

# Modélisation numérique : TD 4 pour évaluation

Frédéric Hourdin  
hourdin@lmd.ens.fr

5 février 2009

cœur

## 1 Préparation : advection horizontal dans un cadre bi-dimensionnel

On pourra repartir du TD2 dans lequel on advectait un champ de traceur gaussien initialement dans une direction unique.

Ajouter une dimension verticale aux différents champs. On utilisera par exemple 100 points en  $x$  et 30 en  $z$ .

On supposera que la longueur horizontale du domaine est  $L = 3000$  m et verticale  $H = 1000$  m. On utilisera 300 points sur l'horizontale et 100 sur la verticale pour atteindre une résolution spatiale isotrope :  $\delta x = \delta z = 10$  m.

On prendra un vent horizontal dépendant linéairement de l'altitude  $U(z) = U_{\min} + (U_{\max} - U_{\min}) z/H$  avec  $U_{\min} = 2 \text{ m s}^{-1}$  et  $U_{\max} = 10 \text{ m s}^{-1}$ .

```
integer imax,kmax,i,k
parameter (imax=300,kmax=100)
real xxx(imax),zzz(imax)
real :: xmax=3000.
real :: zmax=1000.
real :: deltax,deltaz
real :: qcancien(imax,kmax),qnouveau(imax,kmax)
deltax=xmax/float(imax)
deltaz=zmax/float(kmax)
do i=1,imax
    xxx(i)=i*deltax
enddo
do k=1,kmax
    zzz(k)=k*deltaz
enddo
```

1. Prendre comme dans le TD2 une concentration initiale de traceur gaussienne, ne dépendant que de  $x$  :  $q(x, t = 0) = \exp(-[(x - x_0)/\Delta x]^2)$  avec  $\Delta x = L/15$ . et  $x_0 = L/5$ . (ne pas confondre ce  $\Delta x$  avec la taille d'une maille du modèle  $\delta x$ ).

Tracer la concentration initiale du traceur.

2. Choisir judicieusement un pas de temps  $\delta t$  par rapport à la vitesse maximale rencontrée dans le domaine. On pourra dans le code se donner un tableau dépendant de la dimension verticale pour stoker le paramètre  $\alpha_x(z) = \delta t U(z)/\delta x$ .

Calculer l'advection horizontale de ce traceur avec un schéma numérique amont du premier ordre et faire quelques sorties 2D à des instants successifs.

## 2 Panache de cheminée : calcul explicite et paramétrisation

Dans cette question, on reprend les mêmes paramètres que précédemment, sauf qu'on suppose que le champ de traceur est initialement nul sur tout le domaine.

On suppose en revanche qu'on a une source ponctuelle continue (le haut d'une cheminée d'usine par exemple). En pratique on imposera à tout instant que

$$q(imax/6, 3 * kmax/4) = 1. \quad (1)$$

**Calcul explicite :** On suppose également que, en plus du vent horizontal, on a un vent vertical, fluctuant dans le temps et dans l'espace.

Pour simplifier le calcul de l'advection (champ de vent non divergeant dans la direction verticale), on va supposer que le champ de vent vertical  $W$  ne dépend que de la direction verticale et du temps.

On prendra comme formule :

$$W(x) = W_{\max} \left[ 0, 2 \sin(30 * \pi \frac{x}{L} - t/50) + \sin(10 * \pi \frac{x}{L} - t/66) \right] \quad (2)$$

avec  $W_{\max} = 5 \text{ m s}^{-1}$ .

Il sera intéressant, à chaque pas de temps, de calculer  $\alpha_z(x) = \delta t W(X)/\delta z$ . Effectuer le calcul sur 2000 pas de temps et faire des sorties à des instants successifs.

**Calcul avec diffusion :** on suppose maintenant  $W(z)$  mais on ajoute dans le calcul une diffusion turbulente avec un coefficient de diffusion constant dans le temps et dans l'espace  $K_z = 50 \text{ m}^2/\text{s}$ .

