

Une application du langage Maple à la physique : La simulation d'interférences lumineuses

Deuxième partie : Cas de plusieurs sources ponctuelles

par Maurice DOURLENT
Lycée Technique Régional Jean Dupuy
1, rue Aristide Bergès
65016 Tarbes

RÉSUMÉ

Dans la première partie, on a présenté un programme de simulation, en trois dimensions, d'interférences non localisées produites par deux sources lumineuses ponctuelles synchrones, écrit en langage symbolique MAPLE. Dans cette partie, une extension au cas de plusieurs sources est décrite et commentée.

INTRODUCTION

Le programme de calcul formel présenté à la première partie permet de simuler la figure d'interférences lumineuses non localisées produite par deux sources ponctuelles monochromatiques. On avait privilégié un algorithme permettant une adaptation simple à d'autres situations. Deux d'entre elles avaient été mentionnées :

- L'application au cas de deux sources ponctuelles dichromatiques de fréquences voisines (doublet), permettant la visualisation du phénomène appelé «brouillage des franges».
- L'application au cas de deux sources ponctuelles trichromatiques, permettant la reconstitution de la multiplicité de couleurs de la figure d'interférences.

Dans ce qui suit, on décrit et commente une adaptation au cas de plusieurs sources ponctuelles, monochromatiques, synchrones, de même amplitude vibratoire, alignées et régulièrement espacées.

ORGANISATION DU PROGRAMME

Options prises pour le repérage dans l'espace géométrique

Ce sont les mêmes que pour le programme de base :

- L'origine O du repère orthonormé cartésien Oxyz servant aux calculs est au centre de symétrie de l'alignement des sources.
- La droite qui les contient est repérée par son orientation angulaire (angles θ et φ des coordonnées sphériques) par rapport à ces axes.
- L'écran où est recueillie la figure d'interférences est dans un plan perpendiculaire à l'axe Ox du repère.

Données initiales à introduire au choix de l'utilisateur

Ce sont les mêmes que pour le programme de base, avec un ajout :

- Le nombre de sources, noté NbS.

Déroulement des calculs

L'algorithme choisi est sommairement explicité dans les commentaires accompagnant le listing figurant en fin de texte (voir Annexe). Étant donné le choix de O par rapport à l'alignement des sources, il en résulte que si leur nombre est impair, O coïncide avec l'une d'elles. Les principales étapes sont les suivantes :

- Après le calcul préliminaire de quelques paramètres à utiliser ultérieurement, en particulier le vecteur «PAS», qui rassemble toutes les informations permettant de passer d'une source à sa plus proche voisine, on définit le point courant M de l'écran où les rayons interfèrent.
- On exprime le trajet Lo , correspondant à une onde issue de O qui passe par M. Cette onde, qui sert de référence pour la suite, est fictive si le nombre de sources est pair, réelle dans le cas contraire.
- Une boucle permet ensuite d'exprimer le trajet de chaque onde entre son point d'émission et le point M du plan d'interférences, orthogonal à Ox.
- Au sortir de la boucle, on évalue une grandeur proportionnelle à l'amplitude résultante en M, par sommation sur la grandeur homologue relative à chaque onde qui atteint ce point, en tenant compte de sa différence de marche par rapport au trajet de l'onde de référence.
- On peut alors en déduire l'éclairement relatif calculé en M, proportionnel au carré du module de l'amplitude complexe résultante.

- Cet éclairage est introduit comme variable informatique dans l'outil «color» du package «plot3d» de MAPLE, permettant ainsi la gestion de l'intensité lumineuse et de la couleur de l'écran du moniteur.
- Une dernière boucle sert à tracer un rayon particulier issu de chacune des sources, qui interfère avec les autres en un point P du plan d'interférences. Pour terminer les préparatifs au dessin, on positionne chaque source.
- On exécute le dessin.

Remarque : Comme dans la première partie, il n'a pas été tenu compte de la décroissance de l'amplitude de l'onde en fonction de la distance de M à la source car, en optique, l'étendue transversale du champ d'interférences est suffisamment faible pour que l'on puisse négliger cette dépendance.

Résultats : Voir les figures 1 à 6, relatives à un nombre de sources croissant, avec un affichage vidéo monochrome en noir et blanc, obtenu en donnant la même valeur aux trois variables R (rouge), G (vert), B (bleu) de l'outil «color». Dans ces figures, le repère n'est pas orthonormé. La valeur choisie pour OE (500.Å) correspond à une situation assez proche du cas «interférences à l'infini», ce qui aboutit à un dessin où l'œil peut difficilement séparer distinctement les sources les unes des autres, ainsi que les rayons particuliers tracés.

COMMENTAIRES

A propos de l'algorithme

A titre indicatif, pour un choix de maillage de grille de (200×200) points, il faut compter environ cinq minutes pour obtenir l'image vidéo avec un processeur Pentium fonctionnant à 150 MHz.

A propos des résultats

On observe distinctement l'accord avec la théorie qui prévoit que :

- Dans la configuration «Young», l'interfrange ne dépend pas du nombre de sources.
- Les franges claires deviennent de plus en plus étroites à mesure que le nombre de sources augmente lorsqu'on se trouve au voisinage du cas «interférences à l'infini».

