe à des fréquences de  $1 \text{ GHz}$  et donc à une longueur d'onde  $\lambda = 30 \text{ cm}$ . On comprend ainsi que la fréquence des ondes centimétriques est encore plus élevée. L'émetteur que nous allons utiliser possède une fréquence  $f = 9,5 \text{ GHz}$ , la longueur d'onde est  $\lambda \simeq 3,2 \text{ cm}$ . C'est cette longueur d'onde qui donne son nom aux ondes que nous allons étudier.

## 1 Objectifs

Vous connaissez de nombreux phénomènes relatifs aux ondes comme la propagation, la réflexion, la réfraction, l'absorption sans oublier la question de la polarisation ou encore la diffraction, les interférences. Vous effectuerez un choix parmi celles-ci car il est difficile d'étudier l'ensemble de ces phénomènes pendant le TP. Ce choix vous permettra soit de caractériser l'onde, soit de vérifier une loi théorique correspondant au phénomène étudié.

## 2 Matériel

### 2.1 Matériel de base

Le matériel dont vous disposez est une alimentation de l'antenne émettrice placée au début d'un cône, d'un rail support, d'un cône avec à son extrémité une antenne réceptrice qui peut être remplacé par une petite antenne dont la résolution spatiale sera bien meilleure mais dont le signal sera aussi plus faible. Voir la photographie de la figure 1, le rail support est composé de deux parties qui pivotent autour d'un axe vertical placé au centre de la platine circulaire permettant d'effectuer des mesures d'angle.



FIGURE 1 – Matériel de base

L'antenne réceptrice est sensible à l'amplitude du champ électrique, la tension image fournie correspondant à la valeur de l'amplitude du champ électrique. Nos systèmes électroniques permettant la visualisation de l'onde ne fonctionnent pas à la fréquence de  $9,5 \text{ GHz}$ , ils ne peuvent que suivre des évolutions plus lentes comme celle que l'on peut provoquer en modulant l'amplitude de l'onde centimétrique émise. Le boîtier d'alimentation de l'antenne comprend une modulation d'amplitude de fréquence  $f = 3 \text{ kHz}$  que l'on peut très facilement observer

grâce à un oscilloscope. Sans modulation, la tension amplifiée ou non vue à l'oscilloscope sera constante. La modulation est très pratique pour faire une recherche d'ondes en utilisant le haut-parleur intégré au boîtier électronique. À l'exception dans les cas de vérification du fonctionnement du dispositif, on évitera de le faire fonctionner tant le son émis à 3 kHz est désagréable aux oreilles...

La modulation d'amplitude de l'onde est de forme un peu particulière. On peut la voir sur l'image de gauche de la figure 2. Lorsque le signal est traité par le module d'amplification, on retrouve un signal certes amplifié mais aussi modifié dans sa forme comme on peut le voir sur l'image de droite de la figure 2.

