

Approche  
évolutive,  
problèmes  
inverses

L. Dumas,  
23/06/2010

Deux exemples

Approche  
évolutive

Un modèle  
artériel optimal

Un code barre  
flou décodé

Conclusions,  
perspectives

# Approche évolutive pour la résolution de problèmes inverses en ingénierie et médecine

Laurent Dumas

Laboratoire Jacques-Louis Lions, UPMC et équipe REO, INRIA

23/06/2010, groupe de travail Ingénierie Mathématique, CNAM

- 1 Deux exemples de problèmes inverses
- 2 Approche évolutive
- 3 Un modèle artériel optimal
- 4 Un code barre flou décodé
- 5 Conclusions, perspectives

## 1 Deux exemples de problèmes inverses

## 2 Approche évolutionnaire

## 3 Un modèle artériel optimal

## 4 Un code barre flou décodé

## 5 Conclusions, perspectives

# Problème 1 : modèle d'écoulements sanguins

Approche  
évolutive,  
problèmes  
inverses

L. Dumas,  
23/06/2010

Deux exemples

Approche  
évolutive

Un modèle  
artériel optimal

Un code barre  
flou décodé

Conclusions,  
perspectives

- La simulation numérique des écoulements sanguins dans l'arbre artériel est un problème général complexe car elle nécessite des simulations tridimensionnelles avec interaction fluide-structure.
- Afin de réduire les coûts de telles simulations, des modèles 1D d'interaction fluide structure avec bifurcation d'artères ont été développés.
- Un des objectifs est ici de montrer qu'il est possible d'ajuster les paramètres de ces modèles 1D en utilisant des mesures non invasives.

# Problème 1 : modèle d'écoulements sanguins

Approche  
évolutive,  
problèmes  
inverses

L. Dumas,  
23/06/2010

Deux exemples

Approche  
évolutive

Un modèle  
artériel optimal

Un code barre  
flou décodé

Conclusions,  
perspectives

- La simulation numérique des écoulements sanguins dans l'arbre artériel est un problème général complexe car elle nécessite des simulations tridimensionnelles avec interaction fluide-structure.
- Afin de réduire les coûts de telles simulations, des modèles 1D d'interaction fluide structure avec bifurcation d'artères ont été développés.
- Un des objectifs est ici de montrer qu'il est possible d'ajuster les paramètres de ces modèles 1D en utilisant des mesures non invasives.

# Problème 1 : modèle d'écoulements sanguins

Approche  
évolutive,  
problèmes  
inverses

L. Dumas,  
23/06/2010

Deux exemples

Approche  
évolutive

Un modèle  
artériel optimal

Un code barre  
flou décodé

Conclusions,  
perspectives

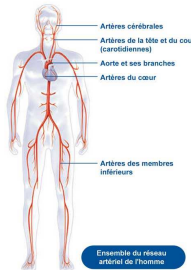
- Le cas d'une artère ayant un saut de rigidité sur une de ses portions est en particulier étudié.



- Le but ultime de cette étude est de reconstruire à l'aide de mesures non invasives toutes les variables hémodynamiques ( $p$ ,  $v$ , etc...) d'un patient donné pour l'ensemble de son réseau artériel.

# Problème 1 : modèle d'écoulements sanguins

- Le processus expérimental est déjà disponible et s'appelle l'echotracking.



- Il mesure à l'aide de techniques Doppler les sections artérielles  $A$  et le flux volumique  $Q$  à diverses positions du réseau artériel (*données gracieusement fournies par une équipe de l'Hopital Georges Pompidou*)

Approche  
évolutive,  
problèmes  
inverses

L. Dumas,  
23/06/2010

Deux exemples

Approche  
évolutive

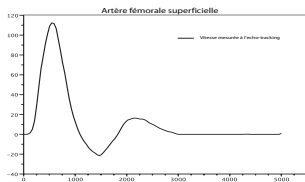
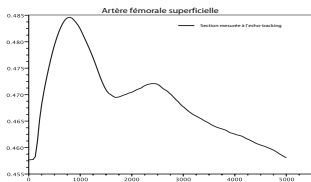
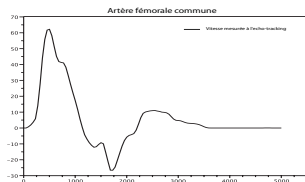
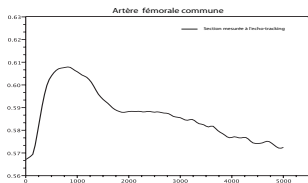
Un modèle  
artériel optimal