Par contre, bien que le maillage de la grille de dessin soit assez élevé, on observe moins distinctement et uniquement lorsque le nombre de sources NbS est peu élevé, qu'entre deux franges brillantes voisines il y a NbS-2 maximums secondaires. Cela est relativement facile à comprendre, car :

- Ces maximums secondaires sont d'intensité nettement plus faible que celle des maximums principaux.
- Pour les maximums secondaires proches du milieu de deux maximums principaux consécutifs, l'intensité (relative à celle des maximums principaux) diminue lorsque NbS augmente.
- Leur observation dépend aussi des réglages
 - de l'écran vidéo du moniteur (résolution, lumière et contraste) ;
 - de l'imprimante (par exemple, le nombre de nuances de gris qui sont prévus par le pilote).

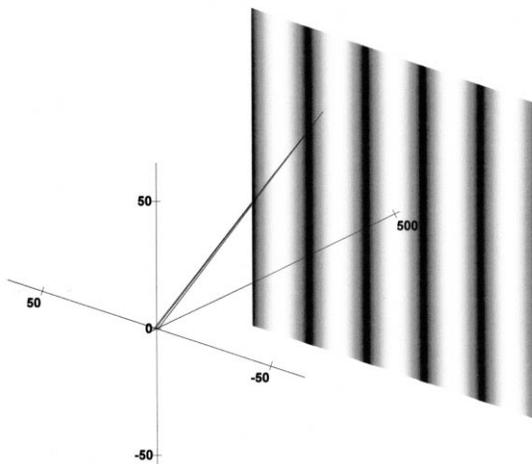


Figure 1 : Franges d'Young monochromatiques
Données initiales : celles du listing du logiciel
sauf nombre de sources : $NbS = 2$
Grille choisie pour le dessin : (200×200) points.

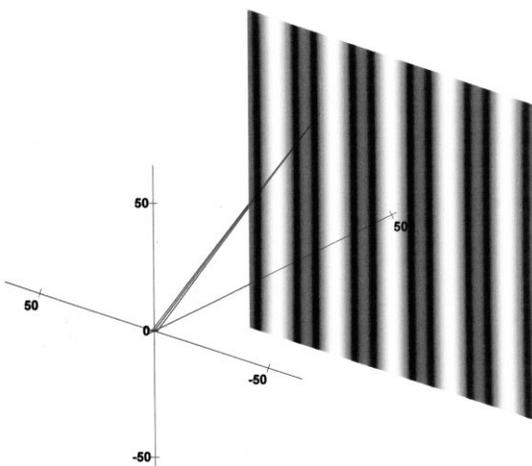


Figure 2 : Franges d'Young monochromatiques
Données initiales : celles du listing du logiciel
Grille choisie pour le dessin : (200×200) points.

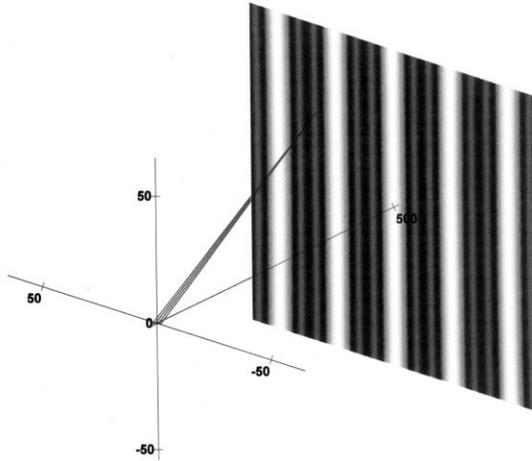


Figure 3 : Franges d'Young monochromatiques
Données initiales : celles du listing du logiciel
sauf nombre de sources : $NbS = 4$
Grille choisie pour le dessin : (200×200) points.

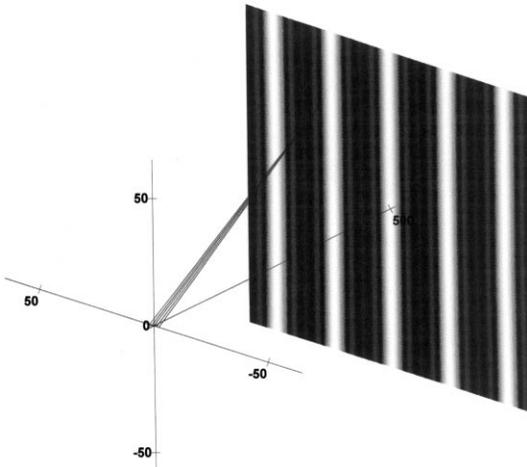


Figure 4 : Franges d'Young monochromatiques
Données initiales : celles du listing du logiciel
sauf nombre de sources : $NbS = 5$
Grille choisie pour le dessin : (200×200) points.

