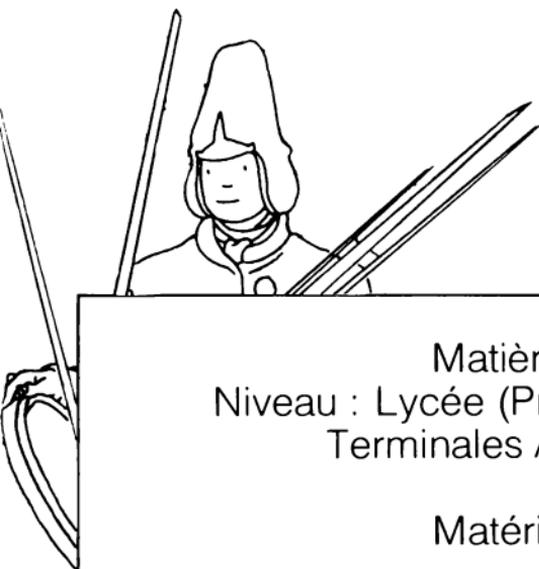


PHYSIQUE & CHIMIE

PROPAG

Propagation d'une onde



Matière : Sciences physiques
Niveau : Lycée (Première S, Terminale C,
Terminales A et B, option Sciences
Physiques)
Matériel : MO5, TO7, TO7/70
(support : cassette),
Nanoréseau (support : disquette)
Auteur : Hervé Maza
Objectif : Ce logiciel permet de visualiser le
phénomène de "propagation d'un signal"
sans perte de l'aspect dynamique.

MISE EN SERVICE

CASSETTE (MO5, TO7/70, T07)

1) Vérifier que tous les éléments nécessaires au fonctionnement de PROPAG sont présents, alimentés et reliés :

- le moniteur
- l'unité centrale : MO5, TO7/70, T07 avec son extension mémoire
- une cartouche MEMO 7 BASIC si vous possédez un TO7/70 ou un T07
- un lecteur enregistreur de cassettes magnétiques

2) Mettre en marche d'abord le moniteur, puis l'unité centrale.

3) Placer la cassette contenant le programme PROPAG dans le lecteur. Vérifier qu'elle est bien rembobinée.

4) Mettre le lecteur en position de lecture et lancer le chargement du programme en :

- sélectionnant l'option 2 du menu du micro-ordinateur (TO7/70 ou T07) ;
- tapant RUN'' CASS: suivi de la touche **ENTREE** (MO5).

5) Le lecteur démarre et la page de présentation s'affiche après quelques instants.

6) Appuyer sur une touche quelconque du clavier ; le lecteur de cassette se met à nouveau en marche et, au bout de quelques minutes, le premier écran du programme apparaît.

CHARGEMENT SUR TÊTE DE RÉSEAU BRANCHÉE À DES MO5

Suivre les instructions liées à l'utilisation du Nanoréseau. Le programme se chargera rapidement.

PRÉSENTATION GÉNÉRALE

Le paragraphe du programme de Physique de 1^{re} S intitulé "PROPAGATION D'UN SIGNAL ; ONDE PROGRESSIVE" pose des problèmes pédagogiques bien connus des enseignants. Dans le cas de la propagation d'un ébranlement le long d'une corde élastique par exemple, la relation entre le mouvement des points de la corde et l'aspect de celle-ci à un instant donné est difficile à percevoir directement à partir de l'expérience. La multiplication des schémas ou des photographies représentant la corde à différents instants ne résoud pas le problème car alors les élèves ne "voient" plus le signal se propager. Les films utilisant le ralenti constituent une amélioration, mais leur emploi manque de souplesse.

C'est pour contourner ces difficultés que nous avons écrit et expérimenté deux années de suite en 1^{re} S et TC un logiciel simulant la propagation d'un ébranlement le long d'une corde élastique. Venant en complément des expériences de cours (corde élastique, échelle de perroquet...), il permet une modélisation du phénomène sans perte de l'aspect dynamique. On peut ainsi :

- Choisir des signaux de différentes formes,
- Procéder à volonté à des arrêts sur image,
- Mettre en évidence le mouvement d'un point de la corde et en particulier le fait que ce mouvement reproduit celui des points précédents,
- Représenter simultanément le mouvement de deux points et le graphe de leur équation horaire, l'écoulement du temps étant matérialisé sur ce graphe.

Ce logiciel présente de nombreuses autres possibilités qui en font un outil précieux dans la suite du cours de 1^{re} S, puis en TC :

- Réflexion d'un ébranlement,
- Propagation d'une onde sinusoïdale, d'amplitude et de fréquence définies par l'utilisateur,
- Propagation simultanée de deux ébranlements allant à la rencontre l'un de l'autre.
- Propagation simultanée, dans le même sens, de deux ondes sinusoïdales,
- Propagation simultanée, en sens inverse, de deux ondes sinusoïdales : formation de l'onde stationnaire.

