

# *Modélisations et Traitements de Signaux Biomédicaux*

Olivier Meste

Université de Nice-Sophia Antipolis  
ED STIC



# Diriger une Recherche ?

Deux approches possibles:

- Les méthodes de TS sont orientées par le GBM ?
- Le domaine GBM illustre les nouvelles méthodes du TS ?

L'IS n'est pas une unité INSERM ⇒

- Nouvelles collaborations et projets ⇒ nouveaux domaines d'applications
- Thématique **SIROCCO** ⇒ de nouvelles méthodes de TS

⇒ double compétence visible:

- Travaux publiés
- Encadrements d'étudiants

# Plan

- Activité d'enseignement
- Activité de recherche - **Applications**
  - Electrocardiographie (B. Khaddoumi)
  - Electromyographie (Dr. W. Muhammad)
  - Electroencéphalographie (Dr. & Dr. G. Suisse)
  - Implants Cochléaires (G. Malherbe)
- Activité de recherche - **Méthodes**
- Valorisations et collaborations
- Perspectives

- Je suis responsable depuis huit ans à l'ESINSA du cours *Représentations temps-fréquence* dans un cadre déterministe
- J'ai été responsable du cours de DEA SICOM de 1999 à 2001 intitulé *analyse spectrale pour les signaux non stationnaires*

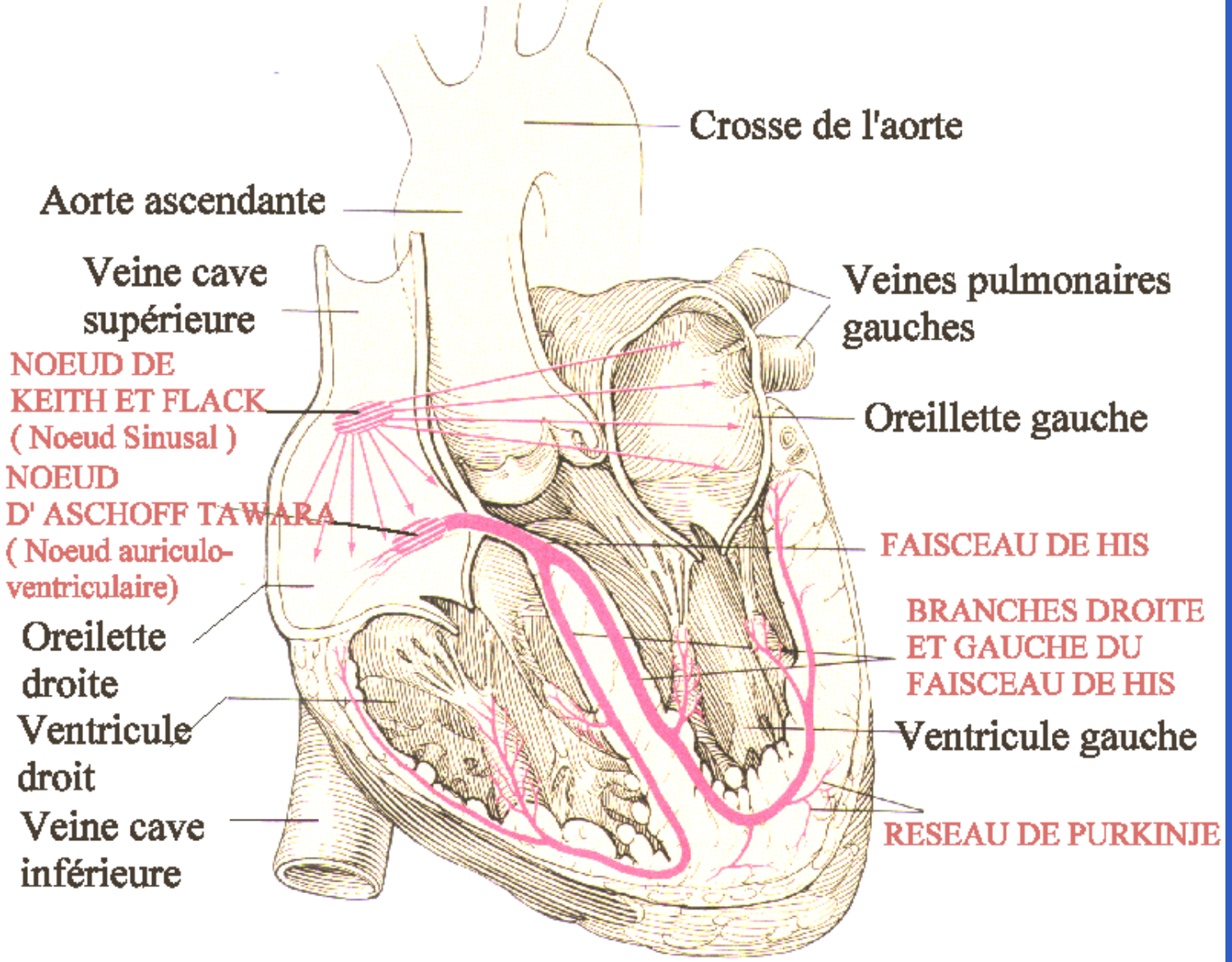
# Enseignements-ESSI

- Traitement du signal: numérisation, filtrage, théorie de l'estimation et de l'identification, codage et transmission de la parole
  - Automatique: représentation d'état, fonction de transfert, régulation
  - Informatique industrielle: architectures des ordinateurs et des microprocesseurs, assembleurs
  - Réseaux informatiques: architecture clients/serveurs, programmation réseaux pour l'audio et l'image, architectures des réseaux
- ⇒ Projets GBM/Informatique en 5ième année  
(*Télémédecine, ECG mapping*)