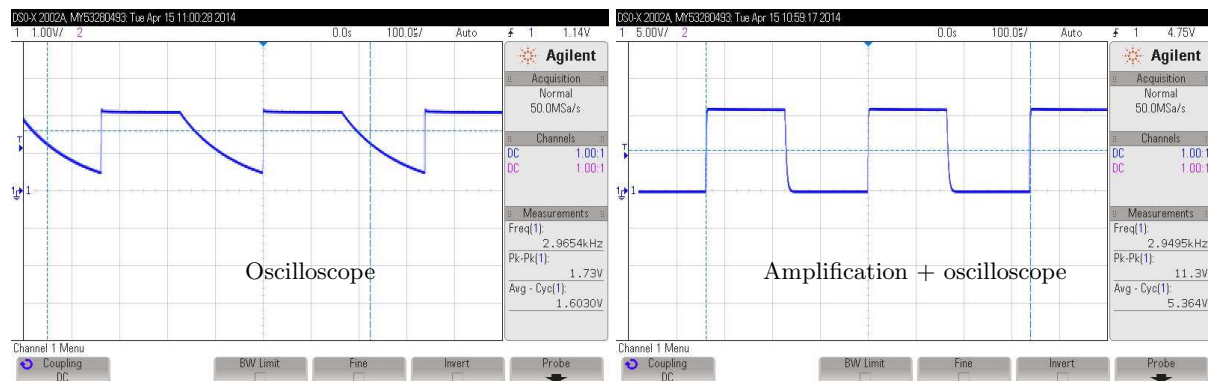


FIGURE 2 – Forme de la modulation d'amplitude

## 2.2 Matériel complémentaire

Pour effectuer ce TP, vous disposerez du matériel permettant d'étudier les nombreux phénomènes physiques évoqués dans les objectifs du TP. À la figure 3, vous pouvez voir le dispositif de polarisation constitué par une grille métallique. Sur la photographie de droite, on voit que le champ électrique parallèle  $\vec{E}_{\parallel}$  au barreau de la grille est absorbé alors que le champ électrique transversal  $\vec{E}_{\perp}$  ne l'est pas. Ceci n'est pas intuitif car le champ électrique ne se comporte pas comme un crayon fin que l'on chercherait à faire passer à travers la grille. En fait, le champ électrique oscillant de l'onde électromagnétique met en mouvement les électrons dans le sens des barreaux en y provoquant des courants. L'énergie associée au champ  $\vec{E}_{\parallel}$  est donc transmise au conducteur, comme les mouvements ne sont pas favorisés dans le sens transverse, le champ  $\vec{E}_{\perp}$  n'est pas absorbé. N'oublions pas que le principe est exactement le même pour les polariseurs rectilignes que l'on utilise en optique. Le rôle des barreaux est alors joué par de très longues chaînes moléculaires sur lesquelles on a greffé des atomes dotés d'importants nuages électroniques comme l'iode, par exemple.

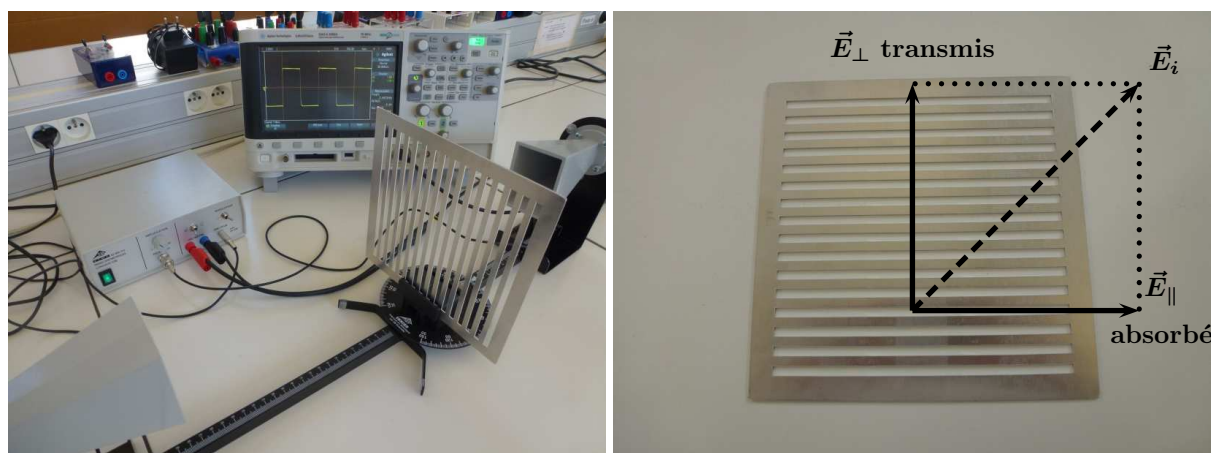


FIGURE 3 – Étude de la polarisation

Vous pouvez voir sur la photographie de la figure 4, le dispositif d'étude des ondes stationnaires que vous étudierez dans l'aspect expérimental.

