

ACI Masses de Données
ASSIMAGE

Chamrousse 3 & 4 février 2005

Thème

*Combiner l'information apportée
par des images et l'information
apportée par des modèles
mathématiques.*

ASSimilation d'***IMAGE***s

Participants

- *INRIA Rocquencourt projet CLIME*
- *IRISA (Rennes)*
- *CEMAGREF (Montpellier et Rennes)*
- *INRIA Rhône-Alpes projet IDOPT*
- *Laboratoire des Ecoulements Géophysiques et Industriels (Grenoble)*
- *Laboratoire de Glaciologie et de Géophysique de l'Environnement (Grenoble)*
- *Collaboration ouvertes : MétéoFrance, Institut d'Océanographie de Sébastopol, Florida State University*

Bilan rapide

- *Réunions plénières : Paris, Grenoble.
Thèses : Mazauric, Lauvernet, Honnorat*
- *Post-doc : MA .*

Assimilation de Données

- *Un modèle numérique sans données n'est que de peu d'utilité.*
- *Des seules données ne suffisent pas pour établir une prévision fiable.*
- *Les modèles mathématiques contiennent des paramètres inaccessibles à la mesure (exemple :paramétrisation sous-maille)*
- *Pour beaucoup de phénomènes géophysiques la prévision requiert une condition initiale précise.*

Assimilation de Données

- *Formalisme général : comment combiner des sources d'information hétérogènes en vue de la reconstitution de l'état d'un système.*
- *Première utilisation en météorologie avec de très grand modèles numériques (environ 6 millions de variables), puis en océanographie et hydrologie.*
- *Problématique très générale intéressant de nombreux autres domaines.*
- *Actuellement deux techniques principales*
 - *Méthodes variationnelles fondées sur les techniques de contrôle optimal*

Assimilation d'Images

- *Les données utilisées en assimilation sont des données in situ et/ou des mesures à distance des variables du modèle.*
- *Les images apportent beaucoup d'information (exemple: météo) , mais cette information est utilisée plus de manière qualitative que quantitative.*
- *Comment utiliser cette information?*

Assimilation Variationnelle

Modèle

$$\frac{dX}{dt} = F(X, K)$$

$$X(0) = V$$

$$J(V, K) = \frac{1}{2} \int_0^T \|CX - X_{obs}\|^2 dt$$

Déterminer V et K minimisant J

Condition d'optimalité et algorithmes

Modèle adjoint

$$\begin{cases} \frac{dP}{dt} + \left[\frac{\partial F}{\partial X} \right]^t X^* = C^t (C \cdot X - X_{obs}), \\ P(T) = 0. \end{cases}$$

*Calcul des gradients qui sont ensuite insérés
dans un code d'optimisation*

$$\nabla_V J = -P(0)$$

$$\nabla_K J = - \left[\frac{\partial F}{\partial K} \right]^t P$$

Modèle
Espace des variables
d'Etat

Solution
unique

Observation
Espace des
observations

Contrôles
Espace des contrôle

Fonction Coût

Système
d'Optimalité
Modèle+Adjoint

Calcul du gradient
Algorithme
d'optimisation

Contrôles
Espace des contrôles

Modèle
Espace des variables
d'Etat

Images
Espace des
images

Solution
unique

Observation
Espace des
observations

Fonction Coût

Système
d'Optimalité
Modèle+Adjoint

Calcul du gradient
Algorithme
d'optimisation

Problèmes

- *Nature des images (statiques, dynamiques)*
- *Nature de l'espace des images : contours, observations lagrangiennes*
- *Définition de l'opérateur de projection de l'espace d'état vers l'espace image.*
- *Régularité de l'espace image (opérateur de régularisation dans la fonction coût.*

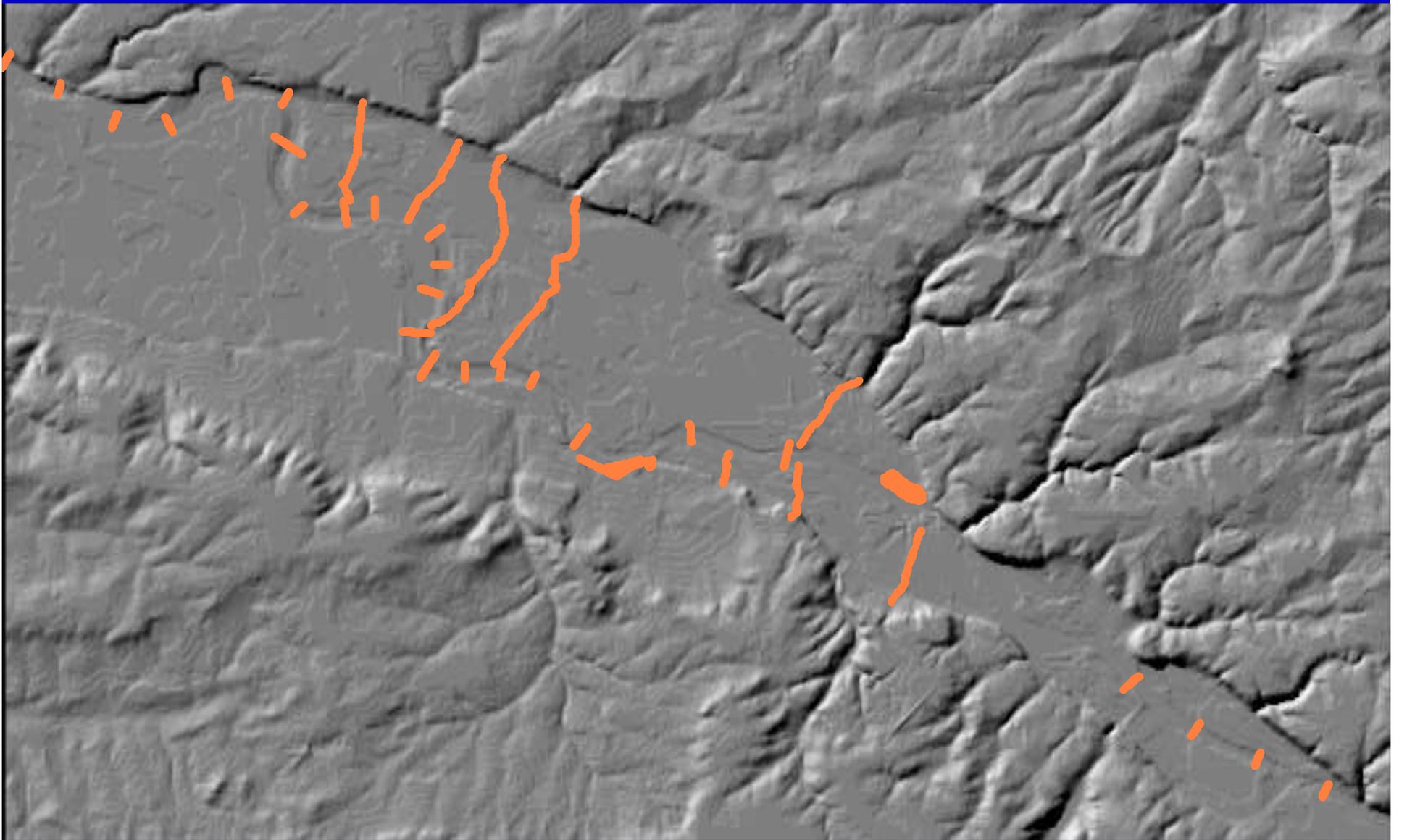
Une première application : prévision des crues