# Plan

- Activité d'enseignement
- Activité de recherche - Applications
  - **Electrocardiographie** (B. Khaddoumi)
  - Electromyographie (Dr. W. Muhammad)
  - Electroencéphalographie (Dr. & Dr. G. Suisse)
  - Implants Cochléaires (G. Malherbe)
- Activité de recherche - Méthodes
- Valorisations et collaborations
- Perspectives

# Applications $\Rightarrow$ Recherche: **ECG**



Le Coeur

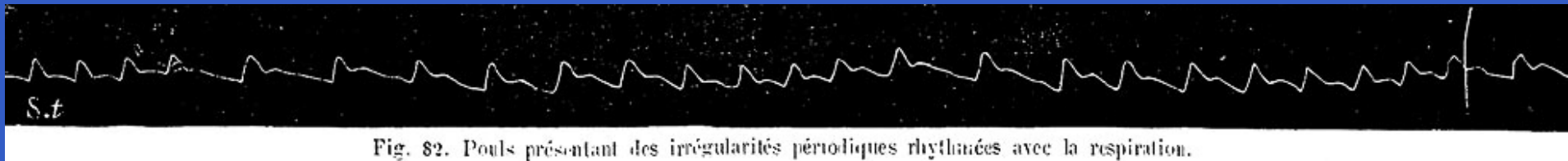
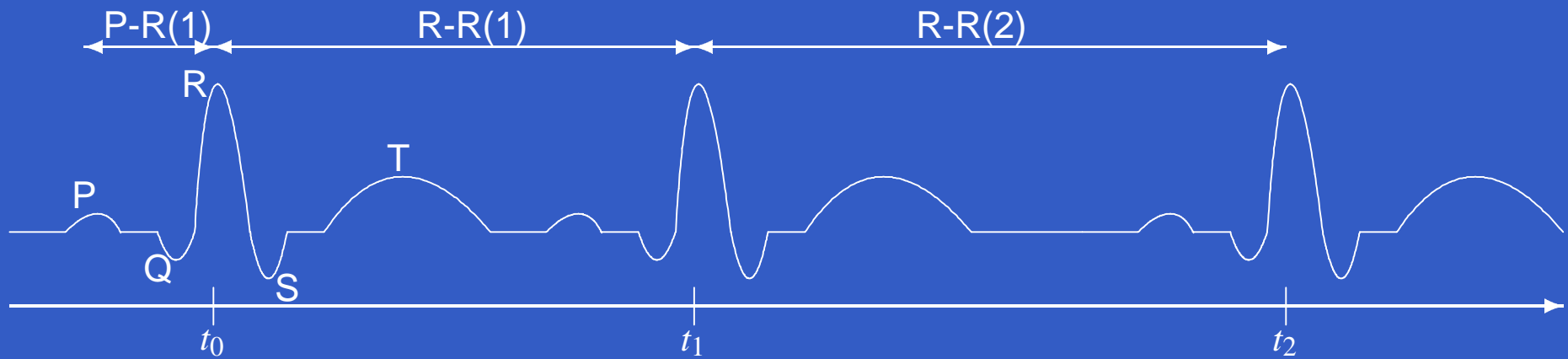


Fig. 82. Poulx présentant des irrégularités périodiques rythmées avec la respiration.

Marey, Étienne Jules. 1878. La méthode graphique dans les sciences expérimentales et principalement en physiologie et en médecine. Paris: G. Masson



## Problèmes abordés dans le domaine de l'ECG:

- Prétraitements (filtrage adaptatif, moyennage, filtrage polynomial)

*IEEE Trans. BME 92, Signal Processing 95, Biocybernetics and Biomed. Eng. 03*

- Détection de Potentiels Tardifs Ventriculaires (Représentations TF, Ondelettes)

*IEEE Trans. BME 94, MBEC 00*

- Analyse de la Fibrillation Ventriculaire (périodicité, suivi de fréquences)

*BSI 02, Arch. Mal. Coeur 03*

- Analyse fine des ondes P et T (Mapping, analyse de forme, moyennage de forme)

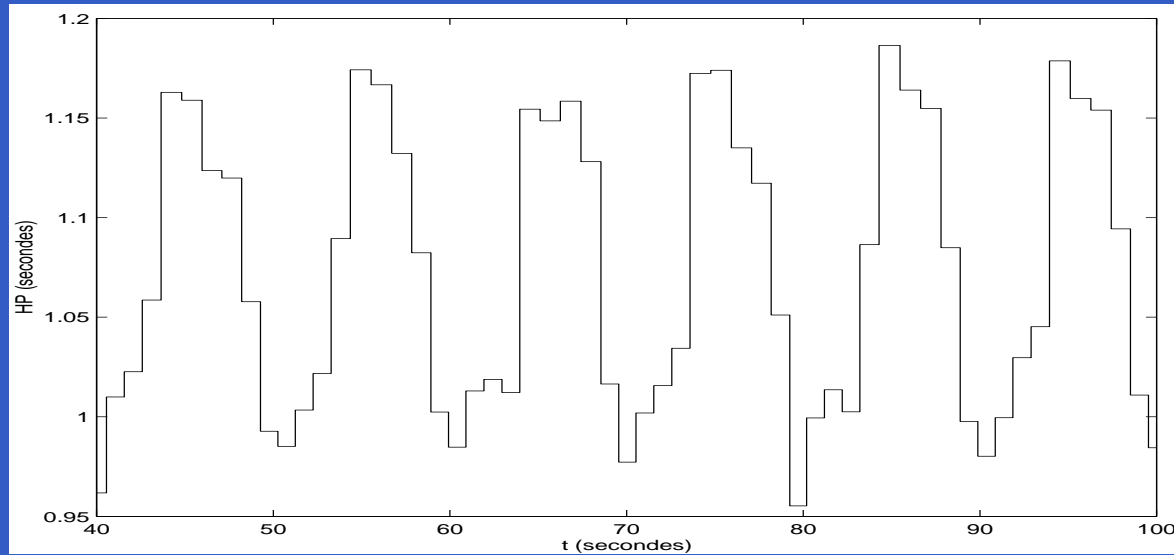
*BSI 99, IEEE EMBS 00, European MBEC 02, CinC 03*