Un code barre  
flou décodé

Conclusions,  
perspectives

# Problème 1 : modèle d'écoulements sanguins

- Les figures ci-dessous donnent un exemple de mesures obtenues par echotracking de la section et de la vitesse centrale dans l'artère fémorale commune et l'artère fémorale superficielle :







# Le modèle 1D fluide-structure : les equations

Approche  
évolutive,  
problèmes  
inverses

L. Dumas,  
23/06/2010

Deux exemples

Approche  
évolutive

Un modèle  
artériel optimal

Un code barre  
flou décodé

Conclusions,  
perspectives

- En écrivant les équations de conservation de masse et de moment pour les quantités  $A(t, z)$  et  $Q(t, z)$ , on aboutit au système suivant d'équations couplées :

$$\begin{cases} \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial z} = 0 \\ \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{Q^2}{A} \right) + \frac{A}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + K_r \frac{Q}{A} = 0 \end{cases}$$

- Pour clore le système, une loi empirique sur la pression est imposée :

$$P(t, z) - P_{ext} = \beta(A^{\frac{1}{2}} - A_0^{\frac{1}{2}})$$

# Le modèle 1D fluide-structure : les paramètres

Approche  
évolutive,  
problèmes  
inverses

L. Dumas,  
23/06/2010

Deux exemples

Approche  
évolutive

Un modèle  
artériel optimal

Un code barre  
flou décodé

Conclusions,  
perspectives

- Le paramètre  $K_r$  représente la résistance visqueuse de l'écoulement par unité de longueur du tube et est fixé ici égal à 0.75.
- Le principal paramètre devant être estimé est le coefficient  $\beta$ . Cette valeur, proportionnelle à la rigidité de l'artère peut être constante ou dépendre de  $z$ . Il existe une valeur théorique de  $\beta$  issu d'une moyennisation formelle :

$$\beta(z) = \frac{4\sqrt{\pi}h_0E(z)}{3A_0}$$

où  $h_0$  et  $E(z)$  représentent respectivement l'épaisseur et le module de Young de l'artère.

- Un autre paramètre important du modèle est la section de l'artère au repos  $z \rightarrow A_0(z)$ .

# Le modèle 1D fluide-structure : forme conservative

- Le modèle 1D peut être récrit sous forme conservative :

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial F(U)}{\partial z} = B(U)$$

où  $U = (A, Q)^t$  et  $F(U) = \begin{pmatrix} Q \\ \frac{Q^2}{A} + \frac{\beta}{3\rho} A^{\frac{3}{2}} \end{pmatrix}$ .

- Il peut être observé que ce système est hyperbolique et que le Jacobien  $H = \frac{\partial F}{\partial U}$  admet toujours deux valeurs propres réelles de signe opposé pour les valeurs admissibles de  $U$  :  $\lambda_i = \frac{Q}{A} \pm c$  où

$$c = \sqrt{\frac{A}{\rho} \frac{\partial p}{\partial A}}$$

# Le modèle 1D : conditions aux limites

Approche  
évolutive,  
problèmes  
inverses

L. Dumas,  
23/06/2010

Deux exemples

Approche  
évolutive

Un modèle  
artériel optimal

Un code barre  
flou décodé

Conclusions,  
perspectives

- Comme  $\lambda_1 > 0$  et  $\lambda_2 < 0$ , le système est complété par deux conditions aux limites appropriées pour les variables caractéristiques  $W_1$  et  $W_2$ .
- En particulier, une pression peut être imposée en entrée.
- Dans le cas d'une bifurcation d'artères, trois conditions additionnelles sont imposées (conservation de la masse et deux conditions sur la pression).

# Problème inverse : la fonction coût

- En vue de la construction d'un réseau artériel utilisant les résultats d'un echotracking, la fonction coût à minimiser est la suivante :

$$J(\beta, A_0) = \sum_{pts \in \{P_1, \dots, P_N\}} \sum_{i=1}^M (errA(t_i, pts) + errQ(t_i, pts))$$

avec

$$\begin{cases} errA(t_i, pts) = |A(t_i, pts) - A_{exp}(t_i, pts)|^2 \\ errQ(t_i, pts) = |Q(t_i, pts) - Q_{exp}(t_i, pts)|^2 \end{cases}$$

- Les nombres minimaux  $N$  de points en espace et  $M$  de points en temps, permettant de reconstruire correctement les fonctions  $A_0$  et  $\beta$  doivent en particulier être déterminés.