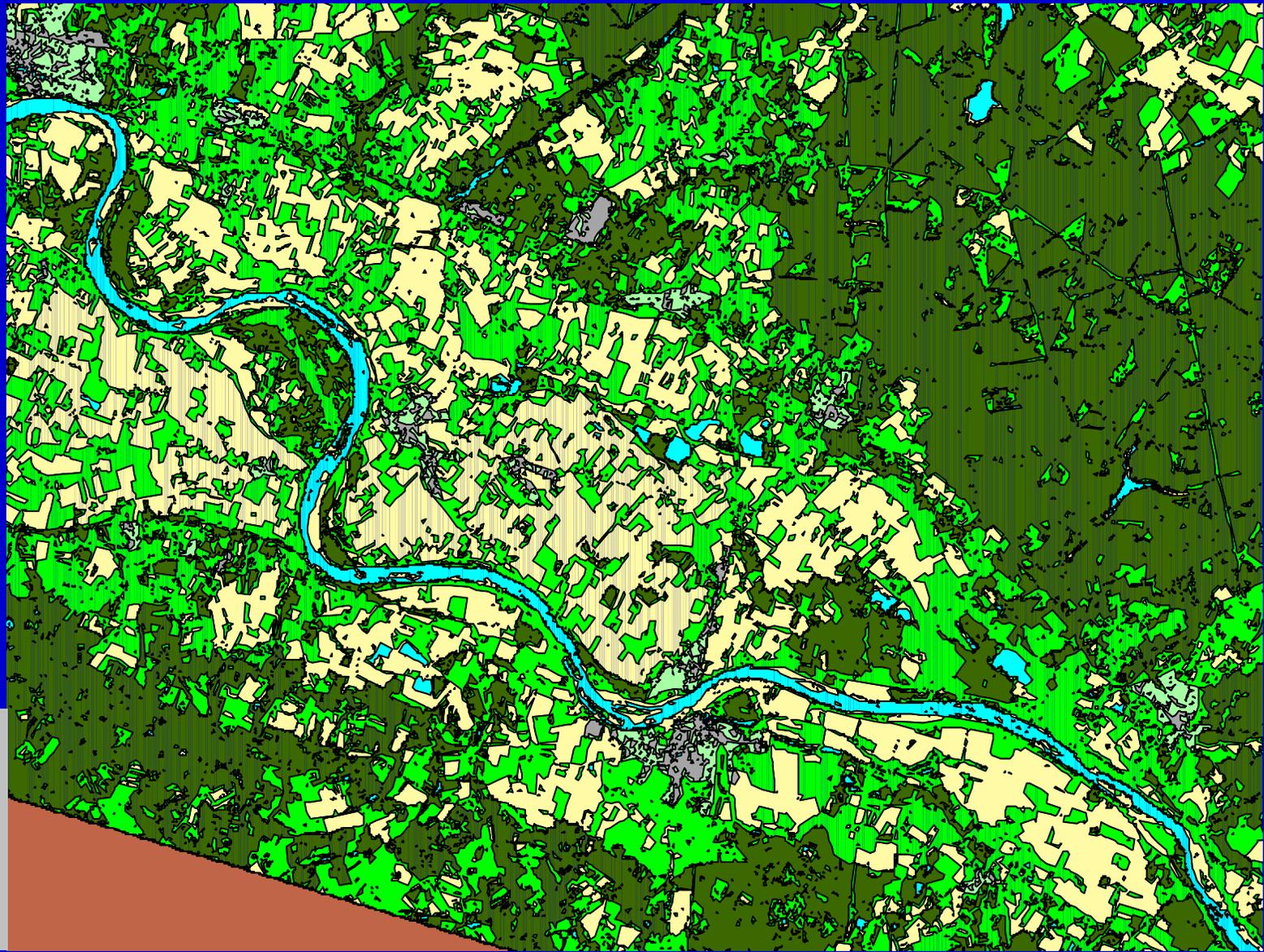
- *Modèles : équation de type Saint-Venant*
- *Difficultés : manque de données*
- *Images : occupation des sols et relief*
- *Reconstituer les paramètres du modèles à partir de l'écoulement.*
- *Thèse Cyril Mazauric*

Données

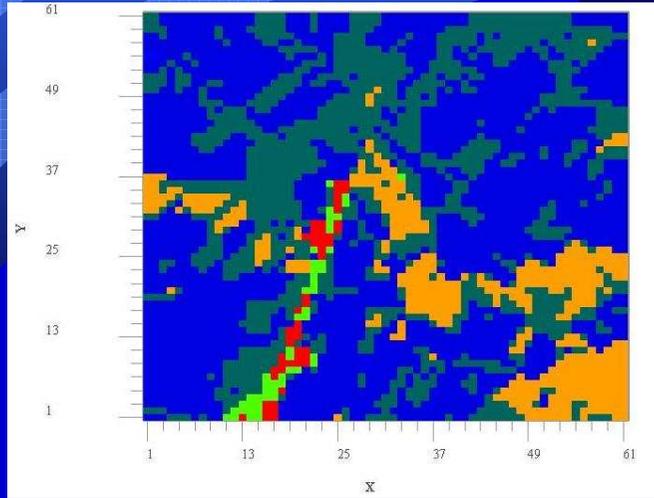
Données topographiques

- Topographie des lits majeurs et mineurs
- Modèle Numérique de terrain à partir de mesures aériennes
Résolution horizontale : 20 m
- Images SPOT de l'occupation des sols
Précision verticale: 0,20 m
Données issues de l'observation d'images (hauteur
De la végétation pour obtenir le niveau de la crue