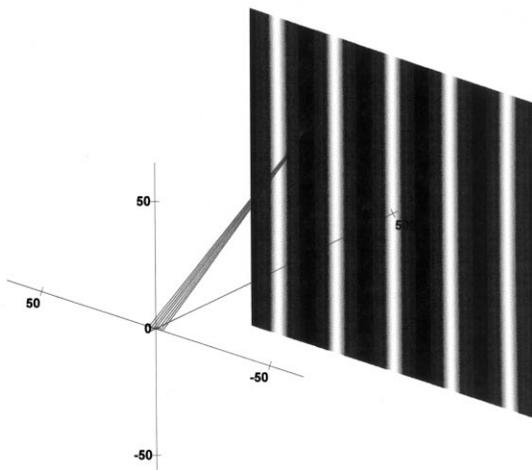


Figure 5 : Franges d'Young monochromatiques
 Données initiales : celles du listing du logiciel
sauf nombre de sources : $NbS = 7$
Grille choisie pour le dessin : (200×200) points.

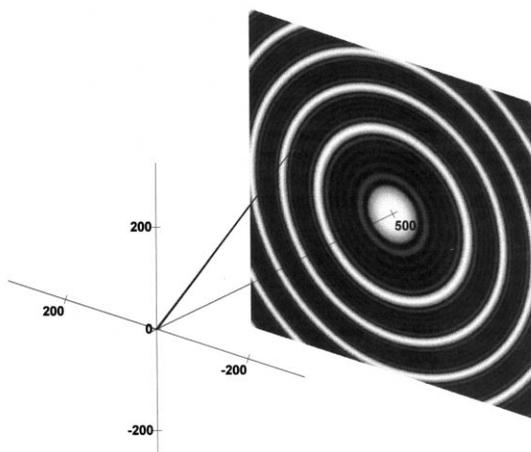


Figure 6 : Franges d'Young monochromatiques
 Données initiales : celles du listing du logiciel
sauf : nombre de sources : $NbS = 7$; $\phi = 0$; $NbF = 25$
Grille choisie pour le dessin : (200×200) points.

Annexe

Les commentaires sont en italique.

PROGRAMME POUR INTERFÉRENCES À DEUX OU PLUSIEURS ONDES MONOCHROMATIQUES

> with(plots,spacecurve,display):

> with(linalg):

Données initiales au choix de l'utilisateur

> a:=1:	<i># distance entre deux sources voisines</i>
> theta:= Pi/2:phi:= Pi/2:	<i># orientation ligne contenant les sources</i>
> OE:=500*a:	<i># distance entre origine O et centre E du plan de visualisation des interférences</i>
> NbF:=5:	<i># nombre approché de franges à dessiner en configuration Young</i>
> lambda:=a/20:	<i># longueur d'onde émise par les sources</i>
> NbS:=3:	<i># nombre de sources</i>
> Grille:=200:	<i># réglage de la finesse du maillage du dessin</i>

Calculs préliminaires

> k:=2*Pi/lambda:	<i># norme vecteur d'onde</i>
> Champ:=NbF*lambda*OE/(2*a):	<i># étendue zone de tracé des interférences</i>

Calculs pour le tracé des interférences

> PAS:=vector([a*sin(theta)*cos(phi), a*sin(theta)*sin(phi),a*cos(theta)]):	# vecteur directeur de la période spatiale des sources
> M:=vector([OE,y,z]):	# coordonnées du point courant M du champ d'interférences
> Lo:=sqrt(M[1]^2+M[2]^2+M[3]^2):	# calcul du trajet d'un rayon (fictif ou non) issu de 0
> for i from 1 to NbS do > facteur:=i-(NbS+1)/2: > S[i]:=vector([PAS[1]*facteur, PAS[2]*facteur,PAS[3]*facteur]): > V:=evalm(M-S[i]): > L[i]:=sqrt(V[1]^2+V[2]^2+V[3]^2): > od:	# calcul trajet L[i] de chaque rayon
> Ampl:=sum('cos(k*(L[p]-Lo))', 'p'=1..NbS)/NbS:	# amplitude résultante en M
> EclR:=Ampl^2:	# éclaircissement résultant en M
> Franges:=plot3d([OE,y,z],y=-Champ..Champ,z=-Champ..Champ, grid=[Grille,Grille],color=COLOR(RGB,EclR,EclR,EclR), orientation=[-145,65],style=patchngrid,axes=normal, tickmarks=[2,3,3],axesfont=[HELVETICA,BOLD,6]):	

Calculs pour le tracé de deux rayons particuliers

> P:=vector([OE,Champ/2,Champ/2]):	# définition du point particulier de l'écran
> for i from 1 to NbS do > P:=evalm(P-S[i]): > r[i]:=spacecurve([S[i][1]+SP[1]*u, S[i][2]+SP[2]*u,S[i][3]+SP[3]*u],u=0..1, numpoints=2,color=BLACK): > od:	# équation paramétrique de chaque r[i]
> Sources:=spacecurve([PAS[1]*(u-(NbS+1)/2), PAS[2]*(u-(NbS+1)/2), PAS[3]*(u-(NbS+1)/2)], u=1..NbS,numpoints=NbS, symbol=CIRCLE,color=BLACK):	# point de départ de r[i]
> Rayons:=convert(r,set):	

Dessin

> display(Sources,Rayons,Franges);