- Analyse de la variabilité du rythme cardiaque: Arythmie Sinusale Respiratoire (ASR) au repos et en exercice (modélisation évolutive, modélisation non linéaire, suivi de pistes fréquentielles)

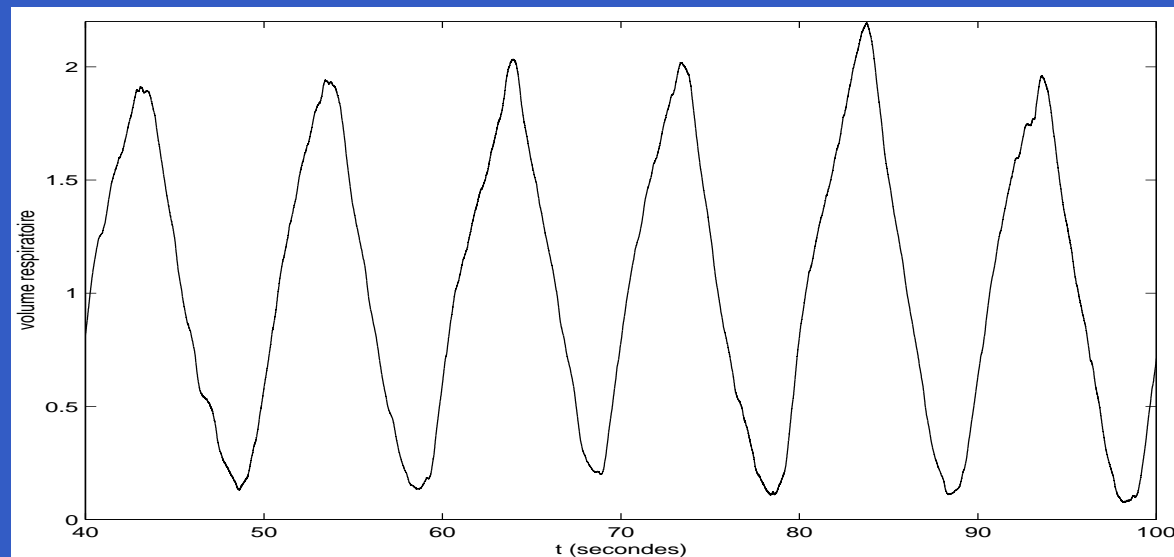
*CinC 02, CinC 03*



# ECG: ASR

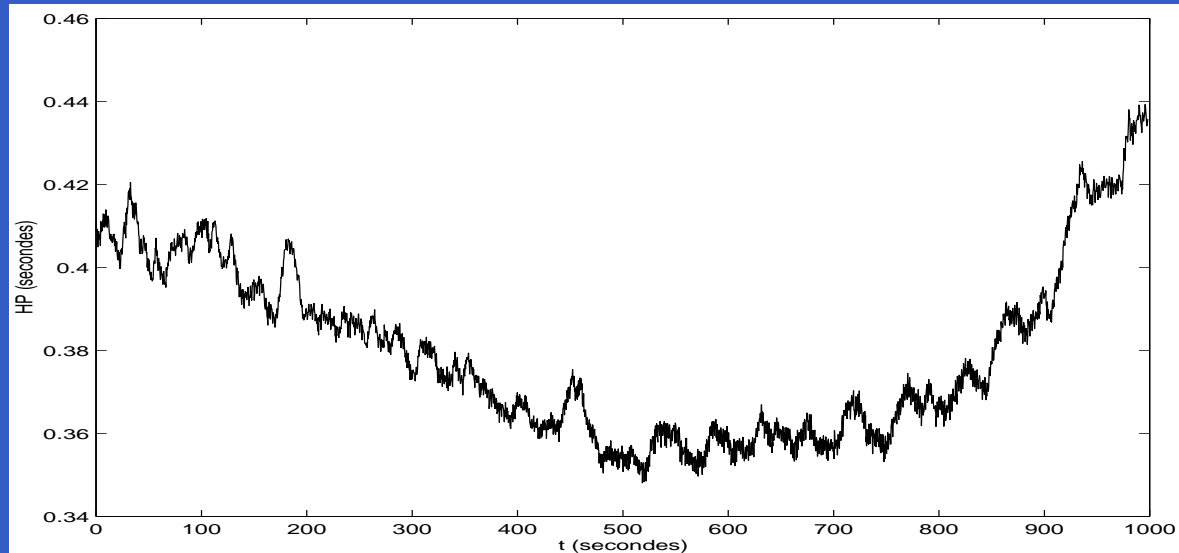


Variabilité de la période  
cardiaque au repos

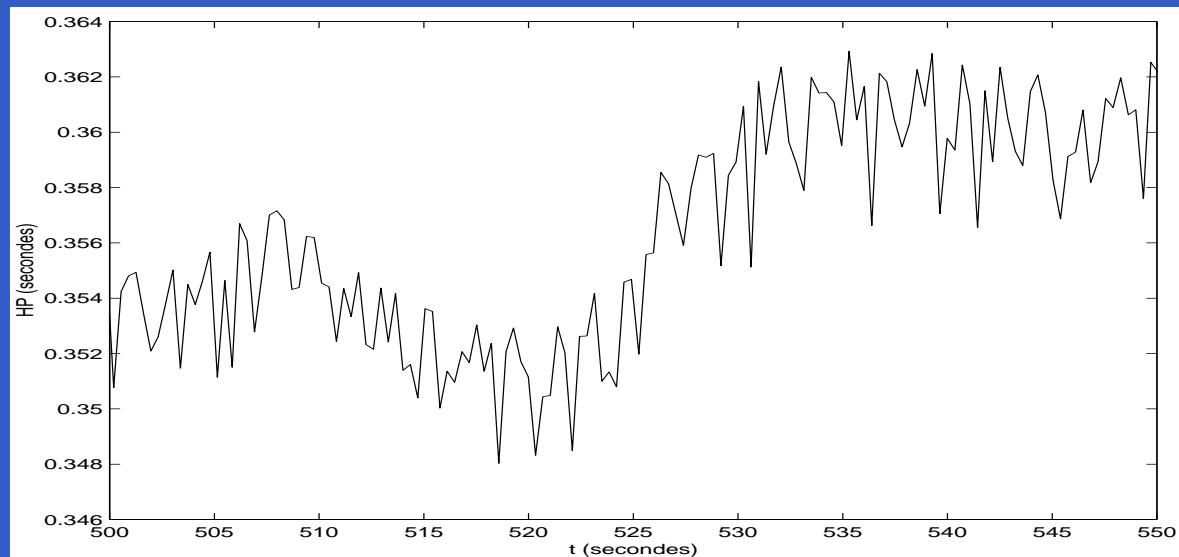


Volume respiratoire

# ECG: ASR



Variabilité de la période cardiaque en exercice



détail de la variabilité de la période cardiaque en exercice

## Comment modéliser l'Arythmie Sinusale Respiratoire ?

- Modèles ?

IPFM ou PFM

- Entrées ?

Volume Respiratoire