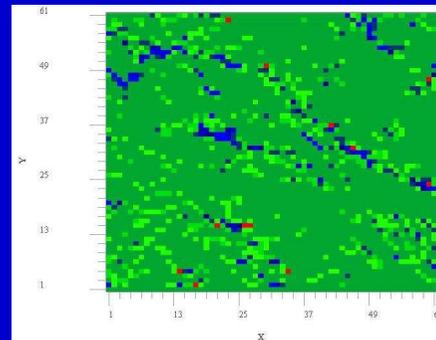
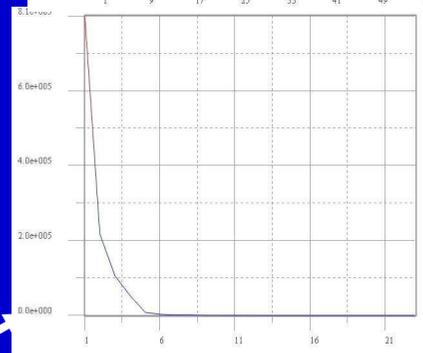
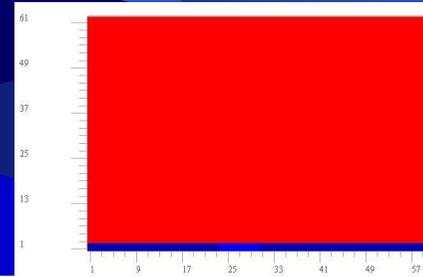


