

Analyse numérique pour la physique

J.G. Malherbe A. Ayadim

L.2 Physique,



6 juillet 2015

Point de départ

- Etudiants physiciens plutôt allergiques à l'outil informatique.
- En L1 nos étudiants suivent une initiation à la programmation impérative (langage C, 30h).

Objectifs côté numérique

- Découverte d'un nouvel environnement : logiciels libres : Linux, *Fortran*, *Gnuplot*, \LaTeX
- Initiation, perfectionnement aux techniques de base de la programmation impérative : boucles, tests, sous-programmes, modules. . .
- Bases de l'analyse numérique : intégration, résolution d'équations différentielles ordinaires, ajustement de données, problème de précision numérique. . .

Choix pédagogiques

- Mettre en avant la physique et considérer le numérique comme un outil.
- Prendre des outils 'bas niveau' pour éviter l'effet 'boîte noire'.
- Faire un enseignement qui s'adapte au niveau de chaque étudiant.
- Partir d'applications que l'étudiant maîtrise, en théorie.

Objectifs pour la physique

- Numérique = outil alternatif pour résoudre des problèmes.
- Aller au-delà des problèmes académiques.
- Jouer avec les paramètres.
- Comprendre, analyser finement la modélisation au point de l'expliquer à un ordinateur ...

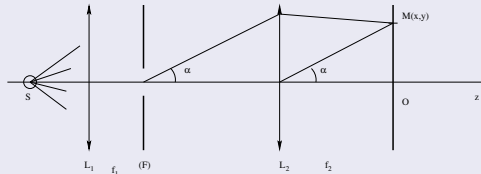
Organisation : 30 heures sur 6 à 7 semaines

- 6 cours qui introduisent progressivement :
 - les méthodes de programmation,
 - la syntaxe du langage correspondante,
 - des exemples concrets.
- 4 TD, travail en petits groupes, très peu de correction au tableau :
 - 2 algorithmique pure.
 - 2 pour préparer les projets : analyse du problème, mise au point de l'algorithme.
- 2 projets en salle informatique :
 - 3 séances de 3h sur la diffraction.
 - 2 séances de 3h sur la simulation numérique du mouvement d'une table anti-vibrations.

Projet 1 : Diffraction de Fraunhofer 1D, 2D

Ce qui est traité en TD d'optique (2 à 3h) :

- Fente fine 1D, caractéristiques de la tache de diffraction :



- Double fente 1D.

Ce qui est traité en TP d'optique (3h) :

- Qualitatif sur écran : idem + 2D + trou circulaire.
- Quantitatif (1D) : acquisition et étude de $I(x)$.

Le TP, cas 1D : Irisation de la tache de diffraction

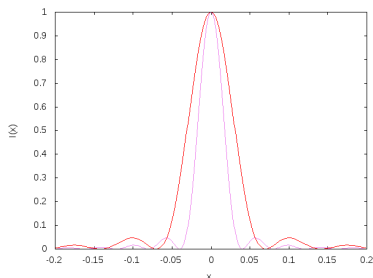
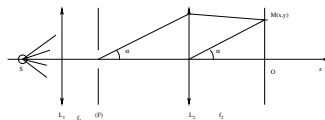
Code minimal : calcul direct de

$$I(x) = \text{sinc}^2(u(x))$$

Mais déjà un peu de physique :
 on peut jouer avec les paramètres...

```

program cardinal
double precision , parameter :: pi=3.14159265359
double precision x, card, a, b, lam, f, xmin, xmax, xpas
integer , parameter :: npt=2**8
f=1.d0; lam=0.4d-6; a=10.d-2
xmin=-20.d-2; xmax=20.d-2
xpas=(xmax-xmin)/(npt*1.d0)
x=xmin
open(10, file='cardinal.dat')
do i=1,npt+1
    theta=atan(x/f)
    u=a*pi*sin(theta)/lam
    card=sin(u)/u
    card=card*card
    write(10,*) x, card
    x=x+xpas
enddo
end program cardinal
    
```