# Problème inverse associé : méthode déterministe

Approche  
évolutive,  
problèmes  
inverses

L. Dumas,  
23/06/2010

Deux exemples

Approche  
évolutive

Un modèle  
artériel optimal

Un code barre  
flou décodé

Conclusions,  
perspectives

- Une première tentative pour résoudre le problème inverse est due à J.F. Gerbeau *et al* (*ESAIM Proc.*, 2005) dans le cas d'une artère à rigidité constante.
- Le problème dual du modèle 1D est construit et résolu afin de calculer le gradient de la fonctionnelle par rapport à  $\beta$ .
- Les résultats obtenus montrent qu'il est possible de reconstruire correctement le paramètre  $\beta$  à partir de 3 profils de  $A$  et  $Q$ .

## Problème 2 : décodage d'un code barre flou

Approche  
évolutionnaire,  
problèmes  
inverses

L. Dumas,  
23/06/2010

Deux exemples

Approche  
évolutionnaire

Un modèle  
artériel optimal

Un code barre  
flou décodé

Conclusions,  
perspectives

- Le problème de la restauration d'une image floue et bruitée est étudié ici dans le cas d'une image représentant un code barre, pris par exemple à l'aide d'un téléphone portable :



- A partir d'une telle image, l'objectif est de retrouver le code barre initial et de décoder celui-ci.
- Outre le flou de défocalisation et le bruit éventuel, une illumination variable peut également dégrader la qualité de l'image.



# Problème 2 : décodage d'un code barre flou

Approche  
évolutive, problèmes  
inverses

L. Dumas,  
23/06/2010

Deux exemples

Approche  
évolutive

Un modèle  
artériel optimal

Un code barre  
flou décodé

Conclusions,  
perspectives

- Le décodage d'un code barre est basé sur la traduction précise des différentes largeurs de barres.



- Par exemple, dans la famille des codes barre EAN13, l'alphabet décrit ci-dessous est utilisé :

	élément A	élément B	élément C		élément A	élément B	élément C
0	[ _XX_X ]	[ _X_XXX ]	[ XXXX_X ]				
1	[ _XX_X ]	[ _XX_XXX ]	[ XXX_XX ]				
2	[ _X_XX ]	[ _XX_XXX ]	[ XXX_XX ]				
3	[ _XXXX_X ]	[ _X_XX ]	[ X_XX ]				
4	[ _X_XX ]	[ _XXXX_X ]	[ X_XXXX ]	soit, graphiquement			
5	[ _XX_X ]	[ _XXXX_X ]	[ X_XXXX ]				
6	[ _X_XXXX ]	[ _X_XX ]	[ X_XX ]				
7	[ _XXXX_XX ]	[ _X_XX ]	[ X_XX ]				
8	[ _XX_XXXX ]	[ _X_XX ]	[ X_XX ]				
9	[ _X_XXX ]	[ _X_XXXX ]	[ XXXX_X ]				

- Une petite erreur sur le calcul de la largeur d'une barre peut conduire à un décodage erroné.

## Problème 2 : décodage d'un code barre flou

Approche  
évolutive,  
problèmes  
inverses

L. Dumas,  
23/06/2010

Deux exemples

Approche  
évolutive

Un modèle  
artériel optimal

Un code barre  
flou décodé

Conclusions,  
perspectives

- Le modèle complet de flou de défocalisation, de bruit et d'illumination variable, consiste en la transformation du signal initial  $u \in L^2(\Omega)$  en un signal :

$$u_0 = I(Ku) + n$$

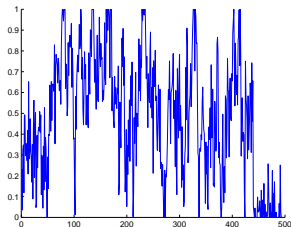
où l'opérateur de flou  $K$  prend la forme d'une convolution par un noyau de flou, ici égal à

$$k(x) = \frac{1}{2r} \mathbf{1}_{|x| < r}$$

- L'illumination variable consiste à multiplier  $Ku$  par une fonction  $I$  à valeurs dans  $[0, 1]$ .

## Problème 2 : problème inverse associé

- Le problème inverse associé consiste à retrouver le code barre exact à partir d'un observable  $u_0 \in L^2(\Omega)$  comme celui présenté ci-dessous :



- Avec la modélisation précédente, on cherche donc  $(r^*, l^*, u^*)$  minimisant

$$E(r, l, u) = \int_{\Omega} |l(Ku) - u_0|^2 dx$$

# Problème inverse associé : méthode déterministe

Approche  
évolutive,  
problèmes  
inverses

L. Dumas,  
23/06/2010

Deux exemples

Approche  
évolutive

Un modèle  
artériel optimal

Un code barre  
flou décodé

Conclusions,  
perspectives

- Dans l'approche déterministe par méthode de gradient du problème inverse, il est nécessaire de rajouter un terme à la fonction coût dit de variation totale du type  $\int_{\Omega} |\nabla u(x)| dx$  afin de rendre le problème bien posé (Erdoglu, *Inverse problems*, 2003).
- Dans le cas de la recherche d'un code barre, un terme de pénalisation vis à vis de la forme de la solution de type '2 tons' ( $u(x) = 0$  ou  $1$ ) est également nécessaire.
- Par cette méthode, il s'avère alors possible de décoder des images floues, mais avec un faible bruit et sans illumination variable.