Evaluation de ruguosité



➤ Référence

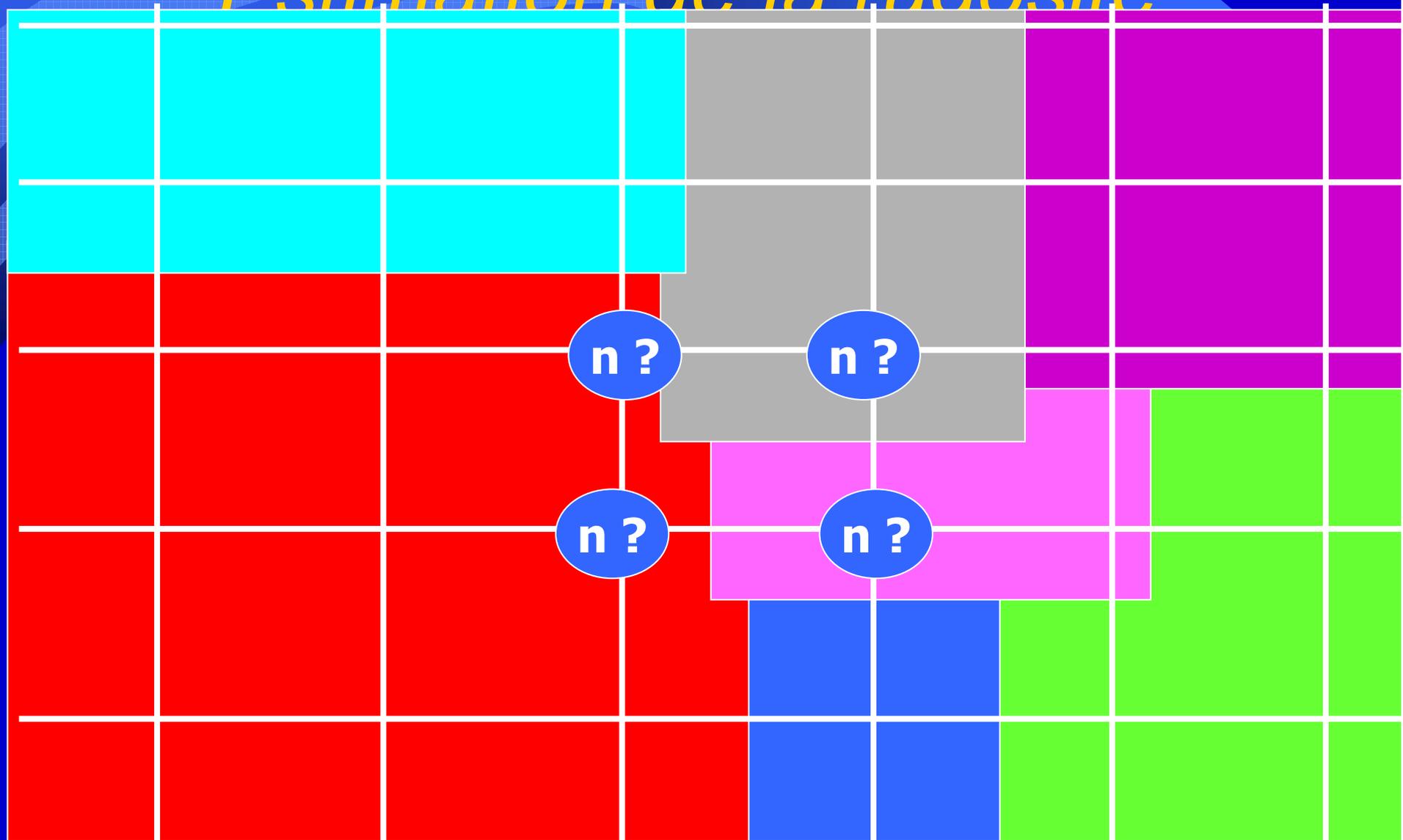
100



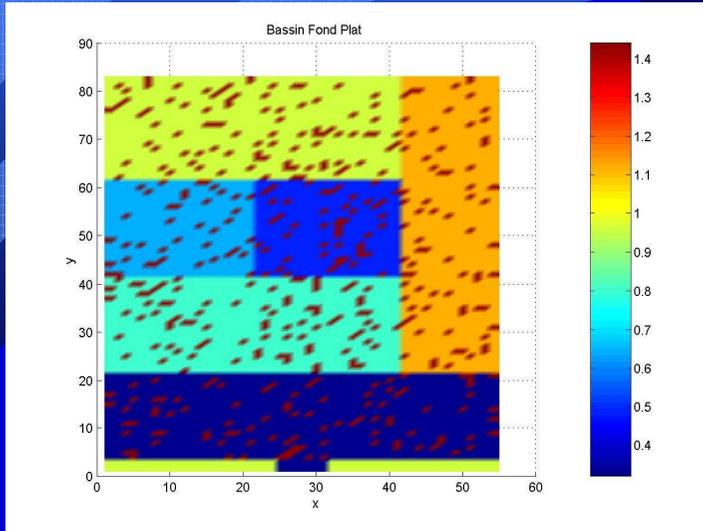
➤ Manning obtenu

$$J = \|U - U_{obs}\|^2 + \|V - V_{obs}\|^2 + \|Z - Z_{obs}\|^2$$

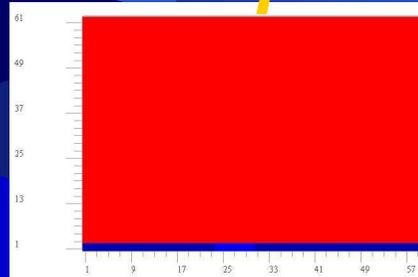
Estimation de la rugosité



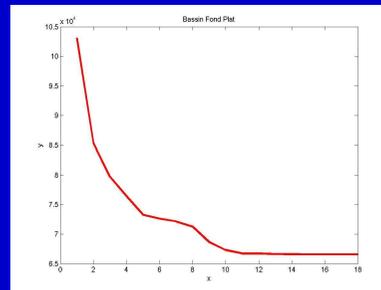
Exemple



➤ Reference (exact solution)