- Sorties ?

Période Cardiaque (intervalles R-R)

- Critère de validité?

Simulation (signaux "Arche" ou "Arche inversée"), signaux réels

## Pulse Frequency Modulation

$$kT = t_k + \frac{T}{2\pi} m_2(t_k) + \frac{T}{2\pi} c_5$$

$$m_2(t) = c_2 \cos(2\pi f_v t + c_4) \Rightarrow A_v = \frac{T c_2}{\pi} \sin(f_v T \pi)$$

si la condition de validité  $c_2 f_v T \ll \pi$  est vérifiée

## Pulse Frequency Modulation

$$kT = t_k + \frac{T}{2\pi} m_2(t_k) + \frac{T}{2\pi} c_5$$

$$m_2(t) = c_2 \cos(2\pi f_v t + c_4) \Rightarrow A_v = \frac{T c_2}{\pi} \sin(f_v T \pi)$$

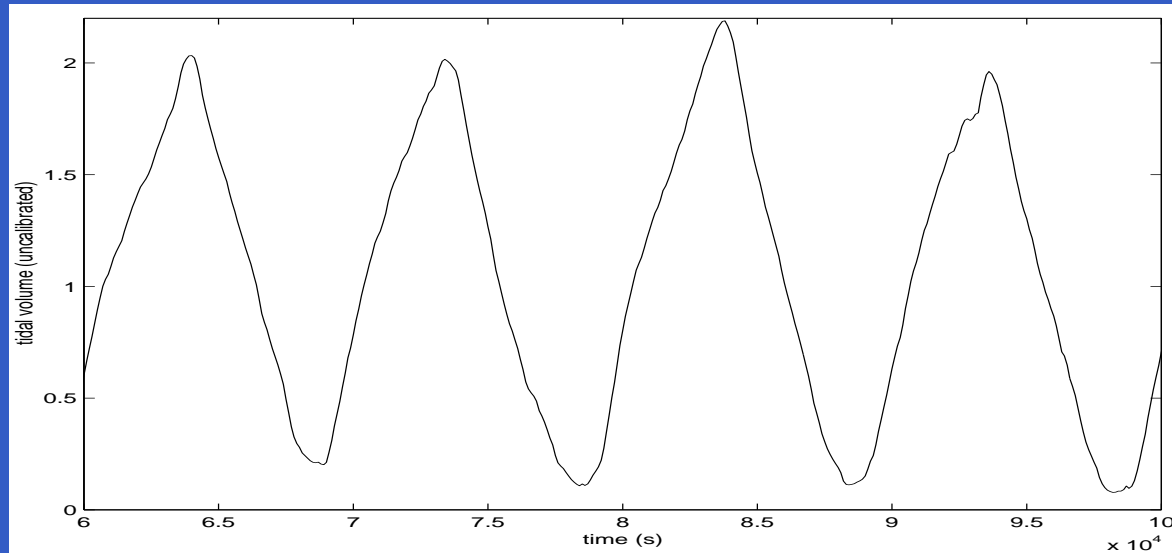
si la condition de validité  $c_2 f_v T \ll \pi$  est vérifiée

