

*Spécial dédicace à Mr Silvestre, à mon bizut Thom et aux néo PSI-Star*

**Sujet :** Télémétrie laser par modulation à plusieurs fréquences

- Plan :**
- Introduction
    - Démarche
    - Problématique
    - Le produit
  - Etude théorique
    - La modulation à plusieurs fréquences
    - Etude du système
  - Etude expérimentale
    - Manipulation
    - Exploitation
  - Conclusion
    - Les limites
    - Bilan personnel

## **Introduction**

**Démarche :**

*Matthieu Richard,*

Responsable de projet à *L'institut de Recherche Robert Bosch SA*, à Lonay (Suisse).



**BOSCH**

**Problématique :** Analyser, comprendre et expérimenter un système de télémétrie laser.  
Mettre en place d'un mesure.



**Le produit : étude portée sur le DLE50 le « plus petit télémètre laser du monde »**



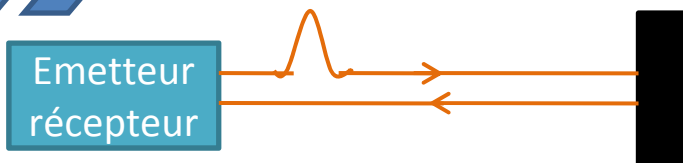
*Caractéristiques* : Sorti en 2006, 180€.  
 Plage de mesure : 0,05 à 50m. Précision : ±1,5 mm.  
 Utilisation: l'artisanat et le bâtiment.



## Etude théorique



**Télémétrie actuelle :**



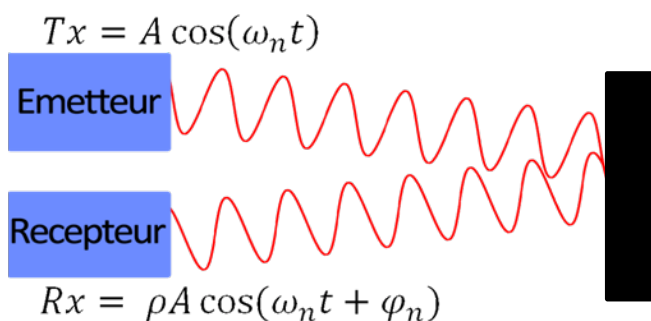
**Méthode  
impulsionnelle**

$$D = \frac{c T}{2}$$

Précision limitée par la fréquence d'échantillonnage :  
 Précision = 1mm  $\Leftrightarrow$  Fech. > 150 GHz