1 Deux exemples de problèmes inverses

2 Approche évolutionnaire

3 Un modèle artériel optimal

4 Un code barre flou décodé

5 Conclusions, perspectives

# Algorithmes évolutionnaires

Approche  
évolutionnaire,  
problèmes  
inverses

L. Dumas,  
23/06/2010

Deux exemples

Approche  
évolutionnaire

Un modèle  
artériel optimal

Un code barre  
flou décodé

Conclusions,  
perspectives

- Les algorithmes évolutionnaires (algorithmes génétiques, stratégies d'évolution, PSO, etc...) sont des méthodes stochastiques d'optimisation globale robustes vis à vis des erreurs numériques provenant par exemple d'un bruit expérimental.
- Ils tirent leur nom d'une analogie avec la théorie de l'évolution des espèces de Darwin.
- Ils possèdent les deux avantages principaux de ne pas nécessiter de calcul de gradient et d'être facilement parallélisables.

# Principe général d'un algorithme génétique

Approche  
évolutive,  
problèmes  
inverses

L. Dumas,  
23/06/2010

Deux exemples

Approche  
évolutive

Un modèle  
artériel optimal

Un code barre  
flou décodé

Conclusions,  
perspectives

- Choix d'une population initiale  $P_1 = \{x_i^1 \in \mathcal{O}, 1 \leq i \leq N_p\}$
- for  $n_g$  from 1 to  $N_{gen}$
- **Evaluation** de  $\{J(x_i^{n_g}), 1 \leq i \leq N_p\}$ .
- for  $k$  from 1 to  $\frac{N_p}{2}$ 
  - **Selection** de  $(x_\alpha^{n_g}, x_\beta^{n_g})$  par un processus de roulette.
  - **Croisement** : remplacer  $(x_\alpha^{n_g}, x_\beta^{n_g})$  par  $(y_\alpha^{n_g}, y_\beta^{n_g})$ .
  - **Mutation** : remplacer  $(y_\alpha^{n_g}, y_\beta^{n_g})$  par  $(z_\alpha^{n_g}, z_\beta^{n_g})$ .
- end for
- Generation de la nouvelle population  $P_{n_g}$ .
- end for

# Modèles approchés

Approche  
évolutive,  
problèmes  
inverses

L. Dumas,  
23/06/2010

Deux exemples

Approche  
évolutive

Un modèle  
artériel optimal

Un code barre  
flou décodé

Conclusions,  
perspectives

- Pour rendre plus performants les algorithmes évolutionnaires, l'incorporation d'un modèle approché, affiné au cours des itérations, permet d'améliorer grandement leur efficacité ('surrogate models').
- Le modèle choisi ici est construit à partir d'une base de fonctions radiales (modèle RBF).
- L'approximation de la fonction coût en un point  $x \in \mathbb{R}^n$  s'écrit alors :

$$y = \sum_{i=1}^N w_i y_i = \sum_{i=1}^N w_i h(\|x - X_i\|)$$

où  $h$  désigne une fonction radiale  $r \mapsto h(r)$  et  $X_i$  est un point où la fonction coût est connue, appelé point d'exemple.



# Modèles approchés

Approche  
évolutive,  
problèmes  
inverses

L. Dumas,  
23/06/2010

Deux exemples

Approche  
évolutive

Un modèle  
artériel optimal

Un code barre  
flou décodé

Conclusions,  
perspectives

- Les poids  $w_i$  sont calculés par l'équation matricielle suivante traduisant l'exactitude du réseau sur les points d'exemple :

$$Aw = z$$

- La matrice  $A \in \mathcal{M}_N(\mathbb{R})$ , appelée matrice de distance a pour terme général  $a_{i,j} = h(\|X_i - X_j\|)$  et le second membre a pour terme général  $z_i = J(X_i)$  où  $J$  désigne la fonction exacte qu'on cherche à approcher.
- Pour des fonctions  $h$  bien choisies, on peut montrer que la matrice  $A$  est toujours inversible.