La notice guide l'utilisateur pas à pas au cours d'une étude progressive du phénomène de propagation, chaque étape détaillant les possibilités du logiciel. Les professeurs ou les élèves ayant déjà utilisé le programme pourront se contenter du résumé des commandes.

RÉSUMÉ DES COMMANDES

MENU DISPONIBLE EN DEHORS DE L'ANIMATION

DONNÉES AFFICHÉES :

- État de chaque signal :

ACTIF signifie que la propagation du signal sera représentée.

SENS + signifie que le signal se propage de gauche à droite (non modifiable pour le signal 1)

INV signifie que les élongations du signal 2 sont inversées par rapport au signal 1.

- Tracé, en rouge, du graphe de $u(t,0)$ représentant les élongations du point d'abscisse 0 (gauche de l'écran) en fonction de t , lorsque le signal 1 est seul à se propager.

COMMANDES DISPONIBLES :

1 Active ou désactive le signal 1.

2 Active ou désactive le signal 2.

A Lance l'animation : seuls sont représentés les signaux ACTIFS.

B Réflexion sur l'extrémité droite, supposée libre, de la corde. Lance aussitôt l'animation.

C Idem **B** . mais avec extrémité fixe.

D Permet d'isoler 2 points de la corde et de représenter leur mouvement tout en traçant le graphe de $u = f(t,x)$ relatif à chacun des 2 points. (Ne concerne que le signal 1).

E Inverse les élongations du signal 2.

F Inverse le sens de propagation du signal 2.

G Redéfinit les signaux. Le programme offre le choix entre 4 signaux différents. Les 3 premiers (1 - 3) sont non sinusoïdaux ; le dernier (4) est sinusoïdal : pour celui-ci, l'utilisateur peut choisir la période et l'amplitude.

CNT - **T** Provoque la sortie du programme.

MENU DISPONIBLE PENDANT L'ANIMATION

Enfoncer une touche quelconque provoque un arrêt sur image. L'animation reprend aussitôt la touche relâchée et sans modification *sauf pour les touches suivantes* :

- A** Arrêt de l'animation. Retour au menu précédent.
- M** Masque 7 points sur 8. Permet de visualiser le mouvement de quelques points de la corde.
- N** Retour au mode normal. Annule la commande précédente.
- 1** Active/désactive le signal 1.
- 2** Active/désactive le signal 2.
- S** Supprime l'effacement et permet donc la superposition des différents aspects de la corde au cours du temps.

Remarque :

Quand un signal est désactivé, il n'est plus pris en compte. Quand il est activé, il reprend sa progression dans l'état où il était au moment de la désactivation.

Ceci permet par exemple :

- De composer deux signaux de même sens de propagation mais présentant divers déphasages.
- De faire apparaître une onde stationnaire comme la composition de 2 ondes identiques se propageant en sens inverse.

Par contre l'utilisation de cette commande pendant la simulation d'une réflexion peut provoquer des effets indésirables car elle introduit un déphasage aléatoire entre l'onde incidente et l'onde réfléchie.

PROGRAMME

BRÈVE DESCRIPTION

“PROPAG” permet de simuler la propagation d'un ou deux signaux transversaux le long d'une corde de 320 points, en utilisant le principe de l'animation. Le signal 1 se propage de gauche à droite de l'écran (sens +).

Le signal 2 est identique à 1, mais peut se propager dans les deux sens. De plus, on peut inverser ses élongations.

Lorsque les deux signaux se propagent simultanément, ils interfèrent suivant la règle d'addition des élongations. Il est possible aussi de simuler la réflexion des signaux sur une extrémité de la corde.

Ce programme a été utilisé en cours et TP avec des élèves de 1^{re} et Terminale.

La progression proposée ici a surtout pour but de familiariser l'utilisateur avec les commandes du logiciel. Un résumé de ces commandes est présenté à part.

LE MENU PRINCIPAL

Une fois le programme complètement chargé, l'écran se présente ainsi .