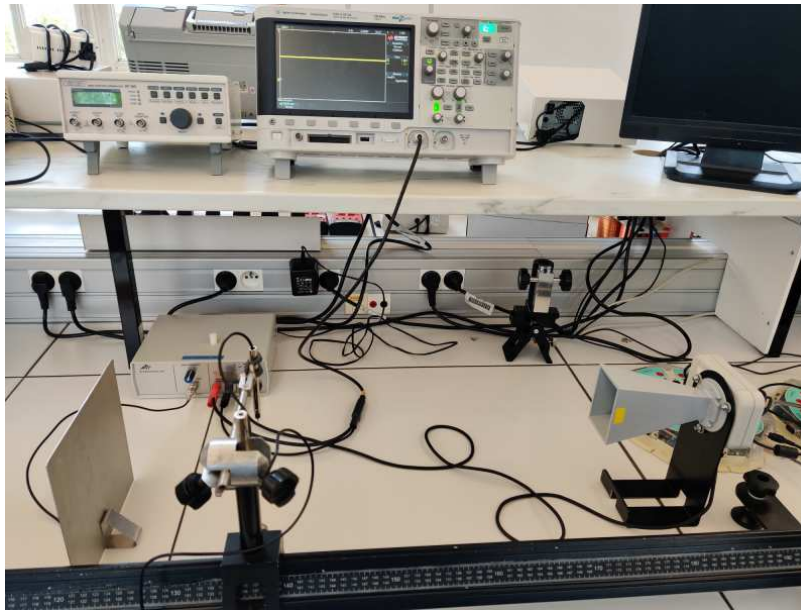


FIGURE 4 – Dispositif formant un système d’ondes stationnaires et positionnement de l’antenne par rapport à l’orientation du champ électrique pour une détection optimale du signal. Ici, la modulation n’est pas activée, on visualise, pour une position donnée de l’antenne, un signal constant sur l’oscilloscope.

### 3 Aspects théoriques

#### 3.1 Onde plane progressive sinusoïdale

L’onde électromagnétique, transversale, propage deux vecteurs  $\vec{E}$  et  $\vec{B}$  selon une direction de propagation définie par son vecteur d’onde  $\vec{k}$ . Le trièdre  $(\vec{k}, \vec{E}, \vec{B})$  est direct. Pour une Onde Plane Progressive Monochromatique (ou Sinusoïdale) - notée OPPM ou OPPS - on a, lorsque la direction de propagation est  $Oz$  dans le sens croissant de  $z$  :

$$\vec{E} = E_0 \vec{e}_x \cos(\omega t - kz)$$

où  $\omega = kc$  avec (dans le vide ou bien l’air)  $c = 3 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Dans le cas présenté ci-dessus, l’onde est polarisée rectilignement sur l’axe  $Ox$ , voir le schéma de la figure 5.

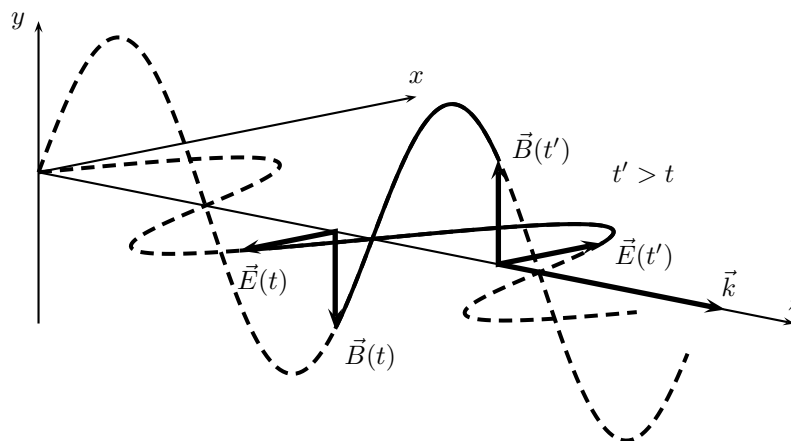


FIGURE 5 – Structure de l’onde électromagnétique polarisée rectilignement selon  $Ox$

#### 3.2 Modulation

La modulation d’un signal consiste à faire évoluer une des caractéristiques d’un signal assez lentement par rapport à son évolution principale. Il existe deux grands types de modulation : la modulation d’amplitude et la modulation de fréquence. Sur le graphique de la figure 6, on peut voir un signal sinusoïdal modulé en amplitude. La forme de ce signal est :

$$u(t) = A m(t) \cos 2\pi f t = A(1 + \varepsilon \cos 2\pi f_m t) \cos 2\pi f t$$