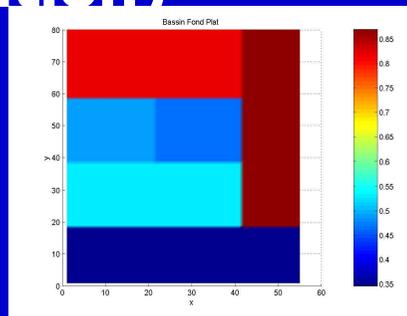


➤ Initial condition



➤ Evolution of the cost-function

$$J = \|U - U_{obs}\|^2 + \|V - V_{obs}\|^2 + \|Z - Z_{obs}\|^2$$

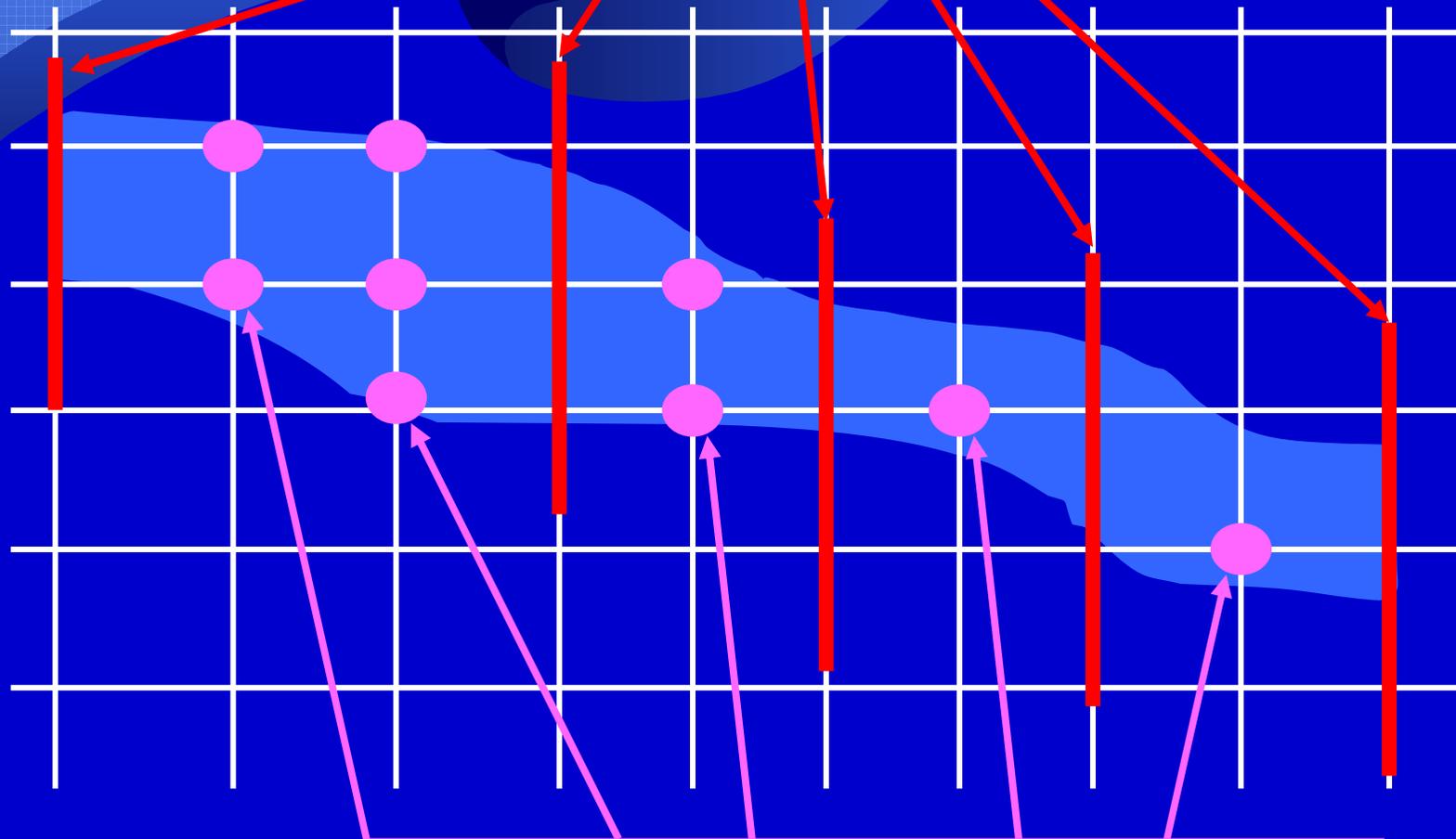


➤ Value of the Manning coefficient

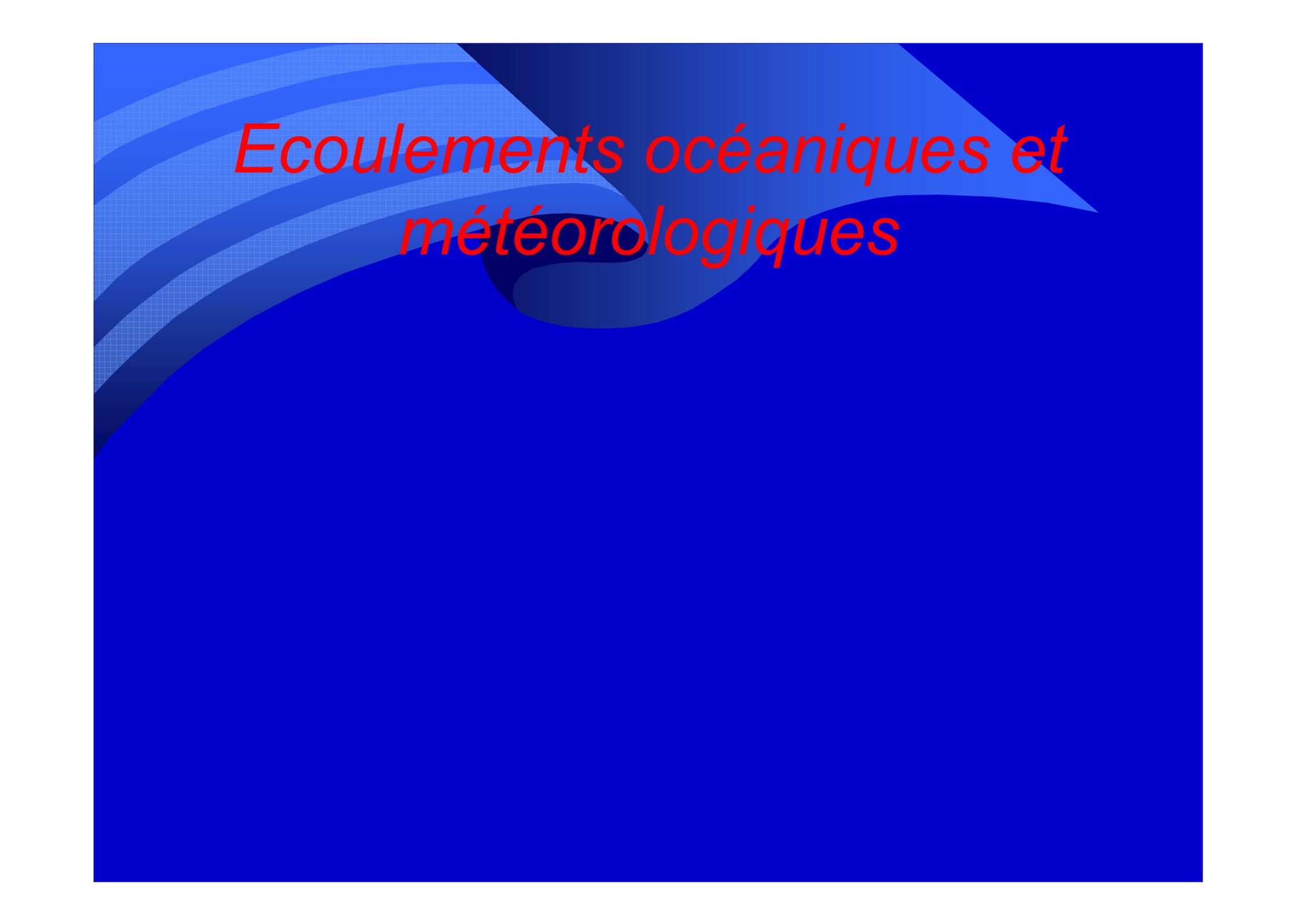
Estimation d'une topographie équivalente



Estimation d'une topographie équivalente



Côte entre les sections mesurées

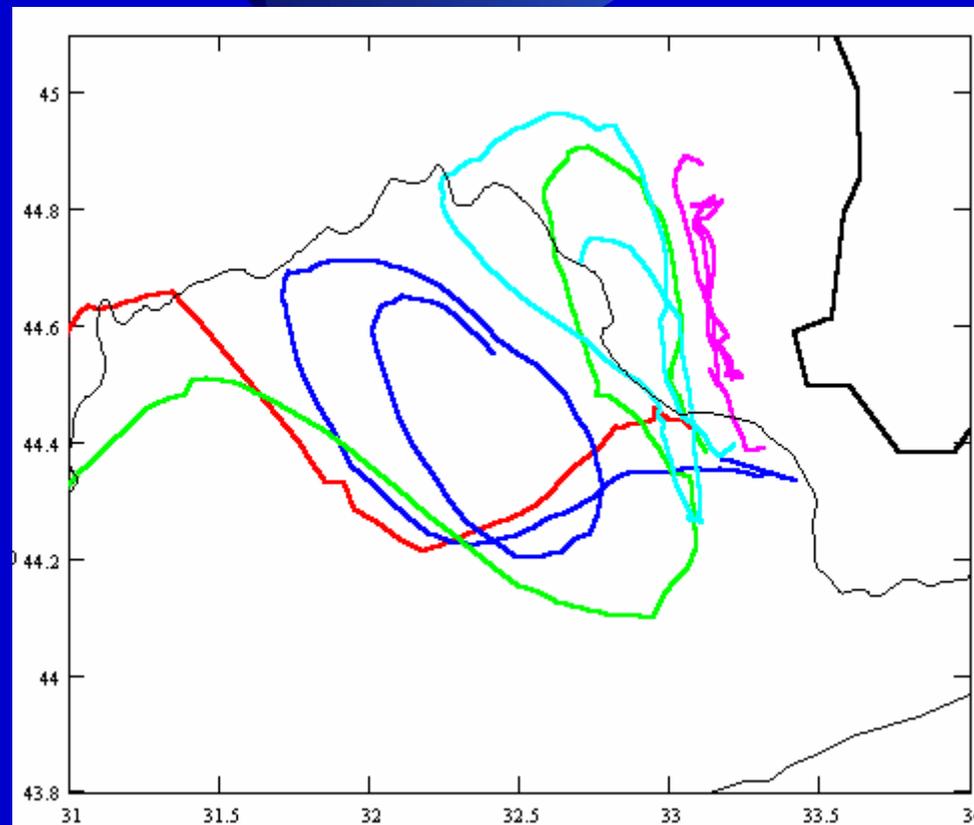
The background is a solid dark blue. On the left side, there are several overlapping, wavy bands of lighter blue. The top-left band has a fine white grid pattern. The text is centered in the upper half of the image.