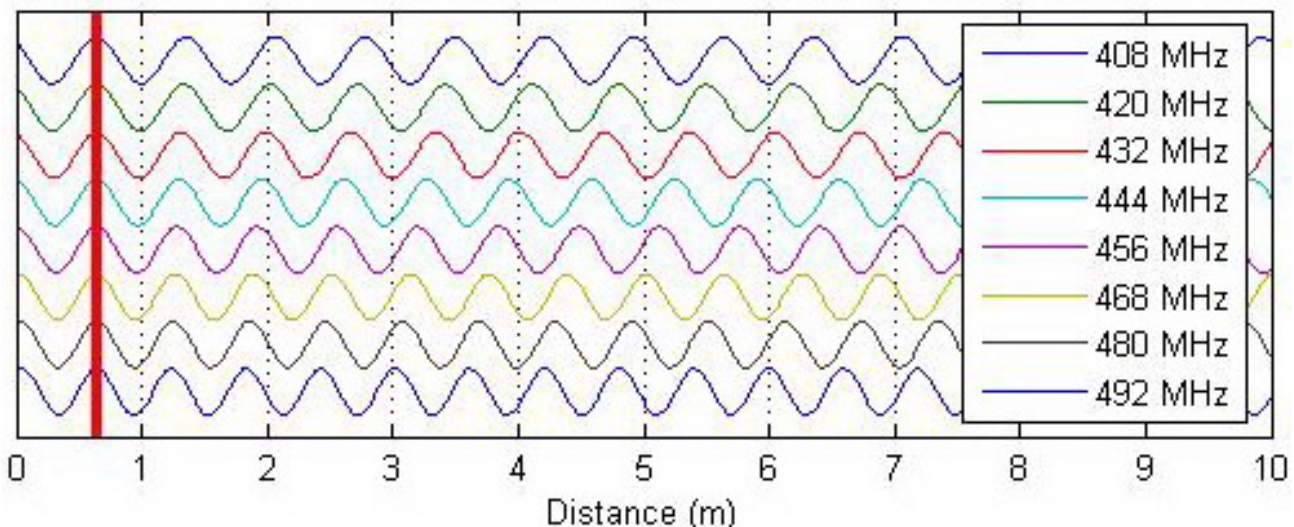


**Télémétrie par modulation à plusieurs fréquences :**



$$\varphi_n = 2\pi \frac{t_{propagation}}{T_{n_{modulation}}}$$

$$\Leftrightarrow \varphi_n = \frac{2L}{c} \omega_n$$



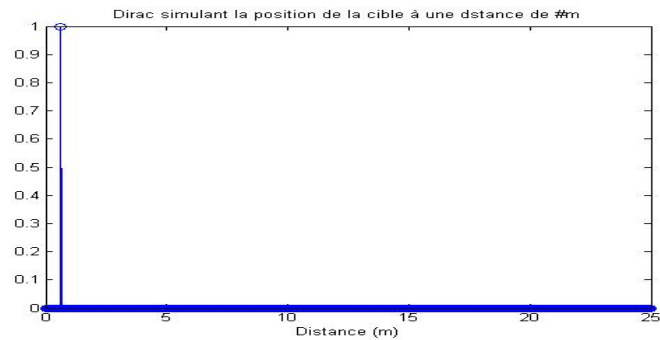
## Etude théorique

### Modélisation du principe - sous Matlab - :

Création d'un dirac spatial

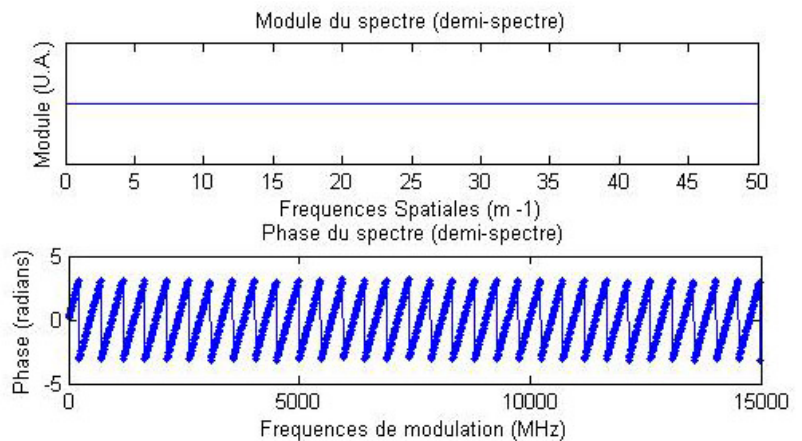
Calcul des coefficients de Fourier

Affichage des Phases



$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(x) \cos\left(n \frac{2\pi}{\lambda} x\right) dx ; b_n = \dots$$

$$\chi_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} ; \varphi_n = \tan^{-1}\left(\frac{b_n}{a_n}\right)$$