Ce modèle produit un oscillateur modulé  
mais également

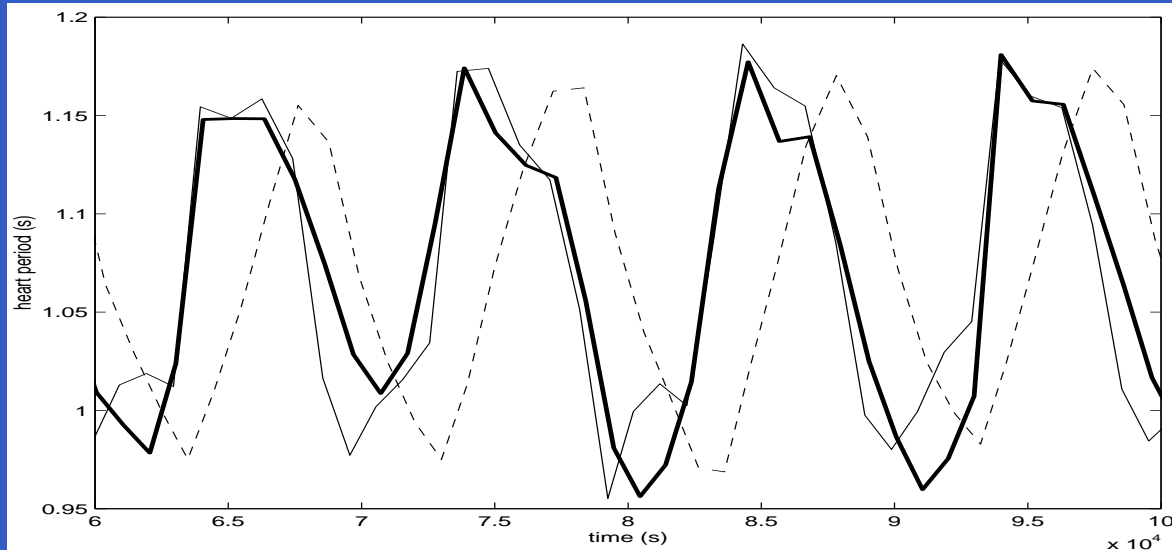
$$ecg(t) = (\cos(2\pi/Tt + m_2(t) + c_5) + 1)^{200}$$

qui est un **générateur d'ondes R!**

# ECG: ASR



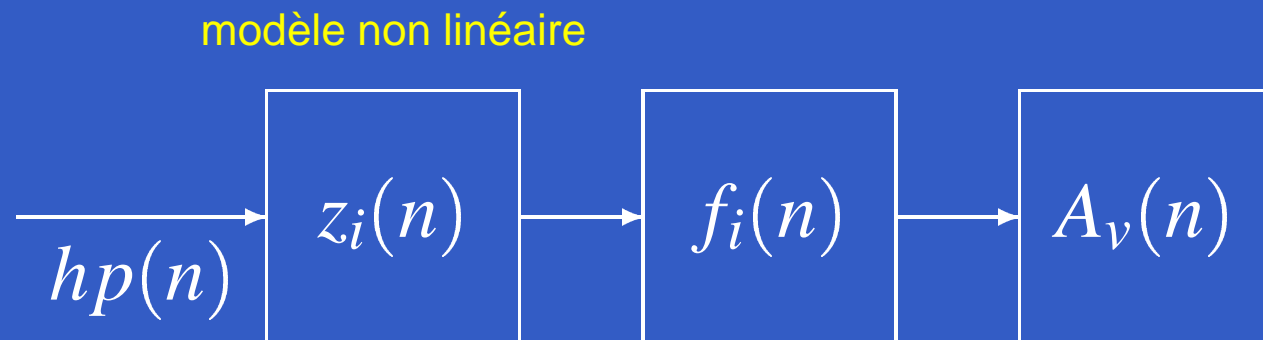
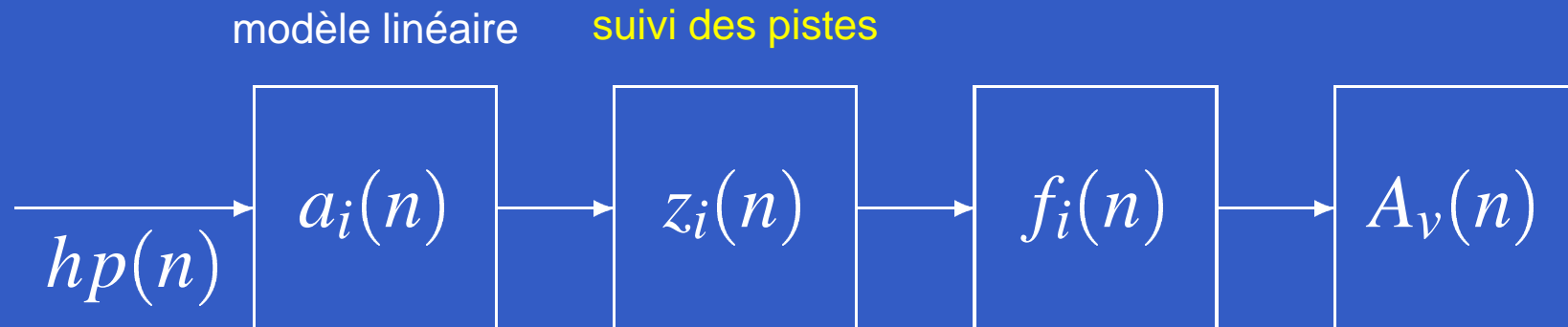
Volume respiratoire enregistré à l'aide d'un pléthysmographe à induction non calibré



Le signal "période cardiaque" (trait épais), le signal généré par le modèle PFM (trait fin), le signal généré par le modèle IPFM (trait discontinu)