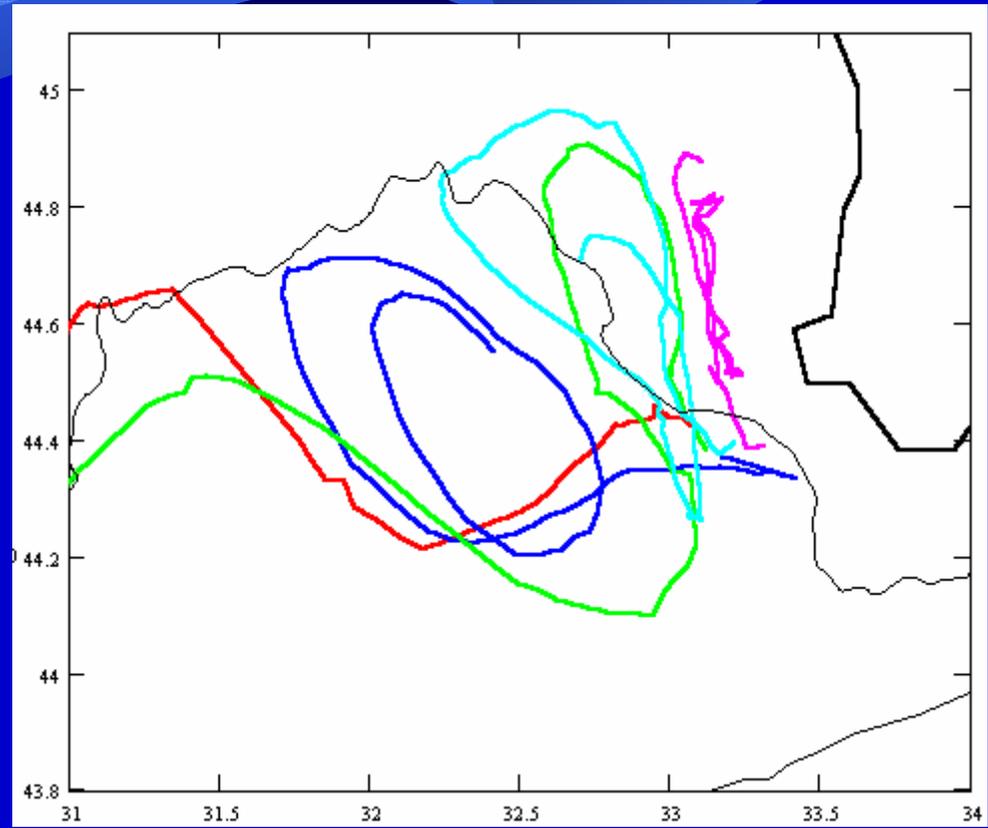
Écoulements océaniques et météorologiques

Assimilation pour des écoulements géophysiques

- *Données dynamiques*
- *Données Lagrangiennes*
 - *Grand nombres de particules indifférentiées*
 - *Particules identifiables*
- *Identification de structures dans les images et reconstitution*

Données Lagrangiennes





Assimilation Variationnelles de Données Lagrangiennes

Le modèle et les particules sont considérés
comme un système global

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dU}{dt} = F(U) \\ \frac{dX}{dt} = G(X, U) \\ U(0) = V \\ X(0) = Y \end{array} \right.$$

U, X : variables eulériennes et lagrangiennes.

Fonction coût (simplifiée)

$$J(V, Y) = \frac{1}{2} \left[\|CU - U_{obs}\|^2 + \|DU - U_{obs}\|^2 \right]$$

Modèle Adjoint

$$\frac{dW}{dt} + \left[\frac{\partial F}{\partial U} \right]^t .W + \frac{dW}{dt} + \left[\frac{\partial G}{\partial U} \right]^t P = C^t (CU - U_{obs})$$

$$\frac{dP}{dt} + \left[\frac{\partial G}{\partial X} \right]^t .P = D^t (DX - X_{obs})$$