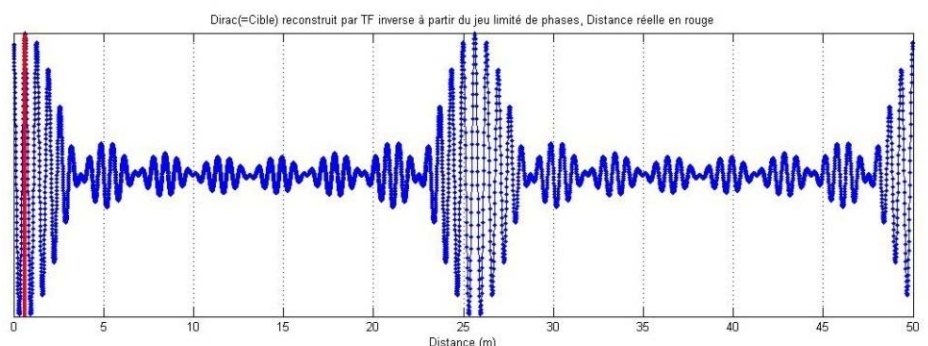
Prise de quelques phases

Reconstruction du signal par Fourier

Affichage du signal de distance

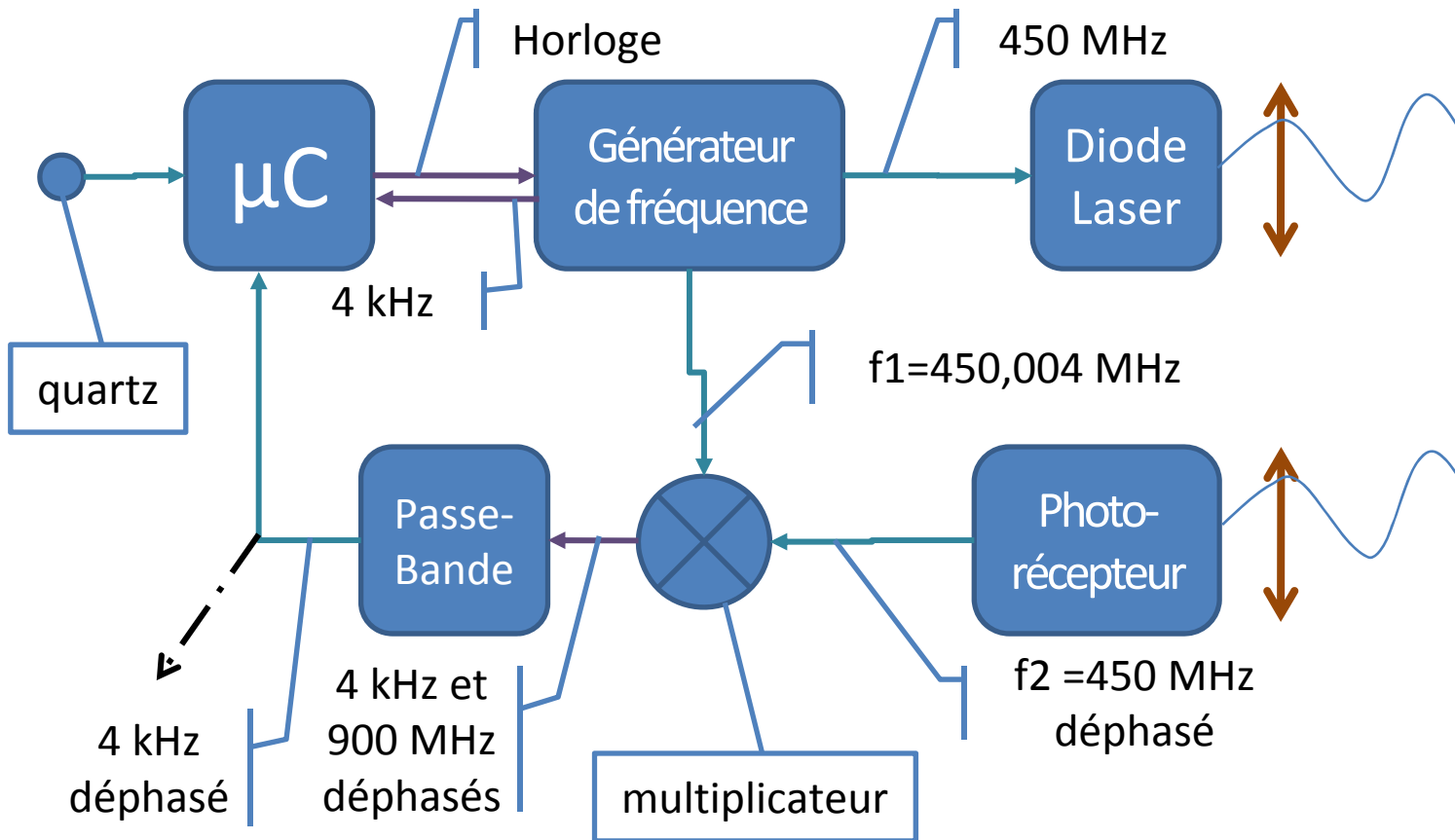
Phases à {408; 420; 432; 444; 456; 468; 480 et 492 MHz}