Pour préparer la question suivante, on codera le calcul de la diffusion verticale en deux étapes. Dans la première, on calculera le flux de traceur

$$F_q(x, z) = \overline{\rho w' q'} = -K_z \frac{\partial q}{\partial z} \quad (3)$$

Effectuer également un calcul sur 2000 pas de temps avec les mêmes valeurs des paramètres. Comparer la concentration moyenne du traceur pour les deux calculs entre les pas de temps 1000 et 2000, soit en traçant des profils verticaux en  $x = L$  soit en traçant des cartes bi-dimensionnelles (cf. la fin de l'énoncé).

On fixera si possible les iso-valeurs des tracers bi-dimensionnels à (0,001 ; 0,002 ; 0,005 ; 0,01 ; 0,02 ; 0,05 ; 0,1 ; 0,2 ; 0,5)

Commenter rapidement.

### 3 Panache d'une agglomération

On reprend l'énoncé ci-dessus, sauf qu'on suppose maintenant qu'on est dans le contexte d'une modélisation à plus grande échelle. En pratique, on prendra  $L = 100$  km,  $H = 3000$  m, et 100 et 30 points sur l'horizontale et la verticale respectivement.

On supposera que le vent vertical à grande échelle est nul ( $W(z) = 0$ ) et on conservera le vent  $U$  de la question précédente.

On supposera cette fois qu'on n'a pas de source dans l'atmosphère mais qu'on a un flux turbulent à la surface  $\overline{\rho w'q'} = 1$  pour  $L/6. < x < L/2.$

On supposera de plus que le traceur à une durée de vie limitée régit par l'équation

$$\frac{dq}{dt} = -\frac{q}{\tau} \quad (4)$$

avec  $\tau = 3600$  s.

On prendra un coefficient de diffusion dépendant de la dimension verticale avec

$$K_z(z) = 25.(1 - \tanh(z/z_0)) \quad (5)$$

(la fonction  $\tanh()$  existe en fortran directement).

On effectuera le calcul avec  $(U_{\min}, U_{\max}, z_0)$  égal successivement à  $(2, 10, 300.)$ ,  $(2, 10, 1000)$  ou  $(5, 30, 1000)$  en  $(\text{m s}^{-1}, \text{m s}^{-1}, \text{m})$ .

## Options pour les tracers en 2D

### La meilleure solution ...

Utiliser quelque chose que vous connaissez, comme matlab, sa version gratuite ou autres.

### Fichiers ASCII

On pourra pour ce faire utiliser les lignes fortran suivantes :

```
file="q..."
write(file(2:4),'(i3.3)') it
open (10,file=file,form='formatted')
do k=1,kmax
do i=1,imax
write(10,*) xxx(i),zzz(i),qqq(i)
enddo
enddo
close(10)
```

Puis lancer le logiciel ferret par exemple,

**ferret**

Puis taper les lignes suivantes :

```

DEFINE AXIS/X=1:100:1 xm
DEFINE AXIS/Z=0.1:3.:0.100 zm
sh da
DEFINE GRID/X=xm/Z=zm gm
FILE/VAR="xlu,zlu,q"/GRID=gm q151
show data
fill q

```

Les mêmes fichiers doivent pouvoir être tracés avec gnuplot.

## Fichiers binaires au format grads

Pour ceux qui connaissent le logiciel grads, vous pouvez récupérer sur

<http://www.lmd.jussieu.fr/~hourdin/COURS/M2model>

Vous ajoutez dans le code, avant la boucle en temps, les lignes

```

character*10 fichier,titre
...
fichier='q'
titre='q'
call inigrads(1,imax ,xxx,1.,0.,xmax,kmax,zzz,0.,zmax,1.,1,0.,1. ,deltat,fichier,titre)

```

qui va initialiser l'écriture d'un fichier grads, avec les coordonnées xxx, et zzz, entre 0 et xmax ou zmax respectivement.

Puis, au moment de l'écriture :

```

if (mod(it,10)==1) then
call wrgrads(1,1,qancien,'q          ','q          ')
endif

```

les routines inigrads.F et wrgrads.F et le fichier gradsdef.h Vous compilez ensuite

```
pgf90 monprog.f90 inigrads.F wrgrads.F
```

Vous lancez enfin grads, puis

```

open q
query file
set mproj off
set t 5
d q

```