# Modèles approchés

Approche  
évolutive,  
problèmes  
inverses

L. Dumas,  
23/06/2010

Deux exemples

Approche  
évolutive

Un modèle  
artériel optimal

Un code barre  
flou décodé

Conclusions,  
perspectives

- Dans le cas où le nombre  $N$  est strictement inférieur au nombre de points d'exemples connus, soit  $N < m$ , deux choix sont possibles.
- Soit le système linéaire est remplacé par un problème aux moindres carrés :

$$(w_i)_{1 \leq i \leq N} = \operatorname{argmin}(w \mapsto \|Aw - z\|)$$

où  $A \in \mathcal{M}_{m,N}(\mathbb{R})$ .

- Soit le nombre de points d'exemples est réduit à  $N$  en prenant dans ce cas seulement les plus proches points de l'entrée  $(x_1, \dots, x_n)$ . Dans ce cas, le réseau construit devient local.

# Un algorithme évolutionnaire avec modèle approché

Approche  
évolutionnaire,  
problèmes  
inverses

L. Dumas,  
23/06/2010

Deux exemples

Approche  
évolutionnaire

Un modèle  
artériel optimal

Un code barre  
flou décodé

Conclusions,  
perspectives

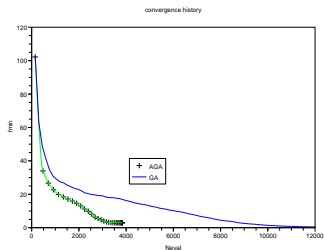
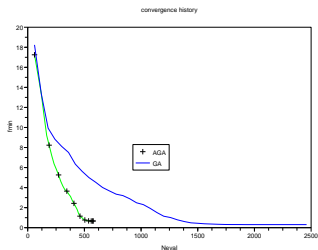
- Un algorithme évolutionnaire avec un modèle approché de type RBF a été développé.
- Le modèle approché est en particulier amélioré au cours des itérations avec un nombre réduit et bien choisi de nouvelles évaluations exactes (algorithme AGA).

# Un algorithme évolutionnaire avec modèle approché

- Exemple sur la fonction de Rastrigin :

$$Rast(x_1, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n (x_i^2 - \cos(2\pi x_i)) + n$$

- Gain de convergence observé :



- 1 Deux exemples de problèmes inverses
- 2 Approche évolutionnaire
- 3 Un modèle artériel optimal
- 4 Un code barre flou décodé
- 5 Conclusions, perspectives

# Résolution du problème direct

Approche  
évolutive,  
problèmes  
inverses

L. Dumas,  
23/06/2010

Deux exemples

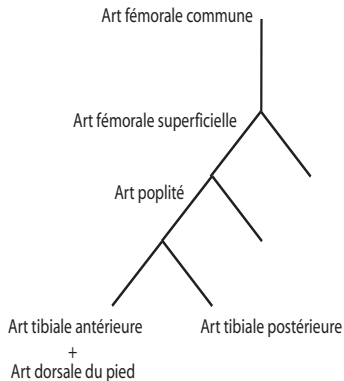
Approche  
évolutive

Un modèle  
artériel optimal

Un code barre  
flou décodé

Conclusions,  
perspectives

- Un exemple d'un réseau composé de 7 artères est présenté ici :



# Résolution du problème direct

Approche  
évolutive,  
problèmes  
inverses

L. Dumas,  
23/06/2010

Deux exemples

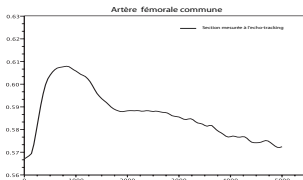
Approche  
évolutive

Un modèle  
artériel optimal

Un code barre  
flou décodé

Conclusions,  
perspectives

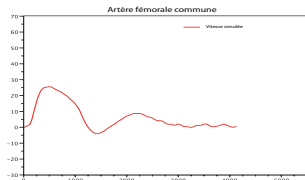
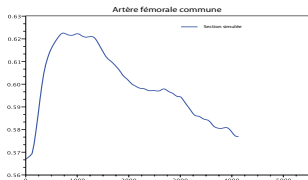
- En entrée, un profil de section est imposé, par exemple le profil de section de l'artère fémorale :



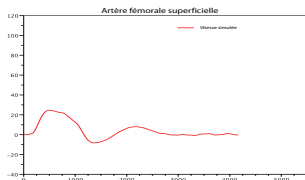
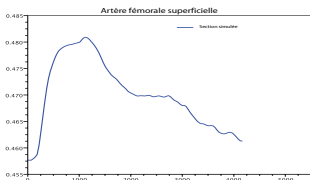
- Les équations du modèle 1D sont discrétisées en temps sous leur forme conservative, en utilisant un schéma de Taylor-Galerkin au second ordre.
- La discrétisation spatiale est alors réalisée à l'aide d'éléments finis linéaires sur une subdivision de  $[0, L]$ .