$$f_{construite} = \sum \chi_n \cos\left(n \frac{2\pi}{\lambda} x + \varphi_n\right)$$



## Etude théorique

### Etude du système :



### Détection hétérodyne :

$$\cos(2\pi f_1 t + \varphi) * \cos(2\pi f_2 t)$$

$$= \frac{1}{2} [\cos(2\pi [f_1 + f_2] t + \varphi) + \cos(2\pi [f_1 - f_2] t + \varphi)]$$

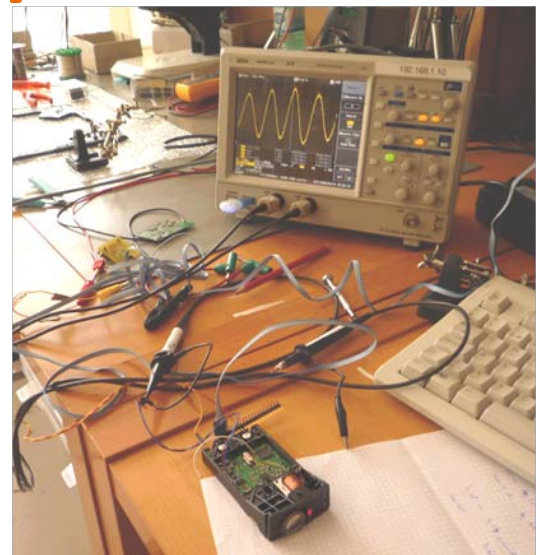
Avantages liés à la fréquence d'échantillonnage.

Désavantages de la détection homodyne.

## Etude expérimentale

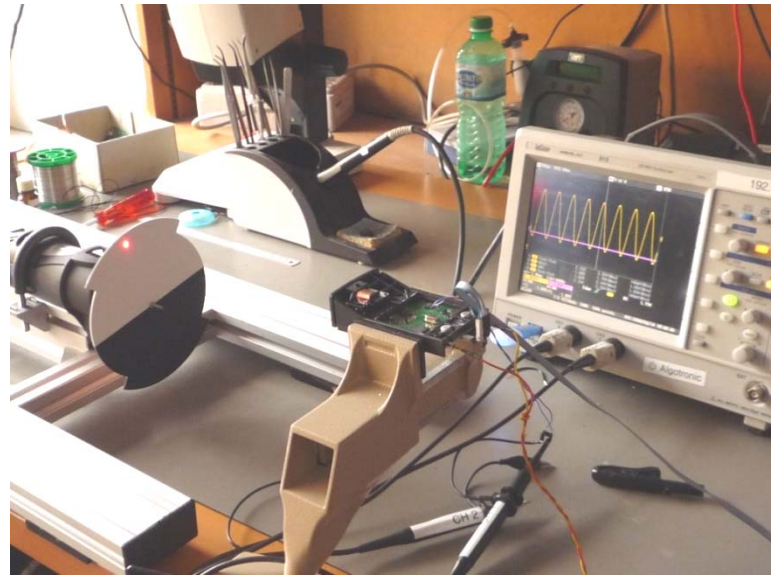
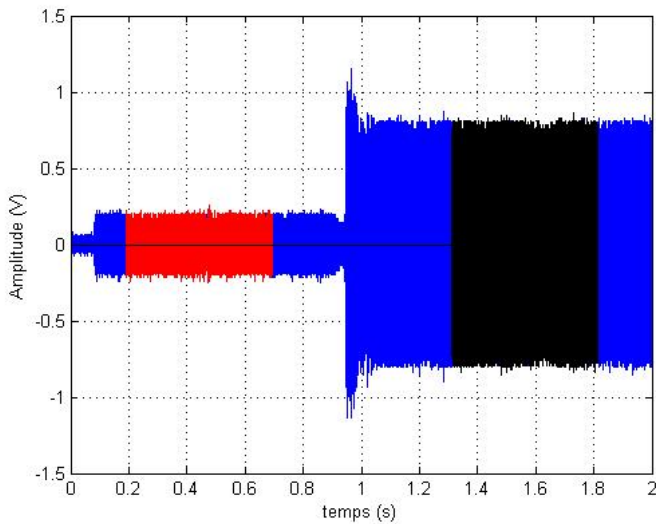
### Manipulation:

|                      |  |
|----------------------|--|
| Fréquences utilisées | {344 MHz; 418,6 MHz; 493,3 MHz; 520 MHz; 546 MHz } |
| Couleurs             | Noir puis blanc                                    |
| Distances            | {3648,9 mm; 4079,6 mm}                             |



## Etude expérimentale

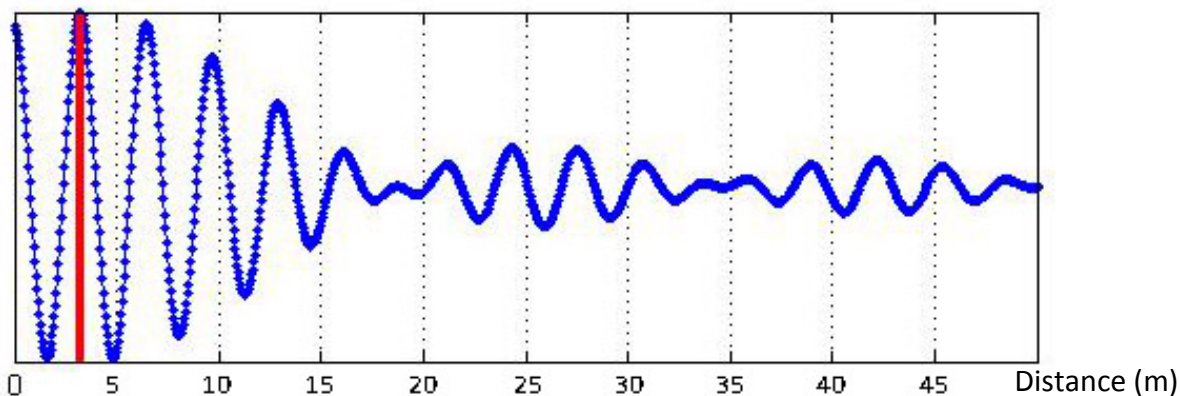
### Manipulation :



### Exploitation :

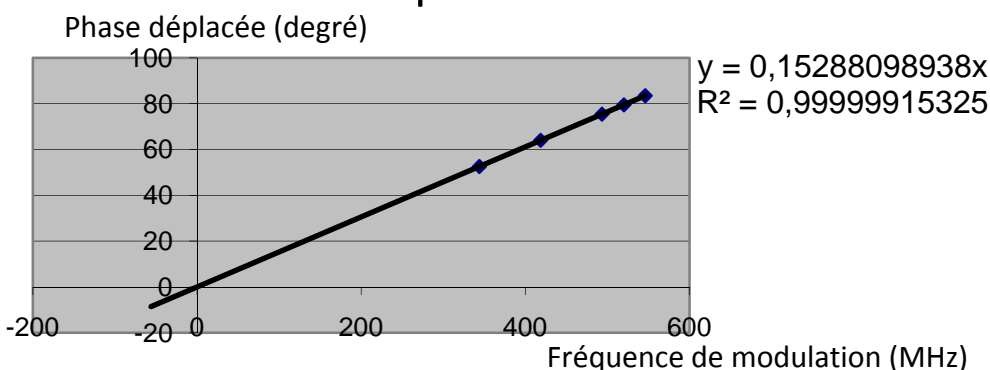
- Extraction des phases « cible » et « référence »
- Reconstruction du signal spatial à partir des phases :

