

YAO

Un logiciel pour les modèles numériques et l'assimilation variationnelle de données

Luigi NARDI Fouad BADRAN Sylvie THIRIA



LABORATOIRE D'OCEANOGRAPHIE ET DU CLIMAT :
EXPERIMENTATION ET APPROCHES NUMERIQUES.
CNRS / IRD / UNIVERSITE PIERRE & MARIE CURIE /
MNHN / INSTITUT PIERRE-SIMON LAPLACE



- 1 Introduction
- 2 Notion de graphe modulaire
- 3 Architecture
- 4 Conclusion et perspective

- 1 Introduction
- 2 Notion de graphe modulaire
- 3 Architecture
- 4 Conclusion et perspective

Les modèles numériques

Le modèle numérique permet d'adapter les équations des lois physiques pour l'implémentation informatique.

Une fois vérifié le bon comportement de ces lois il est alors utilisé pour l'étude du phénomène lui même.

Cependant, **les modèles ainsi créés restent toujours imparfaits.**

Des techniques qui utilisent à la fois cette modélisation et la résolution du problème inverse ont vu le jour : **assimilation des données.**

On fait évoluer le modèle physique en introduisant les observations.

L'efficacité de l'approche est démontré, parmi d'autres, par l'amélioration obtenue sur les prévisions météorologiques qui assimilent les observations satellitaires et in situ depuis une vingtaine d'années.

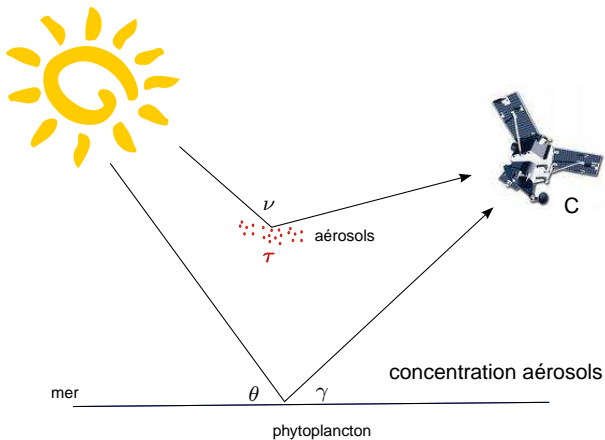
L'assimilation deviens de plus en plus utilisé dans plusieurs domaines : géophysique, météorologie, industrie, économie, etc. . . .

