

Mesure directe de la vitesse de la lumière

par J.-C. PIVOT
Lycée Le Castel - 21000 Dijon

La mesure directe de la vitesse de la lumière (page 8 du référentiel de Seconde) telle qu'elle est proposée dans les manuels, pose de gros problèmes de logistique pour la plupart d'entre nous, et exige en outre assez de maturité de la part de nos jeunes élèves. Vous trouverez ici une méthode sans doute plus accessible à tous.

L'idée est de mesurer le décalage horaire entre deux mêmes signaux électromagnétiques : l'un est transmis par voie hertzienne directe entre l'émetteur et le récepteur tandis que le second a fait l'aller et retour avec un satellite géostationnaire. Il suffit pour cela d'être dans une région où le même programme radiophonique peut être reçu à la fois en grandes ondes (AM), et en modulation de fréquence (FM) - via un satellite.

C'est le cas de Dijon où les émissions de la station périphérique RTL - à 300 km de là environ - peuvent être reçues sur 234 kHz en modulation d'amplitude ou sur 104,2 MHz via le satellite Télécom 2 B (5° ouest).

L'écoute des deux fréquences en même temps montre immédiatement le phénomène.

L'expérience n'avait pas manqué de surprendre mes élèves de 1^{ère} S, d'autant plus qu'auparavant ils avaient écouté France Inter de la même manière mais alors sans décalage, car la FM est transmise par relais hertziens terrestres.

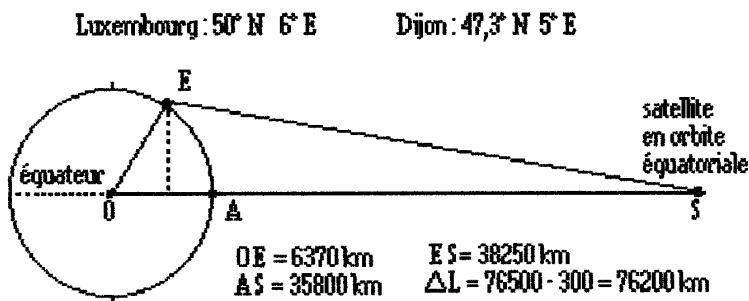
Aucune explication spontanée n'avait pu être donnée à cette curiosité !

DIFFÉRENCE DE MARCHE DES SIGNAUX

Au lycée on peut ne tenir compte que de la latitude moyenne entre l'émetteur et le récepteur (48,5° environ à Dijon), arrondir l'altitude du

satellite à l'équateur à 35 800 km et négliger le calcul (délicat) qui fait intervenir les longitudes respectives. De toute façon, il faudrait aussi connaître l'influence de l'atmosphère au sens le plus large, les deux facteurs augmentant la distance.

A Dijon on trouve : $\Delta L = 76\,200$ km au minimum pour des trajectoires rectilignes.



LA MANIPULATION

On a relié deux pockets-radio aux deux voies de notre interface Candibus par leurs sorties «écouteur». Par tâtonnements raisonnés on joue sur les volumes, les amplifications, et les décalages du logiciel Labo, afin d'obtenir deux tracés bien séparés et d'amplitudes voisines.

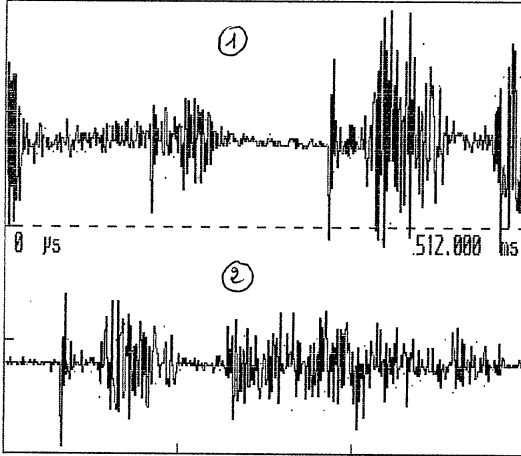
La durée de l'enregistrement a été choisie d'une demi-seconde, soit environ le double du décalage théorique, avec 512 mesures séparées de 1 ms*.

Avec un peu de chance on peut obtenir l'enregistrement suivant (document 1) avec un magnifique signal isolé.