$$W(T) = 0$$

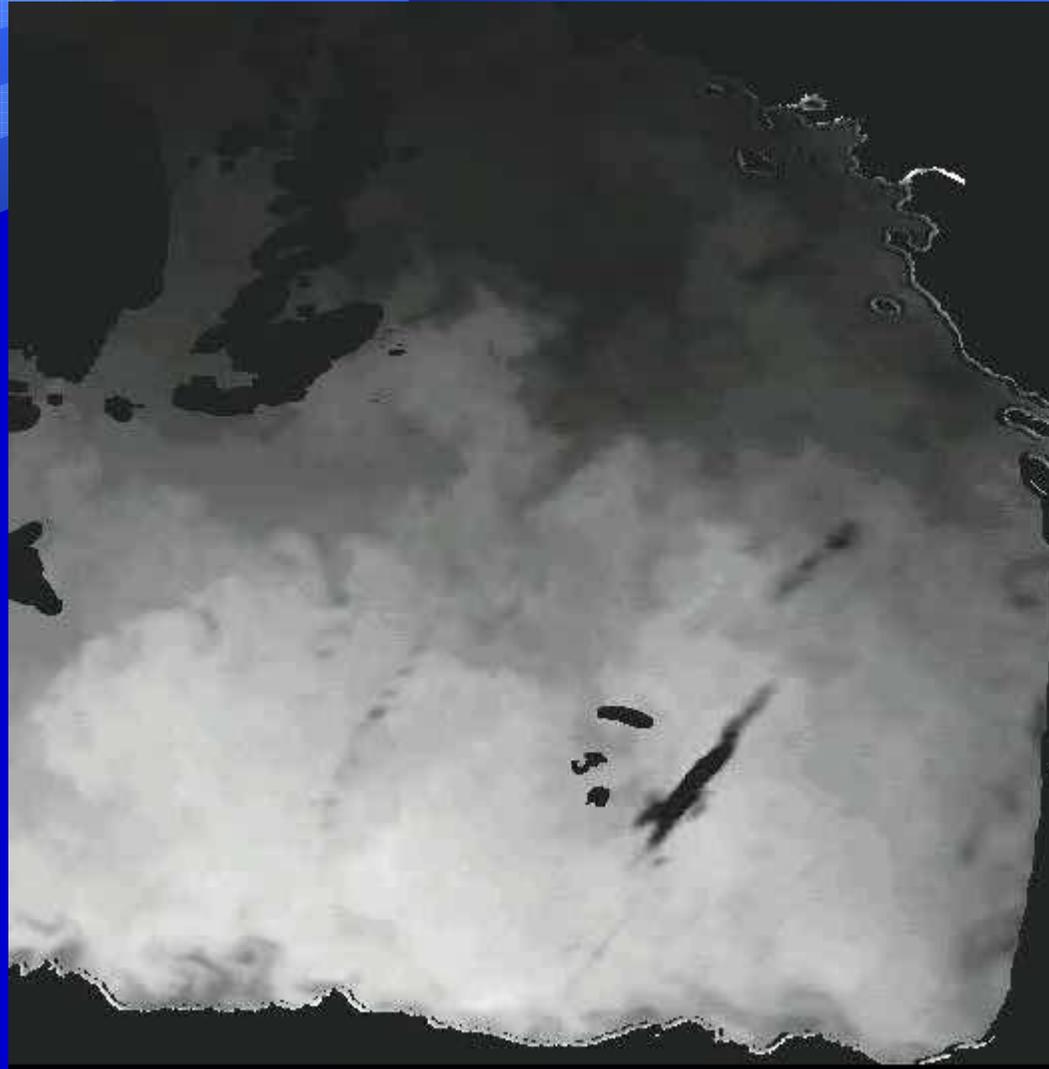
$$P(T) = 0$$

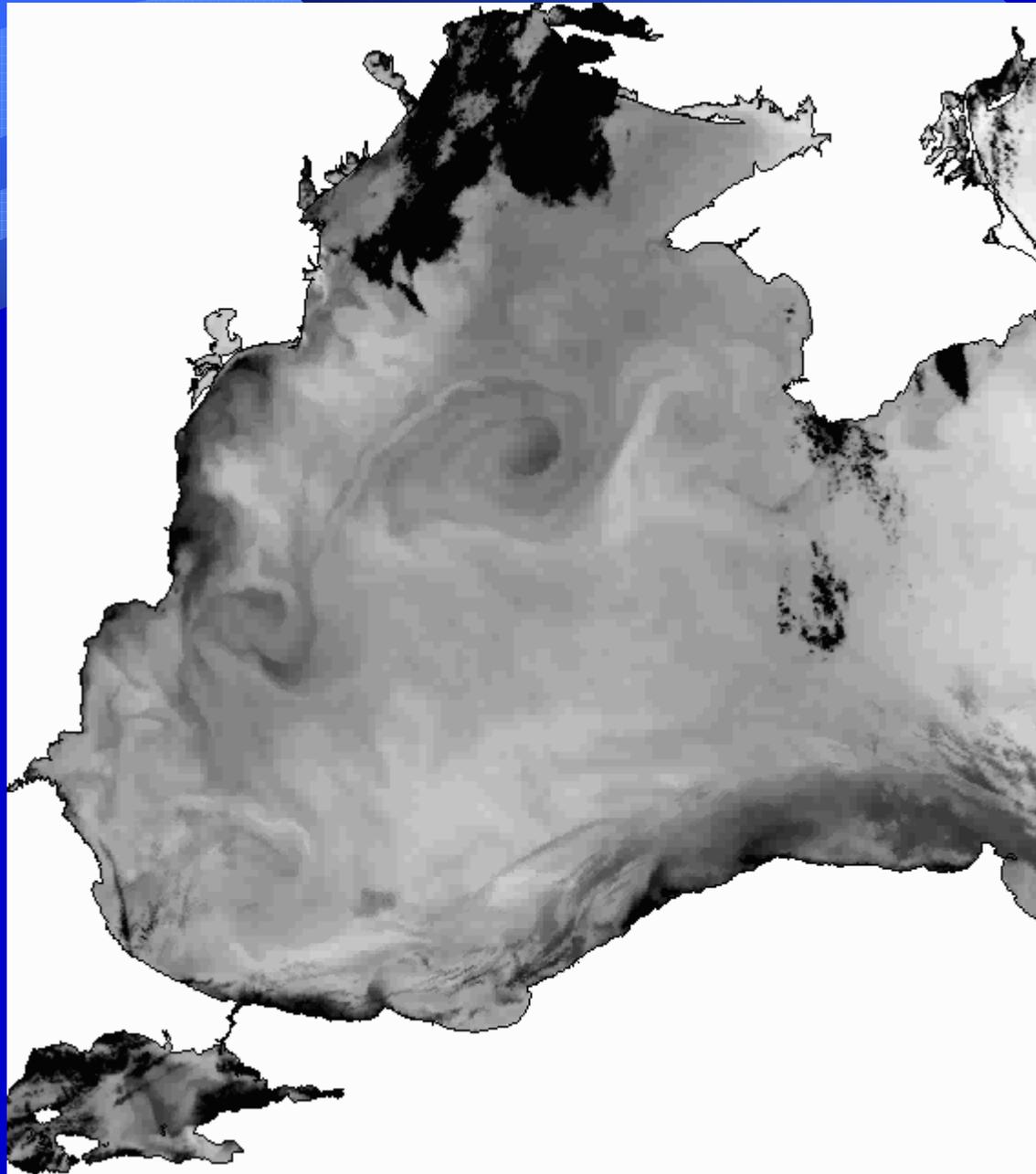
Gradients

$$\nabla J = \begin{pmatrix} \nabla_V J \\ \nabla_Y J \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -W(0) \\ -P(0) \end{pmatrix}$$

Images Dynamiques

- *Les images montrent des formes et leur évolution.*
- *Repérer et identifier les formes sur l'image*
- *Repérer et identifier les formes à partir des variables d'état du modèle*
- *Calcul du maximum du gradient pour une variable scalaire (température, salinité)*
- *Comparaison image-modèle et minimisation*
- *Choix de la variable de contrôle.*





Océanographie

- *Assimilation de données lagrangiennes :*
 - *Trajectoires de traceurs : bouées, balises Argos, etc.*
- *Deux approches images pour obtenir des trajectoires :*
 - *Trajectoires de points caractéristiques obtenus par identification et suivi de structures déformables.*
 - *Intégration d'un champ de mouvement.*

Identification et suivi de structures déformables

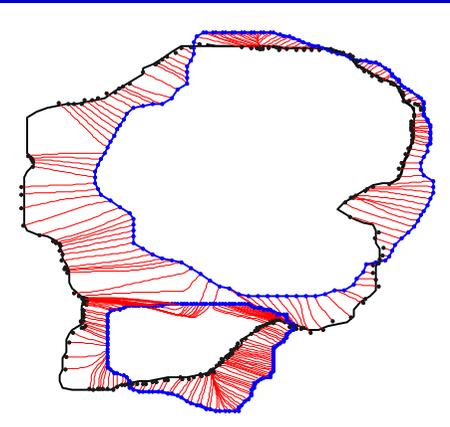
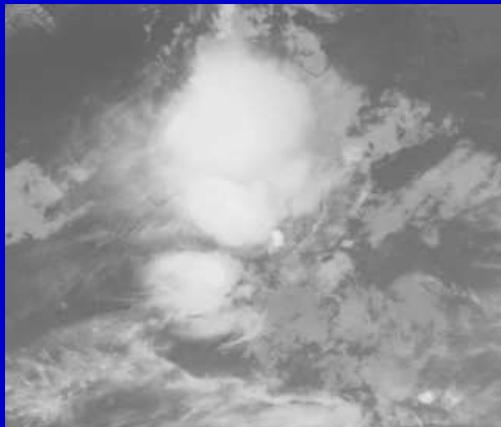
- *Identifier des traceurs de mouvement*

Quel type de traceur utiliser en océanographie ?