Exemple assimilation



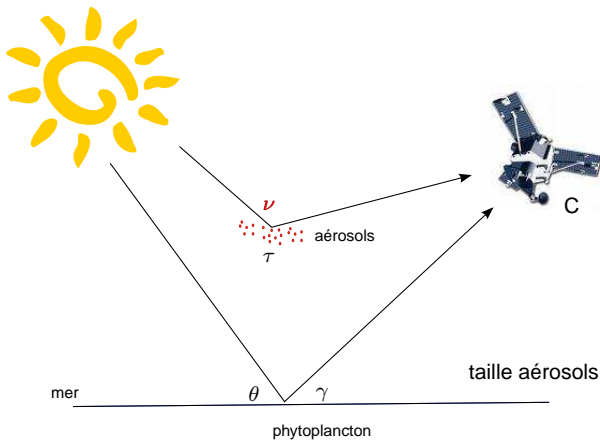
$$C = M(\tau, \nu, \gamma, \theta)$$

Exemple assimilation



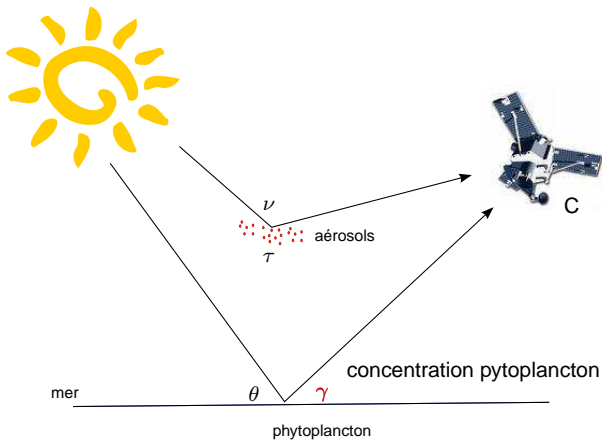
$$C = M(\tau, \nu, \gamma, \theta)$$

Exemple assimilation



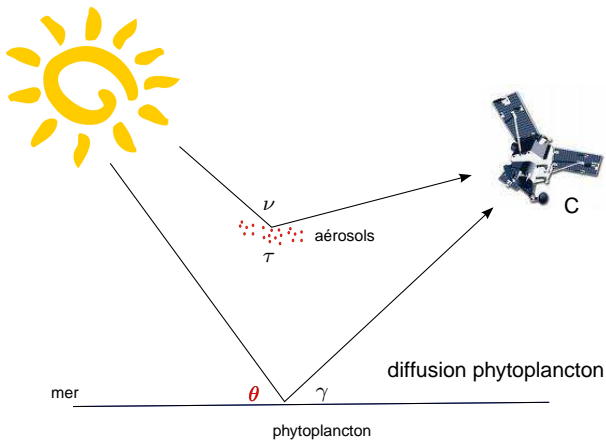
$$C = M(\tau, \nu, \gamma, \theta)$$

Exemple assimilation



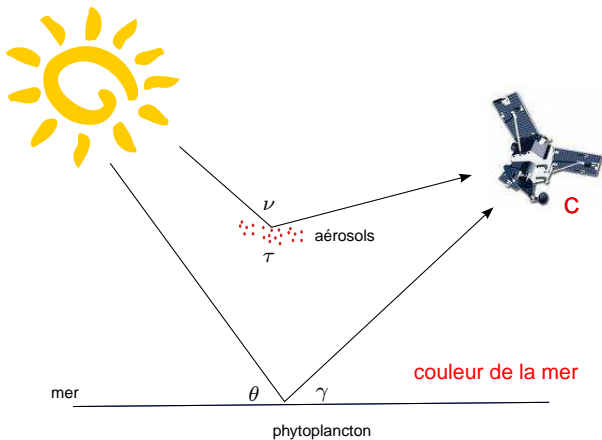
$$C = M(\tau, \nu, \gamma, \theta)$$

Exemple assimilation



$$C = M(\tau, \nu, \gamma, \theta)$$

Exemple assimilation



$$C = M(\tau, \nu, \gamma, \theta)$$

Composants assimilation variationnelle

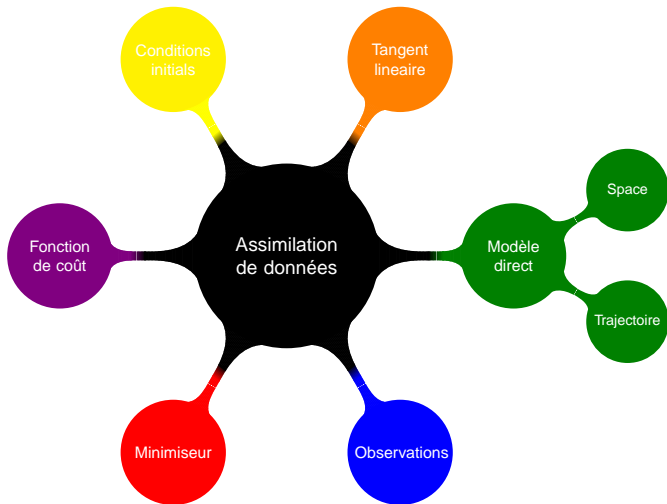
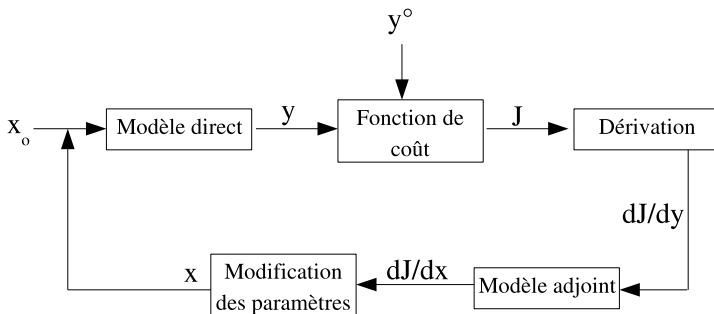


Schéma général de l'assimilation variationnelle

Le principe repose sur la minimisation d'une fonction de coût :

- programmation du code adjoint du modèle direct ;
- rétropropagation du gradient de l'erreur sur les valeurs de sortie du modèle vers les variables d'entrée ;
- déterminer le gradient de la fonction par rapport aux variables à contrôler.