* **Remarque :** Il est préférable de doubler le nombre de mesures et d'augmenter la durée d'observation ; encore faut-il avoir à sa disposition un ordinateur suffisamment «rapide», car il faut en général multiplier les essais.

Acquisition en cours: 0 Mode: Normal

1.000 Fichier ATL 1



Nb mesures	512
Nb acquis.	1
Nb voies	2
Temps	1000 μs

Voie	0
Niveau	

Ampli 1	2.500
Décalage1	0.300
Ampli 2	2.500
Décalage2	-0.600

-1.000

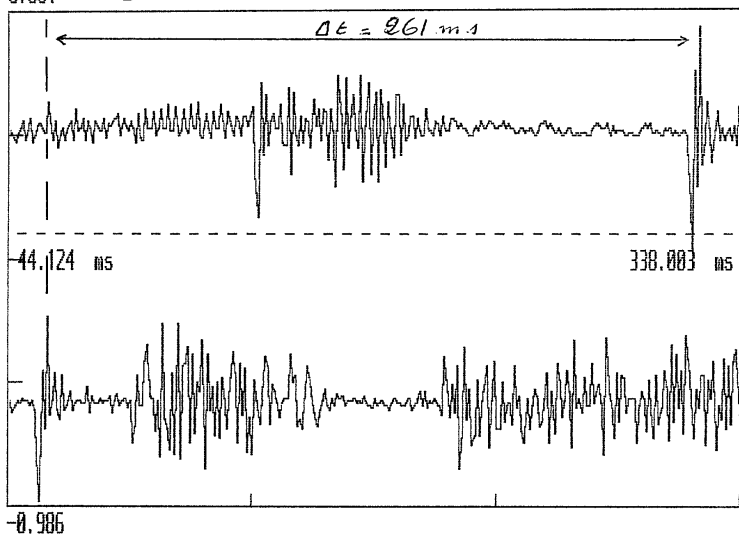
Echelle manuelle → modulation de fréquence via Télécom 2
 Courbes tracées : 1, 2 → modulation d'amplitude GO

(1) C1/MER 19/ 5/1993 9:26:51 Ciel couvert
 MIN -0.112 MOY 0.381 MAX 0.950

Document 1 : Cette copie d'écran visualise une demie seconde de réception de la station RTL en modulation de fréquence dans la partie supérieur (1), et en modulation d'amplitude dans la partie inférieure (2). Il faut reconnaître dans la fin du diagramme (1) le début du diagramme (2), le signal AM étant arrivé plus tôt.

Acquisition en cours: 0 Mode: Normal

0.001 RTL 1



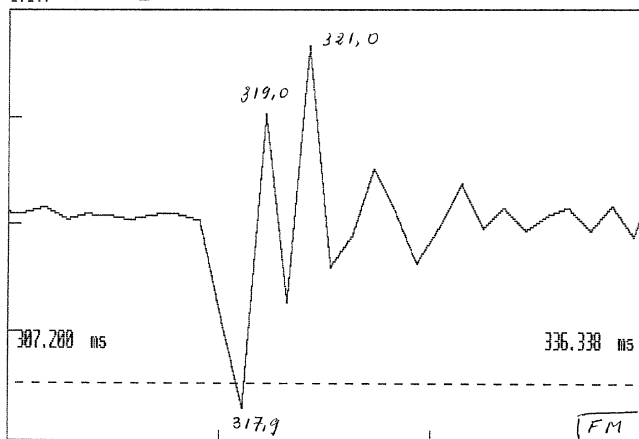
Loupe

Courbes tracées : 1, 2

Document 2 : A l'aide de la loupe du logiciel, on a extrait de l'enregistrement précédent la partie qui sert à la mesure du décalage horaire par l'intermédiaire du pointeur.