# Problème direct : résultats

## ■ Femorale commune (section : gauche, vitesse moyenne : droite) :



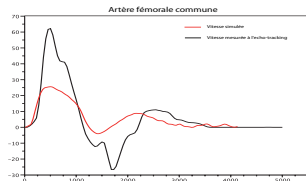
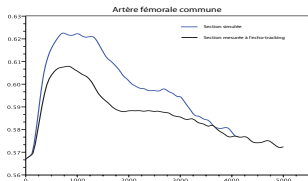
## ■ Femorale superficielle :



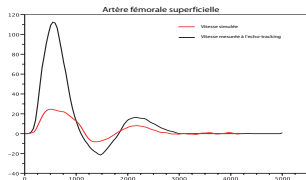
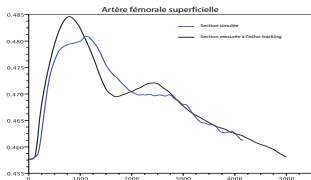


# Problème direct : résultats vs expérience

- Femorale commune (section : gauche, vitesse moyenne : droite) :

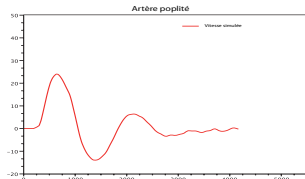
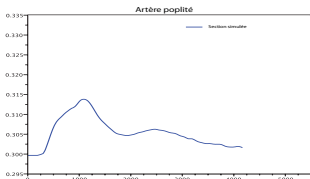


- Femorale superficielle :

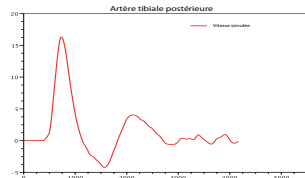
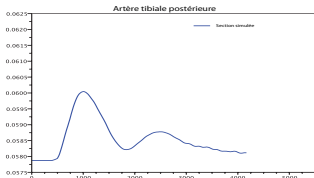


# Problème direct : résultats

## ■ Poplité (section : gauche, vitesse moyenne : droite) :

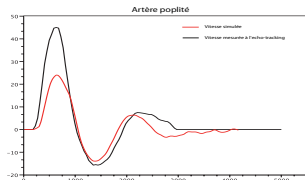
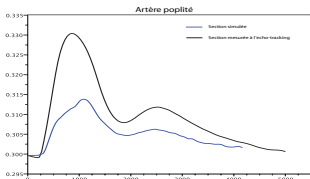


## ■ Tibiale :

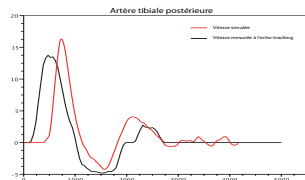
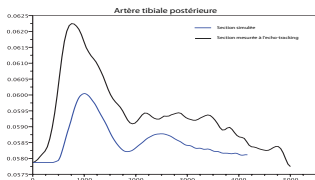


# Problème direct : résultats vs expérience

## ■ Poplité (section : gauche, vitesse moyenne : droite) :



## ■ Tibiale :



# Problème direct : résultats

Approche  
évolutive,  
problèmes  
inverses

L. Dumas,  
23/06/2010

Deux exemples

Approche  
évolutive

Un modèle  
artériel optimal

Un code barre  
flou décodé

Conclusions,  
perspectives

- Pédiale (section : gauche, vitesse moyenne : droite) :



# problème direct : résultats vs expérience

Approche  
évolutive,  
problèmes  
inverses

L. Dumas,  
23/06/2010

Deux exemples

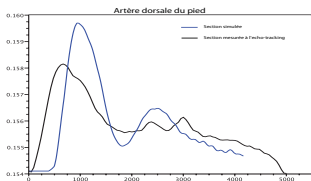
Approche  
évolutive

Un modèle  
artériel optimal

Un code barre  
flou décodé

Conclusions,  
perspectives

- Pédiale (section : gauche, vitesse moyenne : droite) :



# Problème inverse : cas d'une artère saine

Approche  
évolutive,  
problèmes  
inverses

L. Dumas,  
23/06/2010

Deux exemples

Approche  
évolutive

Un modèle  
artériel optimal

Un code barre  
flou décodé

Conclusions,  
perspectives

- L'objectif de ce premier problème inverse est d'ajuster le modèle 1D aux résultats d'un modèle 3D existant (calculé à l'aide du logiciel LifeV).



- Un algorithme évolutionnaire est utilisé ici pour déterminer la valeur optimale de  $\beta$ . La fonction coût est basée sur les profils de  $A$  et  $Q$  en trois positions.