SIGNAL 1 ACTIF

SIGNAL 2 INACTIF SENS –

Un graphe tracé en rouge avec pour légende $u = f(t, O)$

1 Active/désactive le signal 1

2 Active/désactive le signal 2

A Propagation

B Réflexion extrémité libre

C Réflexion extrémité fixe

D Mouvement de 2 points isolés

- E** Inversion sens signal 2
- F** Inversion élongation signal 2
- G** Modification du signal

CNT - **T** Terminer

- Les 2 premières lignes indiquent l'état de chaque signal. INACTIF signifie que la propagation du signal ne sera pas représentée. SENS – indique une propagation de droite à gauche. (Le signal 1 se propage toujours de gauche à droite et son sens n'est pas modifiable).
 - Le graphe représente, en fonction du temps, les variations de l'élongation du point d'abscisse O de la corde (extrémité gauche) lorsque celle-ci est parcourue par le signal 1 seulement.
 - Les lignes suivantes sont les options du menu principal. Elles sont réparties en 4 groupes :
 - 1 2** Changement de l'état des signaux.
 - A D** Lancement de l'animation, dans différentes conditions.
 - E G** Modification des caractéristiques des signaux.
 - CNT** - **T** Sortie de programme.
- Leurs fonctions seront étudiées au fur et à mesure de la présentation.

SIGNAL NON SINUSOÏDAL

PROPAGATION DU SIGNAL

Pour voir le signal se propager le long de la corde :

a) Vérifier que le signal 1 est actif (sinon appuyer sur la touche **1**)

b) Vérifier que le signal 2 est inactif (sinon appuyer sur la touche **2**)

c) Appuyer sur la touche **A** (*Propagation*).

L'écran s'efface. On observe la propagation du signal dans la moitié supérieure de l'écran.

Appuyer sur la barre d'espace : la propagation

est interrompue tant que la touche reste enfoncée. Elle reprend dès que la touche est relâchée : on peut réaliser autant d'arrêts sur image que l'on veut.

Dans la moitié inférieure de l'écran, apparaît un autre menu :

- A** Arrêt, retour menu principal.
- M** Masque.
- N** Normal, suppression masque.
- 1** Active/désactive signal 1.
- 2** Active/désactive signal 2.
- S** Superposition des images.

Certaines de ces options vont être présentées maintenant.

Masquage d'une partie des points :

Appuyer sur la touche **M** (*Masque*). A présent seuls les points d'abscisse 0, 8, 16 etc. sont représentés. Ceci permet de mieux observer le mouvement de chaque point de la corde :

chaque point se déplace verticalement ;

chaque point reproduit le mouvement du point précédent ;

dans l'exemple de signal traité, la durée de descente de chaque point est le double de la durée de montée, d'où la forme de la corde.

Superposition des images :

Appuyer sur **S** (*Superposition des images*) : l'effacement des anciennes images est supprimé. On trace ainsi la trajectoire de chaque point représenté. On peut vérifier que chaque point décrit un segment de droite. Ceci est surtout visible si on utilise cette option avec l'option **M** (*Masque*) précédente.

Appuyer une seconde fois sur **S** : l'effacement est rétabli.

Pour supprimer le masque :

Appuyer sur **N** (*Normal*)

Pour retourner au menu principal :

Appuyer sur **A** (*Arrêt, retour menu principal*)

ÉTUDE DE DEUX POINTS DE LA CORDE

Cette option ne concerne que le signal 1.

Il est possible, pour deux points de la corde, de mettre en évidence la relation entre le mouvement d'un point et le graphe représentant les élongations de ce point en fonction du temps.

A partir du menu principal, appuyer sur **D** (*Mouvement de deux points isolés*).

Un menu secondaire "ÉTUDE DE POINTS PARTICULIERS" apparaît :

Abscisse du point 1 : 100

Abscisse du point 2 : 200

L Lancer l'exécution

C Changer les abscisses

A Annuler (retour au menu principal)

A partir de ce menu, appuyer sur **L** (*Lancer l'exécution*).

Dans la partie inférieure de l'écran, sont dessinés les graphes représentant les élongations des deux points choisis, en fonction de t : $u = f(t, 100)$ et $u = f(t, 200)$. Le programme trace une ligne bleue représentant les variations de t . Dans la partie supérieure de l'écran, le programme représente les positions des deux points en fonction de t .

Il est possible d'effectuer un arrêt sur image en maintenant la barre d'espacement enfoncée.

Noter que un pixel représente une unité de temps et que pour $t > 319$, il n'est plus possible de suivre les variations de t (la ligne bleue barre tout l'écran) :

cependant, le programme n'est pas interrompu.

Pour interrompre le programme et retourner au menu principal, appuyer sur **A**.

Pour choisir 2 autres points

A partir du menu principal, appuyer sur **D** (*Mouvement de deux points isolés*).

A partir du menu secondaire ÉTUDE DE POINTS PARTICULIERS, appuyer sur **C** (*Changer les abscisses*).

Le programme rappelle les valeurs anciennes et demande les nouvelles.