Acquisition en cours: 0 Mode: Normal

0.817 RTL 1



-0.125

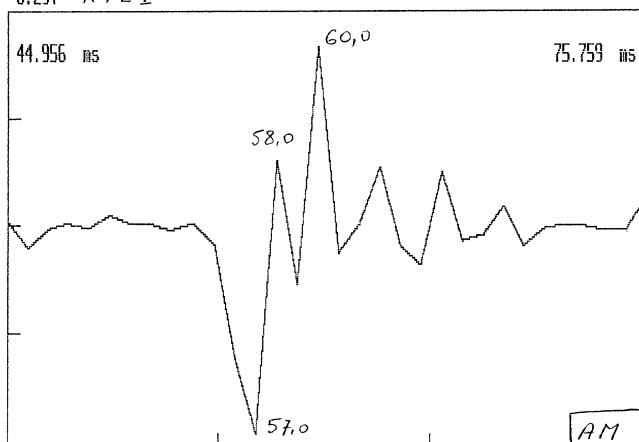
Loupe

Courbes tracées : 1, 2

(1) C1/MER 19/ 5/1993 9:26:51

MIN -0.112 MOY 0.381 MAX 0.950

-0.231 RTL 1



-0.990

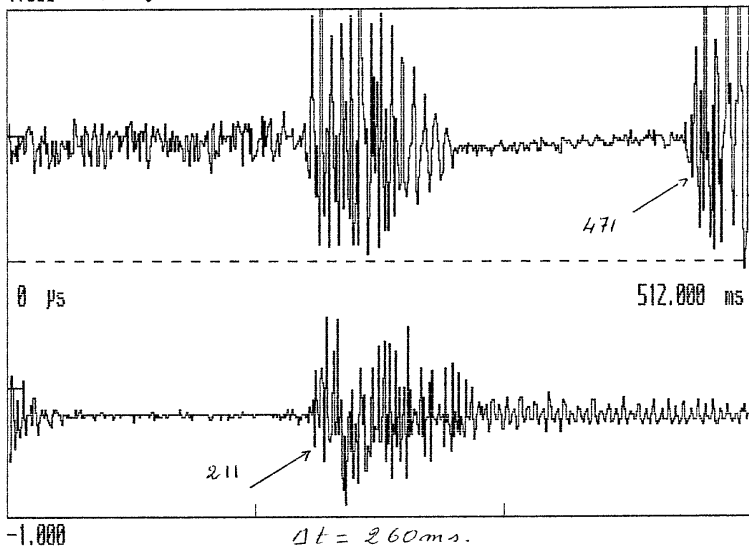
Loupe

Courbes tracées : 1, 2

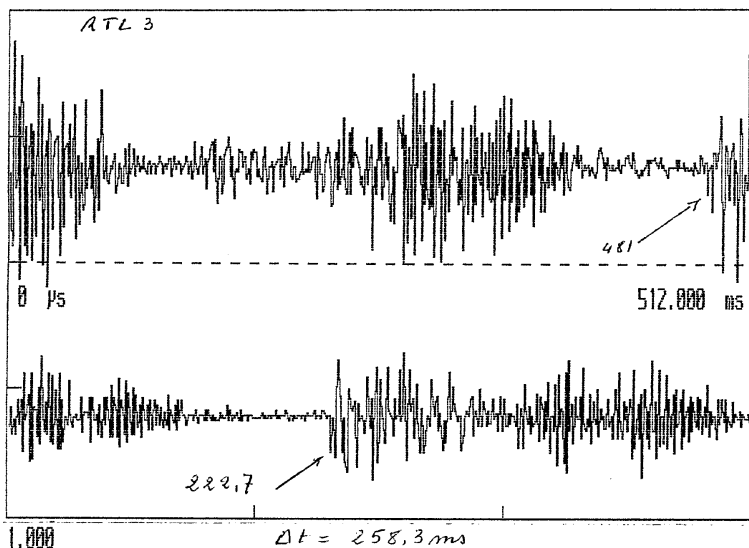
Documents 3 et 4 : Un plus fort grossissement du micro-signal précédent entendu en FM (doc 3) et en AM (doc 4) montre qu'avec un peu de chance on peut leur trouver une forme voisine.