- *Les suivre au cours du temps ?*

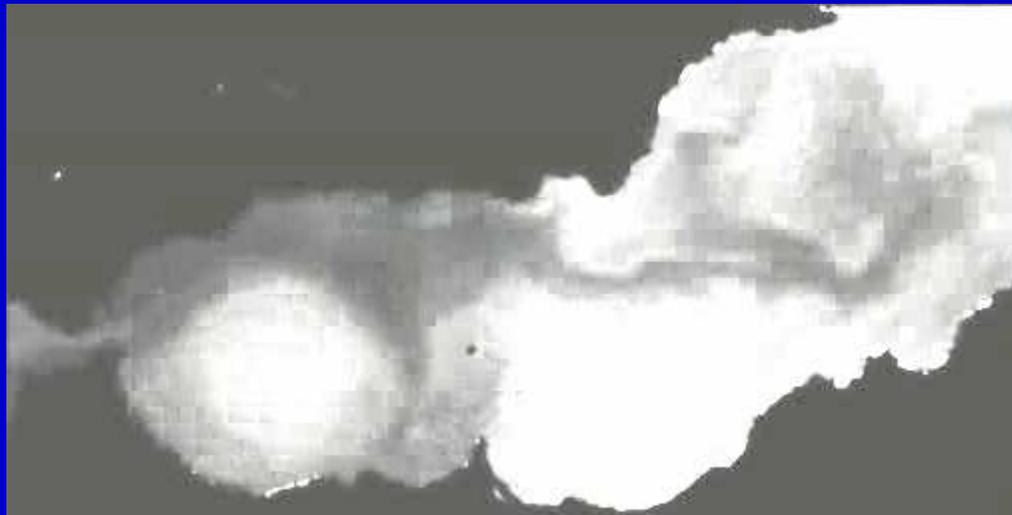
Quel type de déformation peuvent subir ces structures océanographiques ?

Exemple : suivi de structures météorologiques :

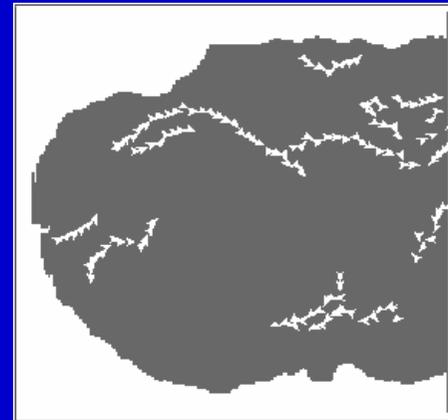
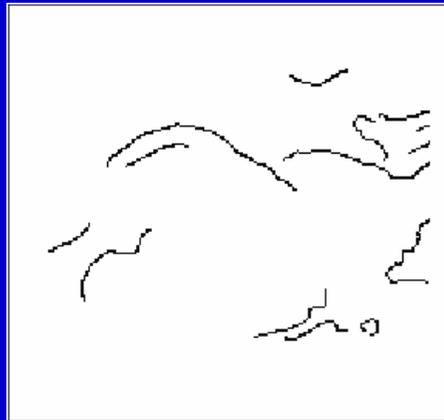
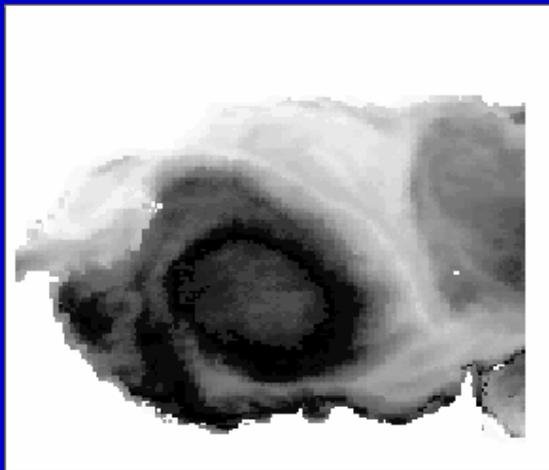


Identification et suivi de structures déformables

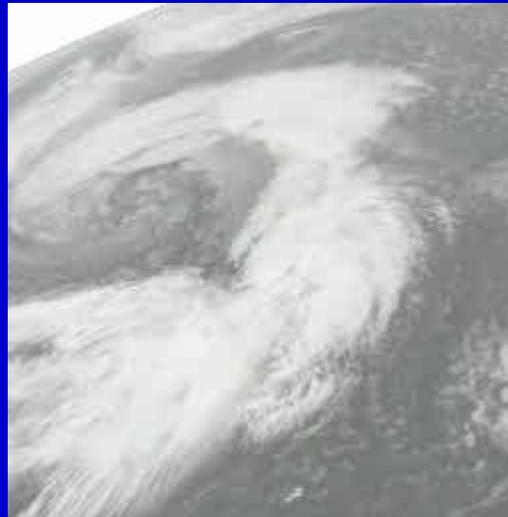
- *La forme d'une structure peut renseigner sur le mouvement :*
 - *On cherche un champ de mouvement orthogonal au gradient de l'image et de propriétés spatiales (div et curl) données.*



Extraction des structures



Appication en météorologie



Séquence Méteosat

Orientations

- *Quelles images ?*
- *Comment définir un espace image avec de « bonnes propriétés »?*

Reproduire fidèlement la dynamique des fluides

Pas trop gourmande en mémoire

Bonnes propriétés mathématiques (différentiabilité,..)

Accessible du pont de vue calcul.

Identification par contours.

- *Comment les identifier et les suivre dans les images ? (curvlets ?) voir exposé Anestis*
- *Comment les identifier dans les résultats des modèles numériques ?*
 - *Maximum de gradient ?*
 - *Traceurs lagrangiens ?*

**DE NOUVEAUX MODELES SONT-ILS
NECESSAIRES POUR ASSIMILER DES
IMAGES??**

*(faire intervenir les « caractéristiques » des images
comme variables d'état ?)*