

A propos du groupe
problèmes environnementaux

**Hervé MONOD (INRA),
Clémentine PRIEUR (Université Grenoble 1)**

Paris, 3 décembre 2010

Ambitions du groupe de travail : modélisation, analyse de modèles complexes, systèmes de prévision **pour les applications environnementales**.

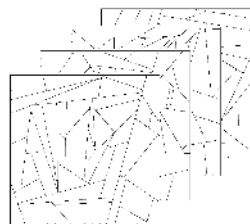
Quelques champs d'intérêt :

- changement climatique,
- systèmes de prévision régionaux pour l'océan et l'atmosphère,
- évolution de la qualité de l'air et l'eau,
- relation entre pratiques agricoles et effets sur l'environnement,
- écologie du paysage, biodiversité, épidémiologie végétale,
- ...

Exemple: dynamique épidémique sur un paysage cultivé

Ecologie du paysage

Théorie des métapopulations



Simulateur de paysages

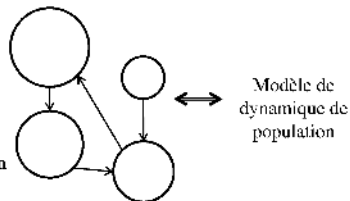
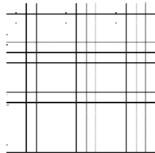
↑
Indices de profil de
paysage



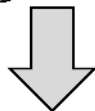
Paysage observé

→
Algorithme
Califlopp

→
Découplage entre
l'échelle de gestion
et l'échelle de la
dynamique de
population



↔
Modèle de
dynamique de
population



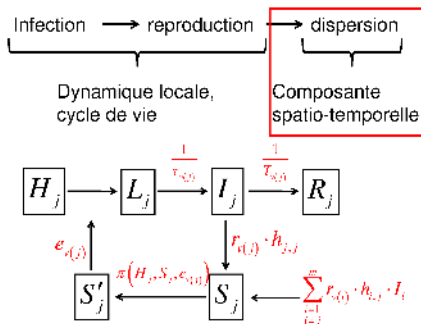
Objectifs:

- Simulation, expérimentation numérique
- Estimation, sélection
- Optimisation
- ...

Questions:

- sensibilité d'indicateurs de l'épidémie aux paramètres bio-env et aux caractéristiques du paysage?
- conditions d'apparition d'un pathotype résistant?
- ...

Système dynamique à variable d'états:



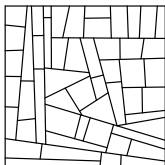
- généralement discrétisé dans l'espace et le temps
- dispersion coûteuse en temps calcul
- composantes stochastiques

Exemple: pbs pour l'expé numérique?

Pb.1: Représentation d'entrées complexes, ex: le paysage agricole

⇒ Travaux spécifiques sur la modélisation du paysage

- recherche de descripteurs géométriques pertinents
- acquisition/simulation/tri de paysages contrastés:
 - processus de tessellations → structure du parcellaire
 - algos empiriques ou modèles markoviens (par ex.) → répartition des cultures



$$f(T) \propto \exp(-(\theta_1 d_1(T) + \dots + \theta_k d_k(T)))$$

θ_i : paramètres; $d_i(T)$: descripteurs géométriques

Pb.2: Entrées très fréquemment corrélées

Pb.3: Coût en temps calcul

- gérer les résolutions spatiales et temporelles
- exploiter la structure du code calcul
 - facteurs F_i (calculs de flux) → coûteux
 - facteurs G_j (dynamique locale) → non coûteux $|F_i$
 - \Rightarrow plans d'échantillonnage hiérarchiques?

Pb4: Sorties complexes \Rightarrow Besoins en

- techniques de réduction des entrées/sorties
- méthodes d'apprentissage et sélection de modèles
- méta-modélisation

Pb5. Nature stochastique du modèle

- analyser les distributions de probabilité en sortie
- quantifier les probabilités d'évènements rares (sur $D(X)$ et à X fixé)
- adapter les plans d'échantillonnage

Quelques particularités ...

Un premier exemple : modèle océano.
Les équations primitives océano ...

Navier-Stokes on a rotating sphere + hydrostatic and Boussinesq approximations

Conservation
of momentum

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \mathbf{U} \cdot \nabla u - \nu \Delta u - fv + \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \mathbf{U} \cdot \nabla v - \nu \Delta v + fu + \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -\rho g$$

Conservation
of mass

$$\operatorname{div} \mathbf{U} = 0$$

Conservation
of heat and salt

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \mathbf{U} \cdot \nabla T = K_T \Delta T$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \mathbf{U} \cdot \nabla S = K_S \Delta S$$

Equation of state

$$\rho = \rho(T, S, p)$$

+ boundary conditions with the atmosphere (wind, heat and mass fluxes)
and with the solid boundaries (impermeability, wall friction law....)

Des coûts de calcul élevés

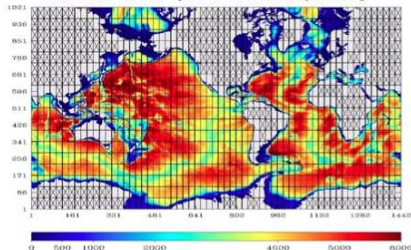
Example: DRAKKAR project → hierarchy of global models

NEMO code (Nucleus for European Models of the Oceans)

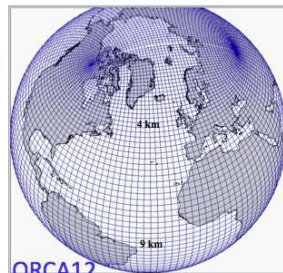
- Ocean: OPA9 OGCM (LOCEAN) (centered FD, order 2).
- Sea-ice: LIM model (UCL)

ORCA grid:

- Isotropic resolution (2° , 1° , $1/2^\circ$, $1/4^\circ$, $1/12^\circ$)
- 46, 50 or 75 vertical levels
- ORCA025: $1/4^\circ$ (1442 x 1021 points)
- ORCA12: $1/12^\circ$ (4322 x 3059 points)



1 point over 36



Domain decomposition

864 useful procs.