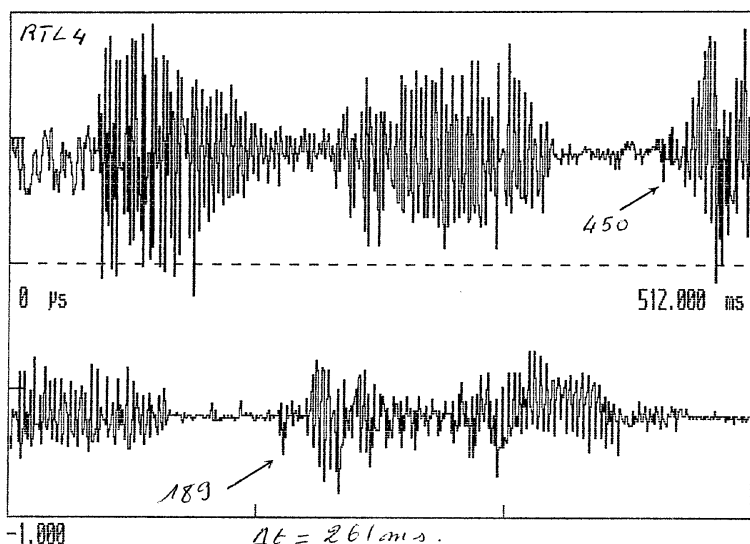
Le pointeur donne à partir des agrandissements à la loupe : $\Delta t = 321 - 60 = 261$ ms, soit avec l'approximation sur la différence de marche pour des trajectoires rectilignes : $c = 293000$ km/s.

1.000 ATL 2



ATL 3





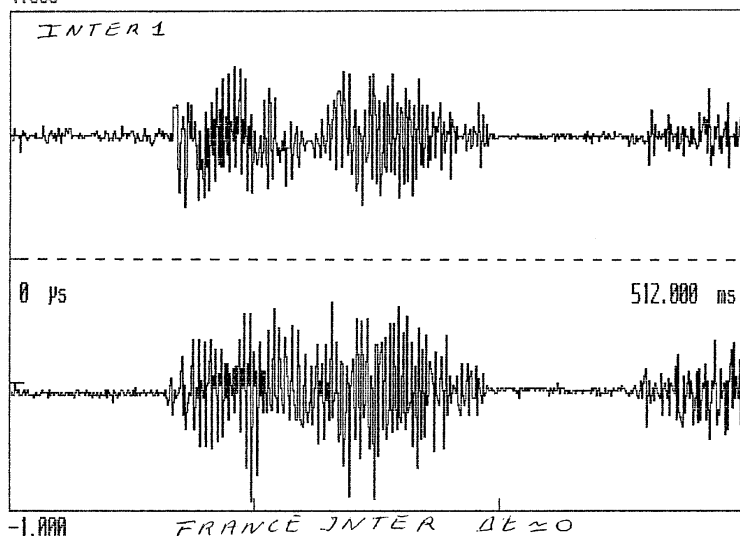
Documents 5, 6 et 7 : Trois enregistrements obtenus dans les mêmes conditions que le précédent pendant une conversation.

Actuellement sur une quinzaine de mesures la fourchette est de 293 000 à 296 000 km/s c'est-à-dire systématiquement inférieure à la valeur espérée de 1,5 à 2,5 % (ce qui est somme toute plus agréable que l'inverse !). On a supposé évidemment l'horloge de l'ordinateur parfaitement fiable et les durées des conversions de fréquence négligeables.

CONSEILS

Compte tenu des parasites inhérents aux modes de transmission, à ceux du lieu de la mesure (l'ordinateur est généreux de ce point de vue), et du nombre limité de mesures par enregistrement, il n'est pas possible de reconnaître deux mêmes signaux ; aussi faut-il être assez patient pour tomber sur un micro-silence bien placé dans la demi-seconde d'observation. En conséquence, un troisième récepteur AM sera utile pour éviter la musique et pour exercer ses réflexes pendant une conversation entre des personnes... polies !

Acquisition en cours: 0 Mode: Normal
1.000



Echelle manuelle

Courbes tracées : 5, 6

(1) C1/JEU 13/ 5/1993 14: 5:24
MIN -1.987 MOY -0.685 MAX 0.375

Document 8 : A titre de comparaison, un enregistrement de France Inter montre la simultanéité des deux réceptions.

Il est conseillé de conserver en mémoire un enregistrement exploitable et éventuellement son tirage sur papier au cas où pendant la manipulation le «bel» événement tardait à venir.

La possibilité de mesurer aussi facilement une vitesse si inaccessible ne doit pas manquer d'intéresser un élève de Seconde.

Attention : les sorties des deux pockets de marques différentes peuvent être en opposition de phase d'où l'éventualité d'obtenir une inversion des pics.