1. On a : $\Delta\varphi_{r/e} = -\omega\,\tau_{propagation}$

signal reçu ↗ ↑ signal émis

$= -\omega \dfrac{2d}{c/n_a}$ ← distance de propagation ; ← vitesse de propagation

$$\boxed{\Delta\varphi_{r/e} = -\frac{4\pi f n_a d}{c}}$$

2. Il faut se retreindre à un décalage temporel Δt entre les 2 signaux inférieur à T car on sera incapable de distinguer le un décalage égal à Δt de $\Delta t + T$, ou $\Delta t + 2T$, ...

Ainsi il faut $|\Delta\varphi_{r/e}| < 2\pi$

$$\Leftrightarrow \frac{2 f n_a d}{c} < 1$$

$$\Leftrightarrow \boxed{d < d_{max} \quad \text{où} \quad d_{max} = \frac{c}{2 f n_a}}$$

AN : $d_{max} \simeq 5$ km

3. Sur l'écran, on peut lire $\Delta t = 0{,}0040$ ms

$\Delta t = 4{,}0\ \mu s$

D'où $\Delta\varphi_{r/e} = -\omega\,\Delta t$

$$-\frac{4\pi f n_a d}{c} = -2\pi f\,\Delta t$$

$$\boxed{d = \frac{c\,\Delta t}{2 n_a}}$$

Rmq : on retrouve logiquement : $\underbrace{2d}_{\text{distance de propag.}} = \underbrace{\frac{c}{n_a}}_{\text{vitesse de propag.}} \underbrace{\Delta t}_{\text{durée de propag.}}$

AN : $\boxed{d = 6,0 \cdot 10^2 \text{ m}}$

Peu précis car lecture graphique peu précise !

4. On a $u(d) = |d| \sqrt{\underbrace{\left(\frac{u(c)}{c}\right)^2}_{} + \underbrace{\left(\frac{u(n_a)}{n_a}\right)^2}_{} + \left(\frac{u(\Delta t)}{\Delta t}\right)^2}$

supposés négligeables

D'où $u(d) = d \cdot \frac{u(\Delta t)}{\Delta t}$

$$\boxed{u(\Delta t) = \Delta t \frac{u(d)}{d}}$$

AN : $u(\Delta t) = 6,7 \cdot 10^{-10} \text{ s}$
$= 0,67 \text{ ns}$