Reconstruction spatiale par TF inverse - Mesure sur blanc



| Couleur | Distance réelle | Distances extraites |
|---------|-----------------|---------------------|
| Noir    | 3648,9 mm       | 3647,9 ± 1,2mm      |
| Blanc   | 3648,9 mm       | 3648,5 ± 0,3mm      |
| Blanc   | 4079,6 mm       | 4079,8 ± 0,3mm      |

- Vérification par la méthode instinctive (noir):



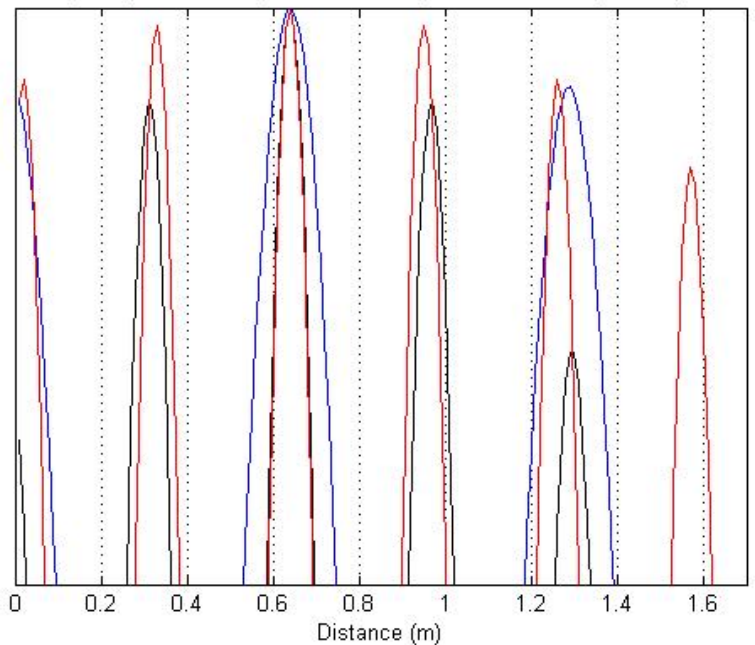
$$\Rightarrow L = 3,6497647 \text{ m}$$

### Limites :

➤ Impact du choix des fréquences :

- $\delta f = \frac{c}{2 * \Delta x}$
- Fréquence de l'enveloppe proportionnelle à  $\frac{1}{\Delta f}$
- Largeur des pics proportionnelle à  $\frac{1}{f_{max}}$

Dirac(=Cible) reconstruit par TF inverse à partir de différents jeux de phases



Règles de design :  $f_{max}$  et  $\Delta f$  grands

➤ Les « drifts » : évolution lente de certains paramètres. Ex: évolution de la fréquence du quartz en fonction de la température –  $f_{quartz} = 20\text{kHz} \pm 20\text{ppm}$

➤ Les « jitters » : incertitude instantanée d'une valeur – fréquence instantanée du générateur (bruits internes) –  $450\text{MHz} \pm \delta f$

### Bilan personnel :

➤ Difficulté de la mise en œuvre pratique de la mesure.

➤ Intérêt d'une application des mathématiques à une utilité concrète et de la manipulation dans un environnement scientifique.