YAO

YAO est un outil pour écrire le code de modèles numériques et gérer un processus d'assimilation variationnelle de données en représentant le modèle sous forme de **graphe modulaire**. YAO se propose d'être une **aide** à la réalisation de l'assimilation variationnelle.

L'utilité ...

Il permet à l'utilisateur de réduire sa part de programmation et de ne se concentrer ainsi que sur la **spécification** de son problème.

L'utilisateur bénéficie de façon **quasi-automatique** du code adjoint qui permet de calculer le gradient d'une fonction de coût.

Un grand avantage est sa **flexibilité** et la **facilité** avec laquelle il est possible de modifier le modèle pour le faire évoluer.

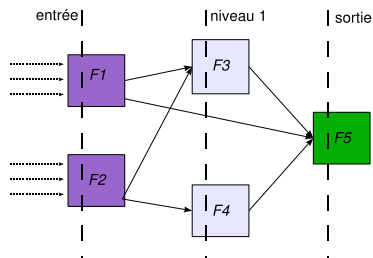
- 1 Introduction
- 2 Notion de graphe modulaire**
- 3 Architecture
- 4 Conclusion et perspective

Concept

- *module* : entité de calcul, reçoit un vecteur en entrée et calcule un vecteur en sortie ;
- *connexion de base* : transmissions de données entre modules ;
- *graphe modulaire* : un ensemble de modules interconnectés.

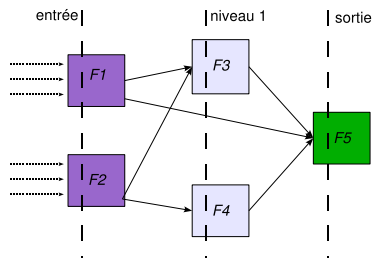
Concept

- *module* : entité de calcul, reçoit un vecteur en entrée et calcule un vecteur en sortie ;
- *connexion de base* : transmissions de données entre modules ;
- *graphe modulaire* : un ensemble de modules interconnectés.



Concept

- *module* : entité de calcul, reçoit un vecteur en entrée et calcule un vecteur en sortie ;
- *connexion de base* : transmissions de données entre modules ;
- *graphe modulaire* : un ensemble de modules interconnectés.

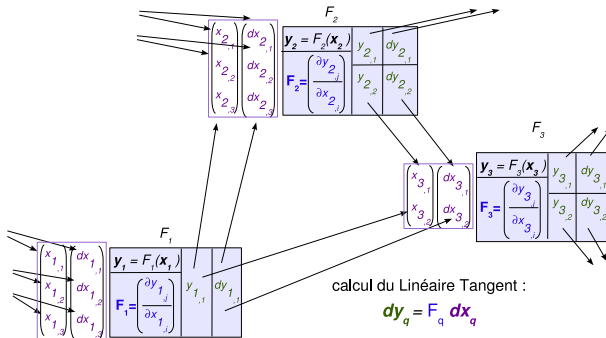


Un modèle physique peut-être représenté par un graphe modulaire.

Le graphe modulaire étant sans circuit, il est alors possible de numéroter les modules en *ordre topologique* : ordonnancement du calcul dans un modèle.

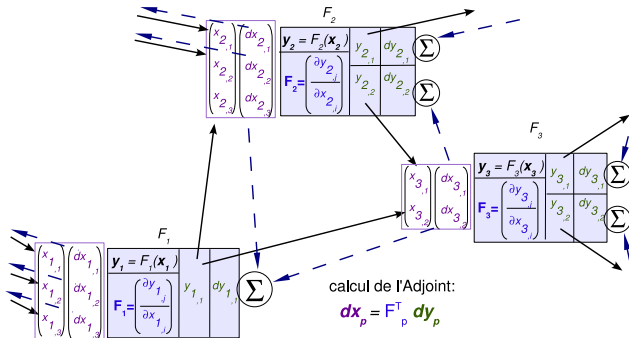
Modèle direct et tangent linéaire

En parcourant les modules dans le sens de l'ordre topologique on peut calculer le modèle direct et le tangent linéaire du graphe modulaire : **forward** et **lin_forward**.