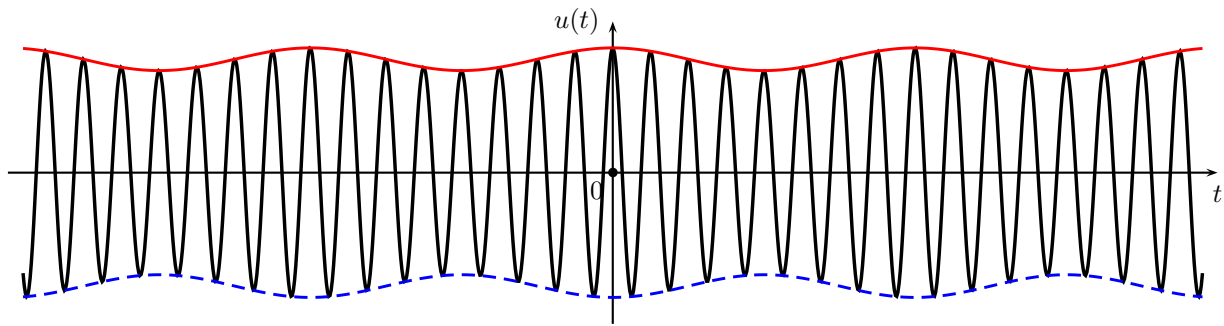


FIGURE 6 – Modulation d'amplitude

1. Décrire le spectre de ce signal modulé en amplitude.

La modulation de fréquence du même signal sinusoïdal est représentée sur le graphique de la figure 7. Il correspond à la forme mathématique suivante :

$$u(t) = A \cos 2\pi f (m(t)) t = A \cos 2\pi f (1 + \varepsilon \cos 2\pi f_m t) t$$

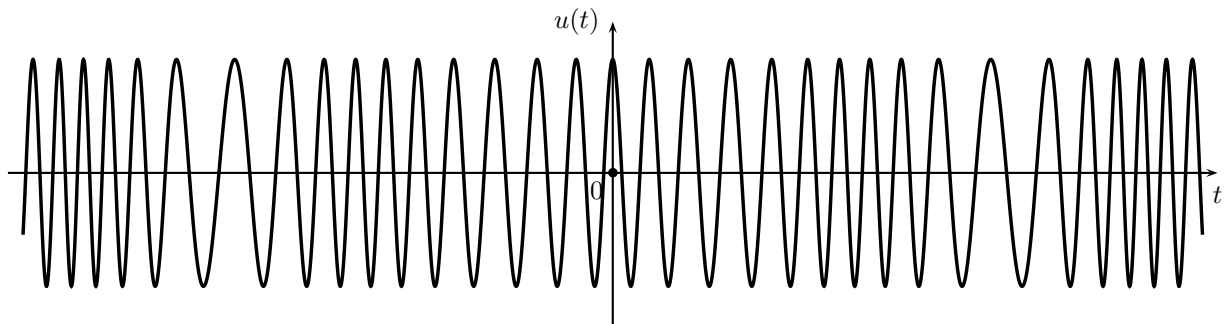


FIGURE 7 – Modulation de fréquence

2. Comment définiriez-vous la fréquence d'un signal modulé en fréquence ?

À la figure 8, on a rassemblé le spectre du signal issu directement de l'antenne détectrice et celui du signal ayant transité par le module d'amplification. Ces deux signaux sont ceux des photographies de la figure 2.

