

# Modélisation numérique : TD 1

Frédéric Hourdin  
hourdin@lmd.ens.fr

21 septembre 2009

## Calcul de l'évolution de la concentration en CO2 dans l'atmosphère.

La concentration en CO2 dans l'atmosphère augmente environ de 1% par an depuis le début de l'ère industrielle.

### 1. Programme intuitif :

On commence par écrire un programme qui calcule année après année la concentration du CO2 depuis 1900 en partant d'une valeur de 300 ppm ( $q_{i+1} = 1,01 \times q_i$ ). Sortir les résultats sous forme de deux colonnes en ASCII

```
1900  300.  
1901  303.  
1902  306.03  
...
```

### Rappel des étapes pour créer et exécuter un programme fortran

Créer un fichier **prog.f90** contenant les lignes de fortrons nécessaires.

```
Implicit none ! Instruction tres utile qui force à déclarer  
              ! explicitement toutes les variables du  
              ! programme  
  
!  
! Declarations  
!-----  
Integer an  
!  
! Boucle en temps  
!-----  
Do an=1900,2008  
  print*,an  
Enddo  
End
```

On utilisera par exemple pour cela un éditeur comme gedit.

**Puis compiler** > g95 prog.f90

(ou pgf prog.f90)

**et lancer le programme** > ./a.out

**Tracer les résultats avec un logiciel graphique de votre choix.** On pourra pour cela « rediriger » la « sortie standard » du programme dans un fichier

> ./a.out > evol

A défaut d'un autre logiciel graphique, on pourra utiliser xmgrace

> xmgrace -legend load evol

Si vous avez introduit un tableau 'real q(n)' contenant les n valeurs successives de la concentration de CO2, réécrivez le programme sans ce tableau, soit en écrasant la valeur de q (q=F(q)) soit en utilisant deux valeurs, qancien et qnouveau par exemple.

## 2. Formulation mathématique :

Ecrire sous forme mathématique l'équation d'évolution de la concentration en CO2 avec un axe des temps continu plutôt que discret,  $dq/dt = f(q)$

## 3. Discrétisations temporelle :

Proposer une réécriture du programme (changer une ligne en pratique) basée sur cette formulation (en supposant qu'on ne sait pas intégrer mathématiquement l'équation différentielle) On partira de l'équation

$$\frac{q(t + \delta t) - q(t)}{\delta t} = f(q^*) \quad (1)$$

en prenant pour  $q^*$  une combinaison de  $q(t + \delta t)$  et  $q(t)$ . Coder au moins deux formulations pour calculer l'évolution du CO2 entre 1900 et 2500. Comparer le résultat avec un pas de temps  $\delta t = 1$  an,  $\delta t = 10$  an et  $\delta t = 100$  ans. En pratique, on peut changer la valeur de dt dans le code, puis recompiler et relancer

> a.out > dt1an

puis

> xmgrace -legend load dt1an dt10ans dt100ans

## 4. Exponentielle décroissante :

Utiliser le même programme mais l'adapter à une situation où le CO2 décroiterait cette fois de 1% par an. Tester à nouveau les différentes formulations et pas de temps.