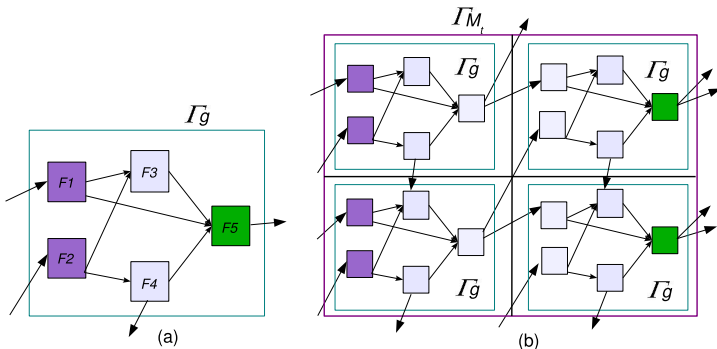
Adjoint

En parcourant les modules en arrière on peut calculer l'adjoint :
backward.



Réplication de graphe

On définit une maille et on la déplier sur toute la fenêtre de travail (espace et trajectoire) : YAO gère automatiquement la répétition du phénomène physique.



Conclusion graphe modulaire

- assimilation de données non pas vu sous le notion algébrique mais au niveau d'opérations locales à faire et flux d'informations dans le graphe (forward et backward). Perte de distinction entre 3D-Var et 4D-Var.
- le même graphe permet le calcul du modèle, de son adjoint et du linéaire tangent ;
- définition locale répliquée dans le temps et l'espace ;
- intégration dans un schéma d'assimilation plus général :
 - graphe modulaire : modèle direct et son adjoint ;
 - données : ébauche et observation ;
 - statistique d'erreur sur les données (variance-covariance sur les termes d'ébauche et d'observation).

YAO permet de prendre en compte et de gérer l'ensemble de ces éléments.

Conclusion graphe modulaire

- assimilation de données non pas vu sous le notion algébrique mais au niveau d'opérations locales à faire et flux d'informations dans le graphe (forward et backward). Perte de distinction entre 3D-Var et 4D-Var.
- le même graphe permet le calcul du modèle, de son adjoint et du linéaire tangent ;
- définition locale répliquée dans le temps et l'espace ;
- intégration dans un schéma d'assimilation plus général :
 - graphe modulaire : modèle direct et son adjoint ;
 - données : ébauche et observation ;
 - statistique d'erreur sur les données (variance-covariance sur les termes d'ébauche et d'observation).

YAO permet de prendre en compte et de gérer l'ensemble de ces éléments.

Conclusion graphe modulaire

- assimilation de données non pas vu sous le notion algébrique mais au niveau d'opérations locales à faire et flux d'informations dans le graphe (forward et backward). Perte de distinction entre 3D-Var et 4D-Var.
- le même graphe permet le calcul du modèle, de son adjoint et du linéaire tangent ;
- définition locale répliquée dans le temps et l'espace ;
- intégration dans un schéma d'assimilation plus général :
 - graphe modulaire : modèle direct et son adjoint ;
 - données : ébauche et observation ;
 - statistique d'erreur sur les données (variance-covariance sur les termes d'ébauche et d'observation).

YAO permet de prendre en compte et de gérer l'ensemble de ces éléments.

Conclusion graphe modulaire

- assimilation de données non pas vu sous le notion algébrique mais au niveau d'opérations locales à faire et flux d'informations dans le graphe (forward et backward). Perte de distinction entre 3D-Var et 4D-Var.
- le même graphe permet le calcul du modèle, de son adjoint et du linéaire tangent ;
- définition locale répliquée dans le temps et l'espace ;
- intégration dans un schéma d'assimilation plus général :
 - graphe modulaire : modèle direct et son adjoint ;
 - données : ébauche et observation ;
 - statistique d'erreur sur les données (variance-covariance sur les termes d'ébauche et d'observation).

YAO permet de prendre en compte et de gérer l'ensemble de ces éléments.

Conclusion graphe modulaire

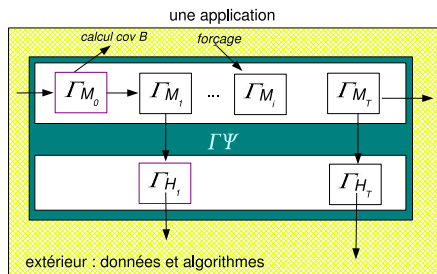
- assimilation de données non pas vu sous le notion algébrique mais au niveau d'opérations locales à faire et flux d'informations dans le graphe (forward et backward). Perte de distinction entre 3D-Var et 4D-Var.
- le même graphe permet le calcul du modèle, de son adjoint et du linéaire tangent ;
- définition locale répliquée dans le temps et l'espace ;
- intégration dans un schéma d'assimilation plus général :
 - graphe modulaire : modèle direct et son adjoint ;
 - données : ébauche et observation ;
 - statistique d'erreur sur les données (variance-covariance sur les termes d'ébauche et d'observation).