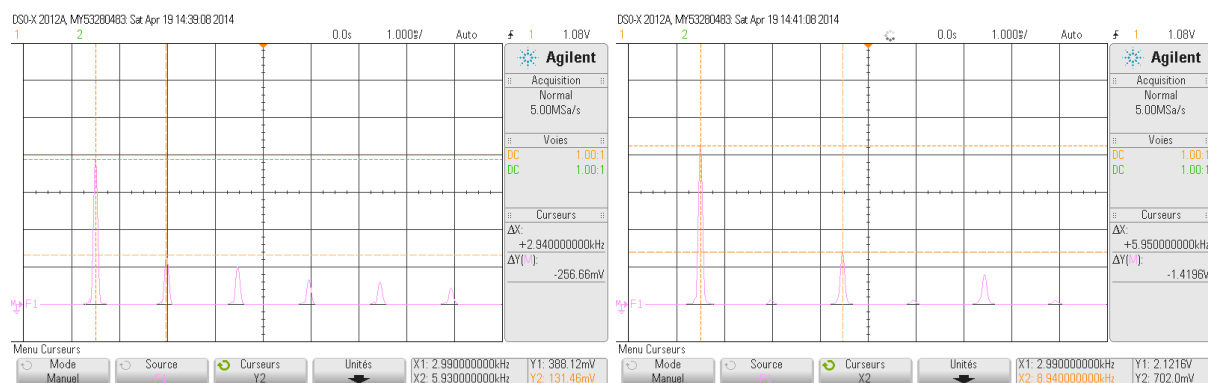


FIGURE 8 – Spectres des signaux observés sur l'oscilloscope

3. Attribuer à chaque signal de la figure 2, le spectre qui lui revient. Expliquer votre raisonnement.

### 3.3 Détecteur de crêtes

Un détecteur de crêtes réalise l'opération que son nom sous-entend. Il permet de récupérer l'enveloppe d'un signal qui évolue plus lentement que le signal lui-même. Il peut être obtenu à l'aide de différents circuits électroniques. Celui de la figure 9 correspond à un montage simple. La diode est un composant non-linéaire dont le fonctionnement peut être, de façon un peu schématique, décrit de la façon suivante : c'est un interrupteur. Il est fermé lorsque le courant qui la traverse est positif (dans le sens du triangle du schéma normalisé), On a  $i_D > 0$  et  $u_D = 0$ . Sinon, la diode correspond à un interrupteur ouvert :  $i_D = 0$  et  $u_D < 0$ .

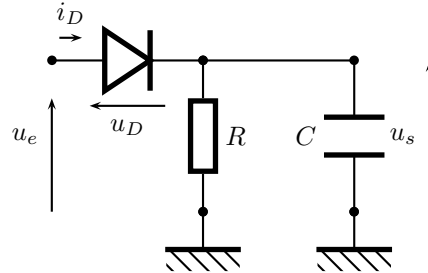


FIGURE 9 – Détecteur de crête

L'action de ce circuit sur l'onde électromagnétique est décomposée sur les graphiques de la figure 10. Pour simplifier, on a choisi la situation de la modulation d'amplitude présentée auparavant.