# Problème inverse : cas d'une artère saine

Approche  
évolutive,  
problèmes  
inverses

L. Dumas,  
23/06/2010

Deux exemples

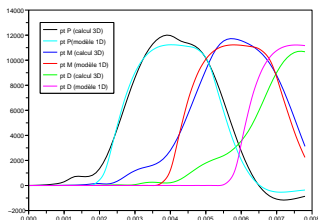
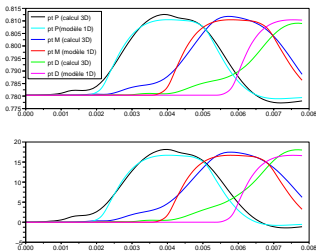
Approche  
évolutive

Un modèle  
artériel optimal

Un code barre  
flou décodé

Conclusions,  
perspectives

- Il s'avère en fait possible de retrouver les résultats du modèle 3D à un coût largement moindre.



- A noter aussi que le coefficient  $\beta$  optimal est largement inférieur à celui issu d'une dérivation formelle.

# Problème inverse : cas d'une artère pathologique

Approche  
évolutive,  
problèmes  
inverses

L. Dumas,  
23/06/2010

Deux exemples

Approche  
évolutive

Un modèle  
artériel optimal

Un code barre  
flou décodé

Conclusions,  
perspectives

- L'objectif de ce second problème inverse est de reconstruire les fonctions  $z \mapsto \beta(z)$  et  $z \mapsto A_0(z)$  dans le cas où celles-ci prennent 2 valeurs distinctes le long de l'artère.
- Le problème comporte ainsi 6 inconnues à déterminer,  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $S_1$  and  $S_2$ .
- L'objectif de ce calcul est de montrer qu'avec peu d'informations spatiales sur les solutions, il est possible de déterminer les caractéristiques complètes de l'artère.



# Problème inverse : cas d'une artère pathologique

Approche  
évolutive,  
problèmes  
inverses

L. Dumas,  
23/06/2010

Deux exemples

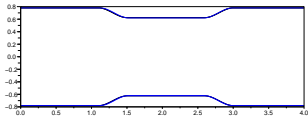
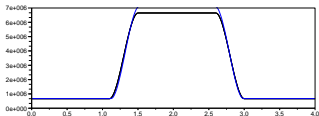
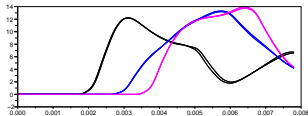
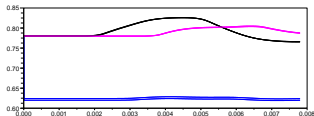
Approche  
évolutive

Un modèle  
artériel optimal

Un code barre  
flou décodé

Conclusions,  
perspectives

- Quand les profils temporels de  $A$  et  $Q$  sont connus en trois positions différentes, le processus d'optimisation est capable de reconstruire avec une excellente précision les fonctions  $z \mapsto \beta(z)$  et  $z \mapsto A_0(z)$  (figures de droite) :



- Les valeurs de  $A$  et  $Q$  sont ainsi parfaitement reproduites aux sections concernées (figures de gauche).

# Problème inverse : cas d'une artère pathologique

Approche  
évolutive,  
problèmes  
inverses

L. Dumas,  
23/06/2010

Deux exemples

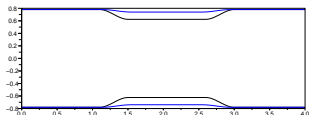
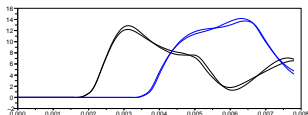
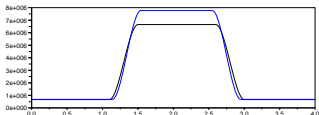
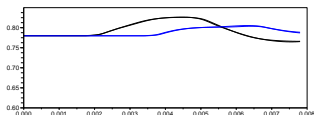
Approche  
évolutive

Un modèle  
artériel optimal

Un code barre  
flou décodé

Conclusions,  
perspectives

- Quand les profils temporels de  $A$  et  $Q$  sont seulement connus en deux positions (en dehors de la plaque), le processus d'optimisation est également capable de reconstruire avec une très bonne précision les fonctions  $z \mapsto \beta(z)$  and  $z \mapsto A_0(z)$  :



- Les profils temporels de  $A$  et de  $Q$  sont à nouveau parfaitement retrouvés aux deux sections concernées.