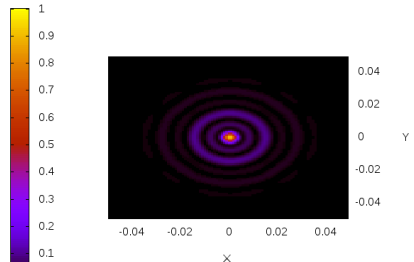
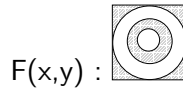
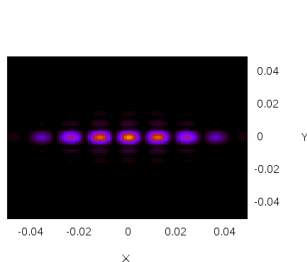
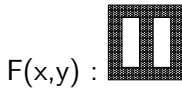


Le TP, cas 2D : Diffraction+interférences

En réalisant numériquement l'intégrale

$$E(P,t)=A(r_0,t) \iint F(x,y) \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}\delta_x + \frac{2\pi}{\lambda}\delta_y\right) dx dy$$

 on étudie, entre autres, les 2 cas suivants :



Le TP, cas 2D : Diffraction+interférences

```
module constantes
real :: theta,beta,x_ecran,y_ecran
real, parameter :: pi=3.1415952
real, parameter :: lam=0.6E-6
real, parameter :: foc=1.
real, parameter :: konst=2*pi/lam
end module constantes
```

```
program fente_2D
use constantes
implicit none
real intens,ecran,zero,pas_ecran
real a,b,c,d,l_0,integ
integer i,j,N_ecran
N_ecran=100; ecran=0.1E0
pas_ecran=ecran/N_ecran
zero=-0.5*ecran
a=-10e-6;b=10e-6;c=a*2.;d=b*2.;
l_0=(b-a)*(b-a)
open(12,file='intensite.dat')
do i=1,N_ecran
    y_ecran=zero+(i-1)*pas_ecran
    do j=1,N_ecran
        x_ecran=zero+(j-1)*pas_ecran
        intens=integ(a,b,c,d)
        write(12,*)x_ecran,y_ecran,intens*intens/l_0/l_0
    enddo
    write(12,*)
enddo
enddo
end
```

```
real function integ(a_x,b_x,a_y,b_y)
real f,x,y,pas_x,pas_y
real a_x,b_x,a_y,b_y,inte
integer i,j
integer, parameter :: npas=100
pas_x=(b_x-a_x)/npas; pas_y=(b_y-a_y)/npas
inte=0.E0
do i=1,npas
    y=a_y+(i-1)*pas_y
    do j=1,npas
        x=a_x+(j-1)*pas_x
        inte=inte+f(x,y)
    enddo
enddo
integ=inte*pas_x*pas_y
end function integ
```

```
real function f(x,y)
use constantes
real x,y,arg,fente
theta=atan(x_ecran/foc); beta=atan(y_ecran/foc)
delta_x=x*sin(theta); delta_y=y*sin(beta)
arg=(delta_x+delta_y)*konst
f=cos(arg)!
end function f
```


En pratique...

Résultats :

- 50% des étudiants ne font pas la moitié du travail demandé et n'exploitent pas les outils qu'ils ont développés.
- 10% des étudiants réalisent les objectifs du TP.
- Certains étudiants, limités par les maths en TD de physique arrivent maintenant à produire des résultats. . .

Problèmes finalement très courants :

- ❶ Difficultés engendrées par l'enseignement disponible en ligne : les cours sont plus denses, les étudiants moins présents et moins concentrés.
- ❷ Pour eux, le lien *cours* – *TD* – *TP* n'est pas évident.
- ❸ Ils ont une vision du *TP* 'presse-bouton'.

Conclusions et Référence...

- L'implication des étudiants est rarement suffisante.
- La démarche d'analyse indispensable pour mettre en œuvre les méthodes numériques rebute les étudiants.

Mais :

- Au niveau $L2$, on peut trouver des problèmes de physique intéressants à étudier numériquement.
- L'idée de reprendre des problèmes du programme permet à l'étudiant d'approfondir en terrain connu.
- Les étudiants plus faibles en math se révèlent souvent. La maturité de l'étudiant est un facteur important.

Source d'inspiration :

Le cours de Physique numérique de P. Depondt donné à Jussieu en $L3$ et en $M1$.