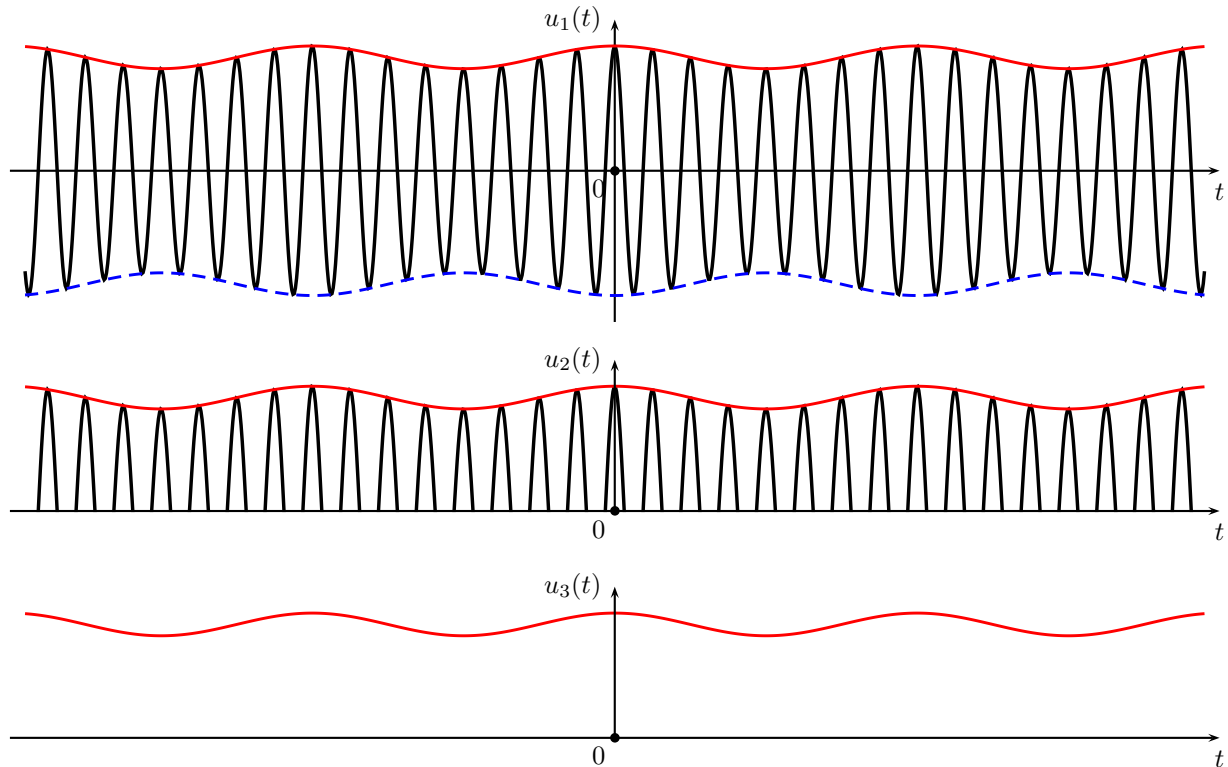


FIGURE 10 – Processus du détecteur de crêtes

4. Justifier les différents graphiques de la figure 10 et expliquer qu'ils ne peuvent être obtenus que si les grandeurs  $\tau = RC$ ,  $f$ ,  $f_m$  vérifient une certaine relation d'ordre.

## 4 Expériences

### 4.1 Consignes

Lors de vos activités expérimentales en TP, vous devrez systématiquement :

- \* Élaborer un protocole et m'appeler pour que je le valide.
- \* Mettre en œuvre ce protocole et m'appeler pour que j'évalue vos activités.
- \* Communiquer les résultats dans le compte rendu sous forme de descriptions, de tableaux de mesures, de graphiques. . .
- \* Valider les résultats en comparant les développements théoriques et les résultats expérimentaux en ayant le souci permanent de présenter de façon rigoureuse les résultats avec leur incertitude.
- \* Remettre en fin de séance votre compte-rendu.

Vous serez évalué sur l'ensemble de ces exigences.

### 4.2 Initiative personnelle

### 4.3 Expériences qualitatives

5. En n'utilisant que l'émetteur et le cornet récepteur (puis l'antenne réceptrice), montrer que l'orientation du récepteur par rapport à l'émetteur est importante comme l'indique le schéma de la figure 4.

6. Après trouvé la meilleure position de l'antenne réceptrice ou du cône récepteur, confirmer l'orientation du champ électrique par utilisation de la grille de polarisation.

### 4.4 Taux de transmission

7. Réaliser une expérience, que l'on décrira avec précision, permettant de définir une valeur numérique d'un taux  $T$  de transmission pour différents matériaux.

### 4.5 Ondes stationnaires

8. Grâce à un dispositif comme celui de la figure 4, mettre en évidence le phénomène d'ondes stationnaires. En profiter pour effectuer une mesure de la longueur d'onde  $\lambda$  des ondes centimétriques utilisées.

### 4.6 Interféromètre de Michelson

9. Construire un interféromètre de MICHELSON en privilégiant comme récepteur le cône plutôt que l'antenne.

10. Déplacer à la main l'un des deux miroirs pour mesurer à nouveau la longueur d'onde  $\lambda$  des ondes centimétriques.

## 4.7 Mesures de la vitesse d'un véhicule...

Un jouet d'enfant est équipé d'un miroir plan... Voir la photographie de la figure 11.



FIGURE 11 – Jouet d'enfant et signal enregistré en mode SINGLE sur l'oscilloscope

**11.** Comme vous l'avez sans doute compris, le miroir mobile se déplace avec le jouet. Mettre en place l'expérience et enregistrer un signal analogue à celui présenté à la figure 11. On pensera à utiliser l'oscilloscope en mode SINGLE avec des conditions d'enregistrements adaptées et surtout une condition sur le trigger (déclenchement) bien située.

**12.** Expliquer le protocole qui vous permet de déterminer la vitesse du jouet et déterminer celle-ci. Comparer cette mesure à une autre dont l'initiative vous est laissée.

## 4.8 Autres phénomènes

**13.** S'il vous reste du temps, vous pouvez chercher à mettre en place l'étude de phénomènes comme la diffraction et les interférences d'YOUNG, voire les lois de DESCARTES de la réflexion et de la réfraction.