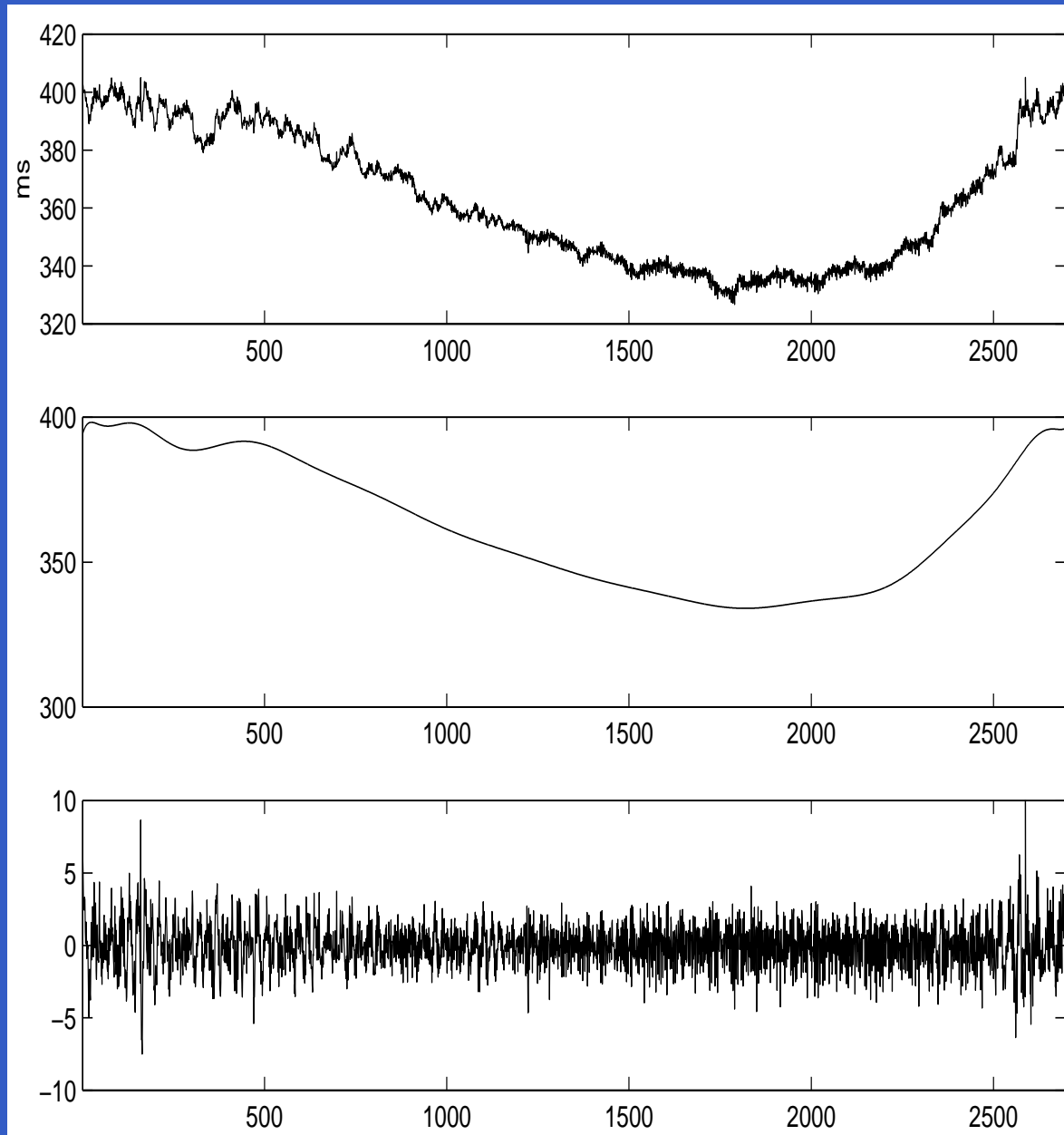


En exercice, mesurer  $A_v \Rightarrow$  :



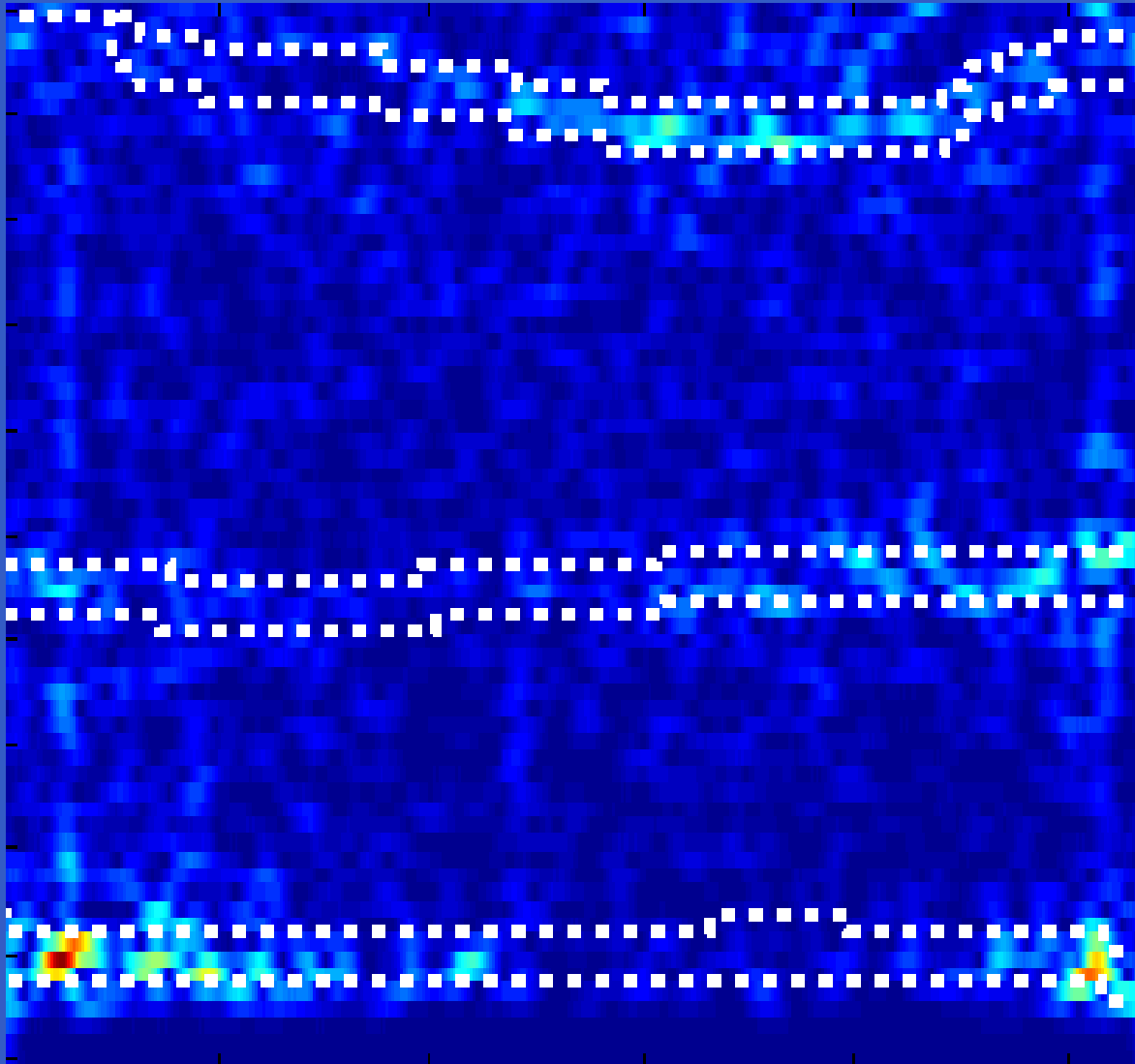
Dans le deuxième cas, le suivi des pistes est assuré par l'algorithme de minimisation (gradient)