Le point situé à l'extrémité gauche de la corde a pour abscisse 0. Le point situé à l'extrémité droite a pour abscisse 319.

Pour passer d'une ligne à une autre, utiliser les touches flèches verticales.

Pour valider les nouvelles valeurs, appuyer sur la touche d'entrée.

Attention : les valeurs non comprises entre 0 et 319 sont refusées, et il est impossible de quitter une ligne tant qu'une valeur correcte n'a pas été fournie.

Une fois les nouvelles valeurs entrées, on revient au menu secondaire ÉTUDE DE POINTS PARTICULIERS, et on peut alors procéder comme au paragraphe précédent.

SUPERPOSITION DE DEUX SIGNAUX

Il est possible d'étudier la superposition de deux signaux se propageant en sens inverse.

Les deux signaux sont identiques, mais les élongations du signal 2 peuvent être inversées par rapport à celles du signal 1.

a) Vérifier que les deux signaux sont actifs ; le cas échéant, utiliser les touches **1** et **2** : chacune de ces touches active et désactive alternativement le signal concerné.

b) Vérifier que le signal 2 se propage de droite à gauche (SENS –) ; le cas échéant, utiliser la touche **E** (*Inversion sens signal 2*).

c) Si la mention INV apparaît dans les informations concernant le signal 2, les élongations de ce dernier sont inversées par rapport à 1. Pour passer d'un état à l'autre, utiliser la touche **F** (*Inversion élongation signal 2*).

d) Appuyer sur **A** (*Propagation*) et observer...

Noter qu'il est possible, pendant l'animation, de désactiver ou d'activer chacun des deux signaux, comme à partir du menu principal.

Pour retourner au menu principal, appuyer sur **A**.

RÉFLEXION A L'EXTRÉMITÉ DROITE DE LA CORDE : EXTRÉMITÉ LIBRE

A partir du menu principal, appuyer sur **B** (*Réflexion extrémité libre*).

Le signal se réfléchit sur l'extrémité droite de la corde, cette extrémité étant supposée libre (réflexion sans inversion). Il n'y a pas de réflexion sur l'extrémité gauche.

Les options déjà vues pour la propagation simple (masque, superposition des images) restent disponibles.

Il est déconseillé, ici, de désactiver et de réactiver un des deux signaux (la raison en est donnée dans le résumé des commandes).

RÉFLEXION A L'EXTRÉMITÉ DROITE DE LA CORDE : EXTRÉMITÉ FIXE

A partir du menu principal, appuyer sur **C** (*Réflexion extrémité fixe*).

Le signal se réfléchit sur l'extrémité droite de la corde, cette extrémité étant supposée fixe (réflexion avec inversion). Il n'y a pas de réflexion sur l'extrémité gauche.

Mêmes remarques que pour l'option **B** (*Réflexion extrémité libre*).

CHANGEMENT DES CARACTÉRISTIQUES

A partir du menu principal, appuyer sur **G** (*Modification du signal 1*).

Le programme rappelle les caractéristiques du signal courant, et propose les options suivantes :

- 1** Signal triangulaire
- 2** Signal trapézoïdal
- 3** Forme plus complexe
- 4** Signal sinusoïdal
- Q** Quitter (retour menu principal)

L'option **1** (*Signal triangulaire*) est choisie par défaut lors du lancement du programme.

Pour choisir les options **1** à **3**, appuyer simplement sur la touche correspondante.

Remarque : les trois premiers signaux sont en fait périodiques, de période 254 (valeur maximum acceptée par le programme), non redéfinissable.

L'option **4** (*Signal sinusoïdal*) sera vue plus loin.

Appuyer sur **Q** pour revenir au menu principal.

SIGNAL SINUSOÏDAL

DÉFINIR UN SIGNAL SINUSOÏDAL

A partir du menu principal, appuyer sur **G** (*Modification du signal*).

On obtient alors un nouveau menu. A partir de ce menu, appuyer sur **4** (*Signal sinusoïdal*).

Le programme demande l'amplitude (entre 0 et 20) et la période (1 à 254) du nouveau signal.

Il est possible d'entrer ces deux données indépendamment les unes des autres. Pour passer d'une ligne à l'autre, utiliser les touches flèches verticales. Pour valider une donnée, appuyer sur la touche **ENTREE**.

Attention : les valeurs hors limites sont refusées, et il est impossible de quitter une ligne tant qu'une valeur correcte n'a pas été fournie.

Valeurs conseillées pour une première étude : amplitude 20 ; période 100.