YAO permet de prendre en compte et de gérer l'ensemble de ces éléments.

- 1 Introduction
- 2 Notion de graphe modulaire
- 3 Architecture**
- 4 Conclusion et perspective

Expériences de simulation et/ou d'assimilation I

On doit intégrer et organiser les calculs du graphe modulaire dans le cadre générale de l'assimilation variationnelle de données.

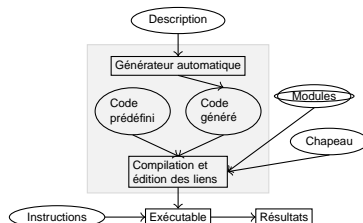


Expériences de simulation et/ou d'assimilation II

- Gestion de différentes sortes de données nécessaires à l'application (paramètres, forçage, ...).
- Choix de la fonction de coût.
- Choix du minimiseur : M1QN3 (ou M2QN1) de l'INRIA et d'autres algorithmes peuvent être interfacés.
- Outils de vérification : dans YAO il est nécessaire de savoir calculer l'adjoint et le tangent linéaire de chaque module. YAO facilite la vérification de ces calculs avec les tests de validité de : jacobien, tangent linéaire, adjoint et fonction de coût.
- Visualisation des résultats : la bonne conduite d'une expérience de simulation et/ou d'assimilation demande de visualiser le comportement des différentes paramètres de control, des gradients et des fonctions de coût pendant la période considérée.

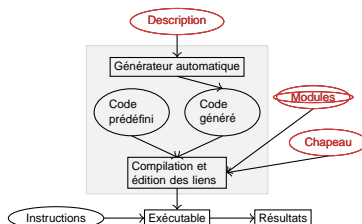
Structuration d'une application sous YAO

Les parties standards et spécifiques sont bien distingués et séparées ce qui facilite la compréhension et la maintenance.



Structuration d'une application sous YAO

Les parties standards et spécifiques sont bien distingués et séparées ce qui facilite la compréhension et la maintenance.

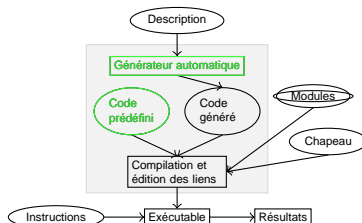


pour la partie spécifique que l'utilisateur doit prendre en charge

Structuration d'une application sous YAO

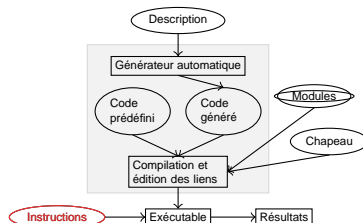
Les parties standards et spécifiques sont bien distingués et séparées ce qui facilite la compréhension et la maintenance.

pour la partie
standard fournie
automatiquement
par YAO



Structuration d'une application sous YAO

Les parties standards et spécifiques sont bien distingués et séparées ce qui facilite la compréhension et la maintenance.



- 1 Introduction
- 2 Notion de graphe modulaire
- 3 Architecture
- 4 Conclusion et perspective**

Quelques aspects de l'approche YAO

YAO est un logiciel qui réunit tous les aspect de l'assimilation de données variationelle en prennent en charge une grosse partie du travaille.

Plusieurs applications réalisés ont démontré l'efficacité de cette nouvelle méthode avec des gains en rapidité de développement.

YAO est conçu pour être facilement étendu. Et demain. . .

Aspects généraux :

- couplage spatiale ;
- obtenir l'adjoint total du modèle séparément.

Aspects informatique :

- envisager la translation d'une application déjà codé en graphes modulaires ;
- parallélisme ;
- interface graphique ;
- employer des outils Compilateur Compilateur pour le parsing des fichiers d'input.

Lectures complémentaires



Sylvie THIRIA, Fouad BADRAN, Charles SORROR.

YAO : Un logiciel pour les modèles numériques et l'assimilation variationnelle de donnée.

Rapport de recherche, 2006.



Sylvie THIRIA, Fouad BADRAN, Charles SORROR.

Documentation YAO version 8.



Eugenia Kalnay.

Atmospheric Modeling, Data Assimilation and Predictability.

Cambridge University Press, 2006.

YAO home page : <http://www.locean-ipsl.upmc.fr/~Inalod>
YAO groupe email : Inalod@locean-ipsl.upmc.fr

Questions