# ECG: ASR



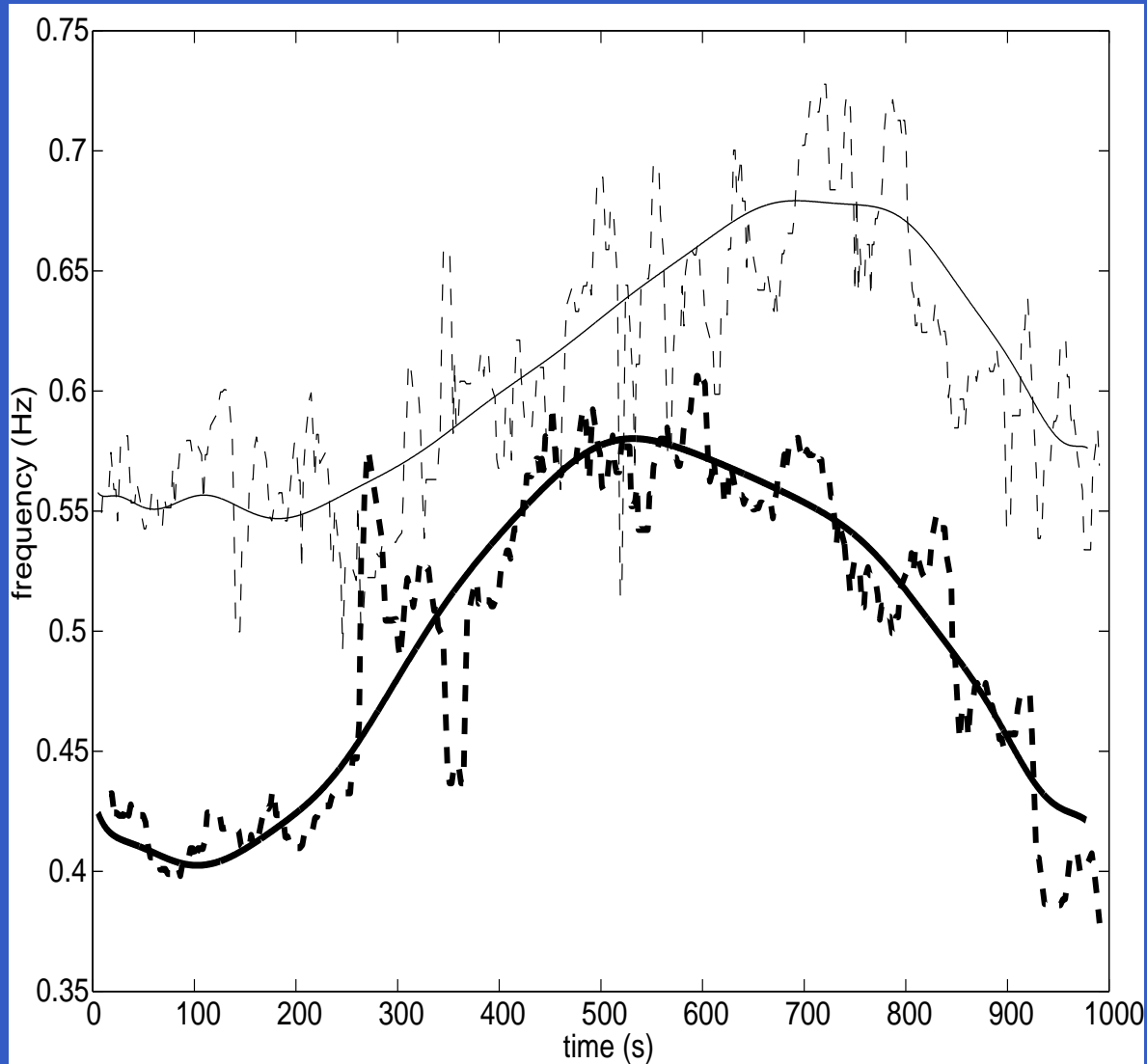
La période cardiaque  $HP(k)$

# ECG: ASR



Le spectrogramme et trois pistes

# ECG: ASR



Exemple de pistes  
fréquentielles et de  
mesures de la fréquence  
respiratoire