Une fois les données validées, le message "*calculs en cours*" apparaît sur l'écran. La durée des calculs est à peu près proportionnelle à la période choisie : pour une période de 254 unités (le maximum), les calculs prennent une vingtaine de secondes.

Les calculs terminés, on se retrouve dans le menu de modification du signal. Si l'on ne désire pas d'autres modifications, on retrouve le menu principal avec la touche **Q** (*Quitter - retour menu principal*).

PROPAGATION D'UN SIGNAL SINUSOÏDAL

Toutes les options vues dans la première partie (SIGNAL NON SINUSOÏDAL) restent bien entendu disponibles. L'option **D** (*Mouvement de deux points isolés*) est particulièrement utile pour mettre en évidence le déphasage de deux points données de la corde.

COMPOSITION DE 2 SIGNAUX SINUSOÏDAUX DE MÊME SENS

Le programme permet de composer 2 signaux d'amplitude et de période identiques (mais éventuellement déphasés), de même sens de propagation.

Dans le menu principal :

- a) Vérifier que les 2 signaux sont actifs (utiliser éventuellement les touches **1** et **2**).
- b) Vérifier que le signal 2 se propage de gauche à droite (SENS +), en utilisant pour cela la touche **E** (*Inversion sens signal 2*).
- c) Vérifier que le signal 2 n'est pas inversé : la mention INV ne doit pas apparaître, sinon utiliser la touche **F** (*Inversion elongations signal 2*).
- d) Appuyer sur **A** (*Propagation*).

On voit se propager un signal d'amplitude double de celle définie pour chaque signal. En effet, avant le lancement de l'animation, le programme a défini les paramètres de telle sorte que les 2 signaux soient en phase. Il est possible maintenant de les déphaser :

- Appuyer sur la touche **2** : le signal 2 se trouve désactivé. Seul le signal 1 est représenté (amplitude deux fois plus faible).
- Appuyer à nouveau sur la touche **2** : le signal 2 est réactivé, mais il reprend sa progression **dans l'état où il était au moment de la désactivation**. Maintenant, les deux signaux ne sont plus en phase (sauf coïncidence rare...).

Il est possible d'opérer de façon un peu moins aléatoire. Par exemple, pour composer deux signaux en opposition de phase :

- a) Appuyer sur **2** pour désactiver le signal 2 : le signal 1 se propage seul.
- b) Désactiver le signal 1 (**1**), au moment où le point d'abscisse 0 est à son élongation maximale : les deux signaux sont maintenant désactivés.
- c) Activer le signal 2 (**2**) : le signal 2 se propage maintenant seul.
- d) Désactiver le signal 2 (**2**), au moment où le point d'abscisse 0 est à son élongation minimale.
- e) Maintenant, si l'on réactive simultanément les 2 signaux, ils réapparaîtront presque en opposition de phase : l'amplitude du signal résultant est très faible. (L'obtention d'interférences totalement destructives demande de bons réflexes !)

ONDE STATIONNAIRE

On peut obtenir une onde stationnaire par superposition de 2 ondes se propageant en sens inverse. Pour cela, à partir du menu principal :

- a) Vérifier que les 2 signaux sont actifs
- b) Vérifier que le signal 2 porte la mention SENS –
- c) Appuyer sur **A** (*Propagation*) et observer...

Le résultat étonne beaucoup les élèves. Une fois l'onde stationnaire installée sur toute la partie visible de la corde, on peut activer et désactiver séparément chacun des signaux, pour bien mettre en évidence les composantes de l'onde.

- Si l'on a déjà observé une onde stationnaire en cours et en TP (expérience de Melde par exemple), on peut expliquer l'aspect en fuseaux de la corde. Pour cela appuyer sur **S** (*Superposition des images*) ; les fuseaux sont dûs à la superposition des différents aspects de la corde au cours du temps. Appuyer à nouveau sur **S** pour annuler l'effet de superposition.

- Pour mettre en évidence le mouvement des points de la corde, utiliser l'option **M** (*Masque*) : on voit facilement que tous les points sont en phase ou en opposition de phase, et qu'ils sont animés de mouvement d'amplitudes différentes.

- En combinant l'option **M** et l'option **S**, on fait apparaître les trajectoires des points représentés, ce qui fait mieux ressortir les différences d'amplitude. À tout moment, au cours de l'animation, on peut supprimer ou rétablir le signal 2 (ou 1) et, à l'aide des options **M** et **S**, mettre ainsi en évidence les différences essentielles entre onde stationnaire et onde progressive.

POUR SORTIR DU PROGRAMME

On ne peut sortir du programme qu'à partir du menu principal. Pour cela, appuyer sur la touche **T**, tout en maintenant enfoncée la touche **CNT**.