### Bibliographie et contact:

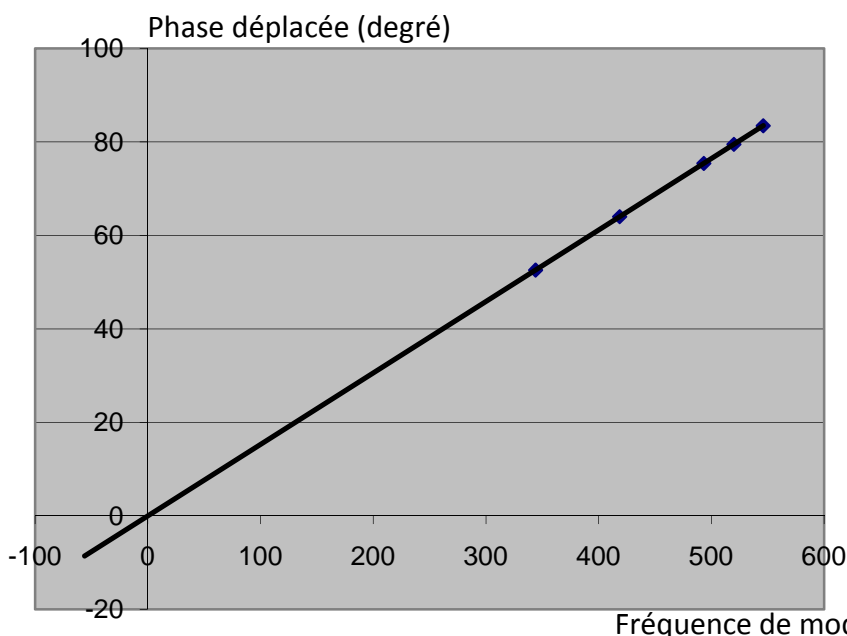
- [www.bosch.fr](http://www.bosch.fr)
- [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)
- Documents internes à Bosch
- Réponses de mon contact, Matthieu Richard
- Encyclopédie Universalis.

### Exemples de mesures :

| Fréquence | Couleur | Distance (mm) | Phase-cible | Phase-ref | Signal/bruit |
|-----------|---------|---------------|-------------|-----------|--------------|
| 344 MHz   | Noir    | 3648,9        | 209,9       | 76,9      | 8            |
| 418,6 MHz |         |               | 147,6       | 79,7      | 12           |
| 493,3 MHz |         |               | 89,5        | 88,6      | 12,8         |
| 520 MHz   |         |               | 329,5       | 94,8      | 6            |
| 546 Mhz   |         |               | 222,5       | 120,3     | 9,7          |
| 344 MHz   | Blanc   | 3648,9        | 220,9       | 76,8      | 24,5         |
| 418,6 MHz |         |               | 147,3       | 79,7      | 44           |
| 493,3 MHz |         |               | 89,7        | 88,6      | 44           |
| 520 MHz   |         |               | 329,6       | 94,6      | 21           |
| 546 Mhz   |         |               | 222,8       | 120,3     | 9,4          |
| 344 MHz   | Blanc   | 4079,6        | 337,7       | 99,3      | 23,9         |
| 418,6 MHz |         |               | 302,6       | 113,5     | 38           |
| 493,3 MHz |         |               | 286,3       | 34,6      | 35,2         |
| 520 MHz   |         |               | 176,7       | 143,5     | 16,4         |
| 546 Mhz   |         |               | 81,7        | 173,2     | 7,7          |

### Détails de la méthode instinctive:

| Fréquence (MHz) | Couleur | Distance réelle (mm) | Delta-phase (degré) | Phase déplacée (degré) |
|-----------------|---------|----------------------|---------------------|------------------------|
| 344             | Noir    | 3648,9               | 133                 | 52,58677036            |
| 418,6           |         | 3648,9               | 67,9                | 64,01693163            |
| 493,3           |         | 3648,9               | 0,9                 | 75,41393165            |
| 520             |         | 3648,9               | 234,7               | 79,49451144            |
| 546             |         | 3648,9               | 102,2               | 83,46513549            |



$$y = 0,15288098938x$$

$$R^2 = 0,99999915325$$

$$\varphi = \frac{2L}{c} * 2\pi f$$

$$\Rightarrow 0,15288098938 = \frac{4\pi L}{c}$$

$$\Rightarrow L = 3,6497647 \text{ m}$$