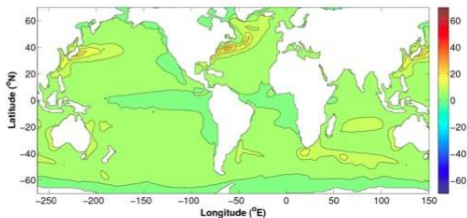
1 year → 2900 h cpu

3 h elapsed

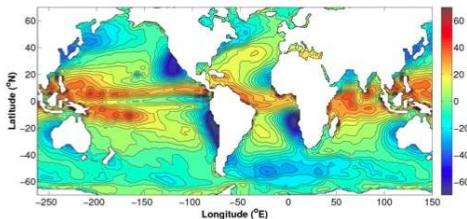
De nombreuses sources d'incertitude

- modèle mathématique : physique manquante, valeurs des paramètres, de la condition initiale, des données aux limites, des forçage . . .
- Discrétisation du modèle : troncature numérique, paramétrisation sous-maille
- Eventuellement couplage de plusieurs modèles (de différents milieux, ou de différentes échelles) : physique de l'interface, algorithmique du couplage

Misfit in the heat flux (W/m^2) due to incident solar flux estimated from two different databases (ISCCP et ERA-40)



Misfit in the heat flux (W/m^2) due to the use of two different parameterizations of C_x (Fairall et al 2003 and Large & Yeager 2004)



Analyse de sensibilité, différentes approches

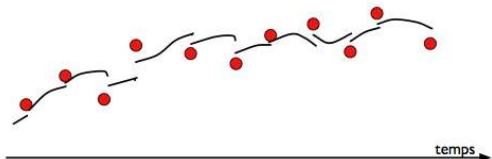
Approche variationnelle : calcul de gradients locaux, par des techniques adjointes

Approche stochastique : indices globaux, par des techniques de type Monte Carlo (système = boîte noire ou méthodes intrusives pour réduire la dimension)

Une couche de plus : l'assimilation de données

Approche stochastique : on applique (\pm) le BLUE

Le filtrage fournit des statistiques d'erreur (mais manipulation de matrices de grande taille)

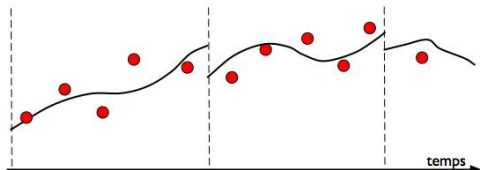


Filtrage

Approche variationnelle : minimiser

$$J(\mathbf{x}_0, \dots) = \frac{1}{2} \|\mathbf{x}_0 - \mathbf{x}_0^b\|_{B^{-1}}^2 + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^N \|H(\mathbf{x}_k) - \mathbf{y}_k\|_{R^{-1}}^2$$

(minimisation en grande dimension)



4D-Var

Moyen astucieux "plus stochastiques" de faire de l'assimilation de données?

Lien avec la façon de choisir un plan d'expérience pour construire un modèle?

Assimilation avec des termes d'erreurs non gaussiens, biaisés, ...

Mieux modéliser les termes d'erreur (en assimilation mais aussi en modélisation directe).

Développement de méthodes intrusives pour la grande dimension.

Comment bien prendre en compte les sorties d'intérêt?

Obtenir des bornes de certification?

Autres enjeux :

Des données fonctionnelles : entrées ou sorties, fonctions du temps, de l'espace, des deux.

Autres enjeux :

Des données fonctionnelles : entrées ou sorties, fonctions du temps, de l'espace, des deux.

De la non stationnarité.

Autres enjeux :

Des données fonctionnelles : entrées ou sorties, fonctions du temps, de l'espace, des deux.

De la non stationnarité.

Les deux + une dynamique spatio-temporelle à capturer ...

Autres enjeux :

Des données fonctionnelles : entrées ou sorties, fonctions du temps, de l'espace, des deux.

De la non stationnarité.

Les deux + une dynamique spatio-temporelle à capturer ...

... et tout ça avec des codes coûteux en terme de stockage et de temps de calcul!

Autres enjeux :

Des données fonctionnelles : entrées ou sorties, fonctions du temps, de l'espace, des deux.

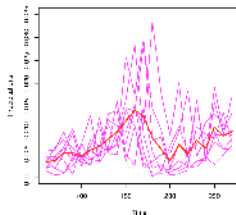
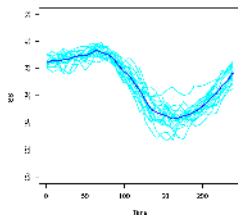
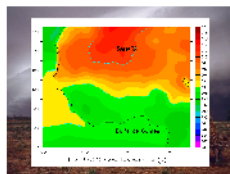
De la non stationnarité.

Les deux + une dynamique spatio-temporelle à capturer ...

... et tout ça avec des codes coûteux en terme de stockage et de temps de calcul!

Des liens à développer avec le GdR **Calcul**?

Un exemple applicatif : la mousson en Afrique de l'Ouest



Autres directions ...

A **vous** de parler ...