- 1 Deux exemples de problèmes inverses
- 2 Approche évolutive
- 3 Un modèle artériel optimal
- 4 Un code barre flou décodé
- 5 Conclusions, perspectives

# Un code barre flou décodé : l'algorithme

Approche  
évolutive,  
problèmes  
inverses

L. Dumas,  
23/06/2010

Deux exemples

Approche  
évolutive

Un modèle  
artériel optimal

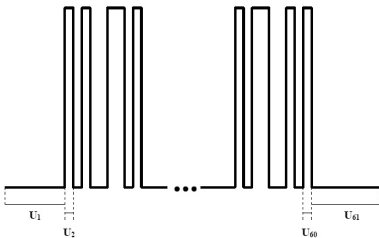
Un code barre  
flou décodé

Conclusions,  
perspectives

- La restauration et le décodage d'une image de code barre floue, bruitée et avec illumination variable sont entrepris en utilisant un algorithme évolutionnaire.
- La fonction coût à minimiser est définie sur un espace de recherche mixte (discret/continu).
- La robustesse de l'approche choisie permet en particulier de s'affranchir du terme de régularisation dans la fonction coût.

# Un code barre flou décodé : l'espace de recherche

- L'espace de recherche pour  $u$  est discret et reprend la forme d'un code barre de type EAN13.



- Plus précisément,  $U = (U_1, \dots, U_{61}) \in \mathbb{IN}^{61}$  où  $U_i$  représente la largeur de la  $i$ ème bande noire ou blanche.
- $U_1$  et  $U_{61}$  jouent un rôle particulier puisqu'ils représentent les marges gauche et droite inconnues autour du code barre.

# Un code barre flou décodé : l'espace de recherche

Approche  
évolutive, problèmes  
inverses

L. Dumas,  
23/06/2010

Deux exemples

Approche  
évolutive

Un modèle  
artériel optimal

Un code barre  
flou décodé

Conclusions,  
perspectives

- La contrainte suivante doit être en particulier respectée :

$$\sum_{i=1}^{61} U_i = M$$

où  $M$  représente la largeur de l'image.

- L'espace de recherche pour  $r$  et  $l$  est de type continu. Une approximation par spline est en particulier utilisée pour la variable d'illumination.

# Un code barre flou décodé : les principes darwiniens

Approche  
évolutive,  
problèmes  
inverses

L. Dumas,  
23/06/2010

Deux exemples

Approche  
évolutive

Un modèle  
artériel optimal

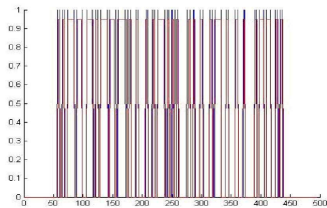
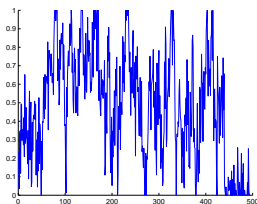
Un code barre  
flou décodé

Conclusions,  
perspectives

- Pour la variable discrète  $U$ , un croisement à  $N$  points est utilisé.
- Le processus de mutation correspond à un redimensionnement des nouveaux éléments créés à la taille de l'image initiale.
- Pour les variables continues  $r$  et  $l$ , un croisement barycentrique et une mutation non uniforme sont utilisés.

# Un code barre flou décodé : résultats obtenus

- Un exemple de résultat obtenu avec une méthode évolutionnaire est présenté ici. A partir de l'image de code barre suivante :



il a été possible de déterminer le code barre initial :  
**4747379384732.**

- Les résultats montrent une très grande reproductibilité de la méthode ainsi qu'une très forte insensibilité au taux de bruit dans l'image.



- 1 Deux exemples de problèmes inverses
- 2 Approche évolutive
- 3 Un modèle artériel optimal
- 4 Un code barre flou décodé
- 5 Conclusions, perspectives

# Conclusions et perspectives

Approche  
évolutive,  
problèmes  
inverses

L. Dumas,  
23/06/2010

Deux exemples

Approche  
évolutive

Un modèle  
artériel optimal

Un code barre  
flou décodé

Conclusions,  
perspectives

- Les méthodes évolutives avec modèles approchés permettent d'apporter des réponses nouvelles à des problèmes inverses dans des domaines applicatifs très variés.
- Sur le cas du modèle artériel optimal, l'objectif est d'être capable à moyen terme d'exhiber une carte numérique du réseau artériel d'un patient donné à partir de mesures non invasives.
- Sur le cas de la restauration des codes barres, les performances obtenues permettent d'atteindre des niveaux de bruit inaccessibles avec les méthodes déterministes classiques.
- *Collaborations : P.Boutouyrie, J.F.Gerbeau, E.Ollier (problème 1), M.El Rhabi, G.Rochefort, F.NGougo (problème 2).*
- Plus d'informations sur  
[http ://www.ann.jussieu.fr/~dumas](http://www.ann.jussieu.fr/~dumas)