# Plan

- Activité d'enseignement
- Activité de recherche - Applications
  - Electrocardiographie (B. Khaddoumi)
  - **Electromyographie** (Dr. W. Muhammad)
  - Electroencéphalographie (Dr. & Dr. G. Suisse)
  - Implants Cochléaires (G. Malherbe)
- Activité de recherche - Méthodes
- Valorisations et collaborations
- Perspectives

Problèmes abordés dans le domaine de l'EMG de surface:

- Estimation de la vitesse de conduction (estimateurs MV, performances)

$$\mathbf{M}_1 : x_k(t) = s(t - (k - 1)\tau) + w_k(t)$$

$$\mathbf{M}_2 : x_k(t) = s(t - d_k) + w_k(t)$$

$$\text{avec } k = 1, \dots, K; 0 \leq t \leq T$$

*Med. Biol. Eng. & Comput. 01, Signal Processing 02*



- Analyse des ondes M  $\Rightarrow$  mise en évidence de la fatigue musculaire (moyenne de forme, estimateurs MV, performances)

$$\mathbf{M}_3 : x_k(t) = s(a_k t) + w_k(t)$$

$$\text{avec } k = 1, \dots, K; 0 \leq t \leq T$$

*Methods of Information in Medicine 00*

$$\mathbf{M}_4 : \begin{aligned} x_1(t) &= s(t) + w_1(t) \\ x_2(t) &= s(a_2 t - d_2) + w_2(t) \end{aligned}$$

IEEE Trans. Biomed. Eng. 03

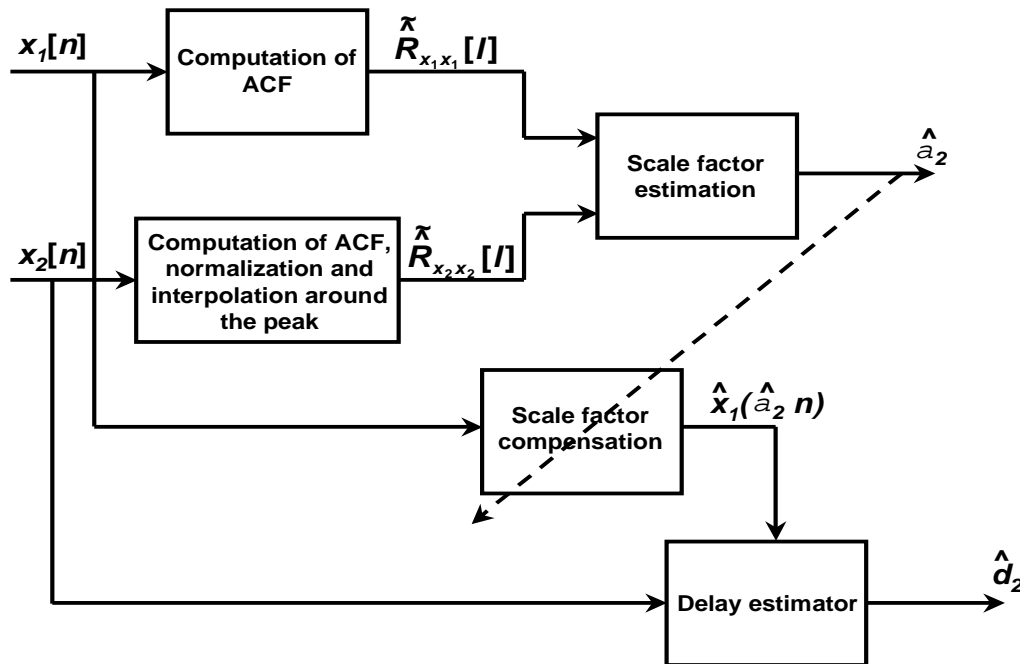


Schéma de principe pour l'estimation des paramètres

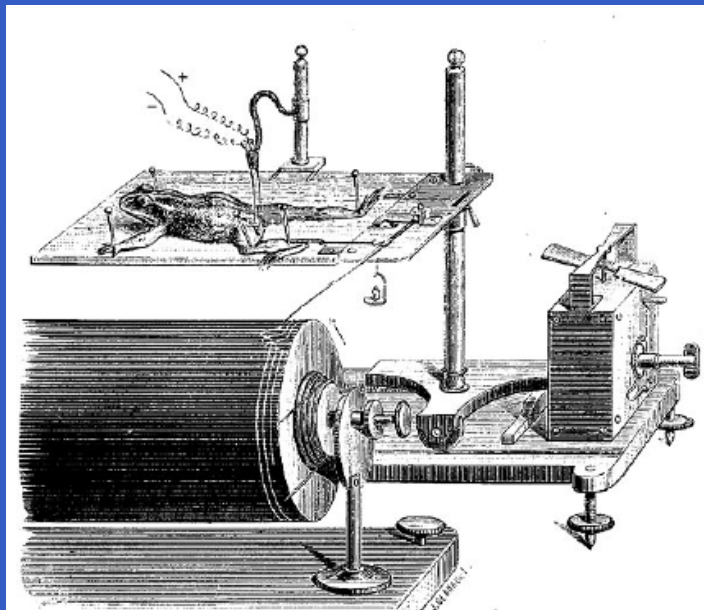
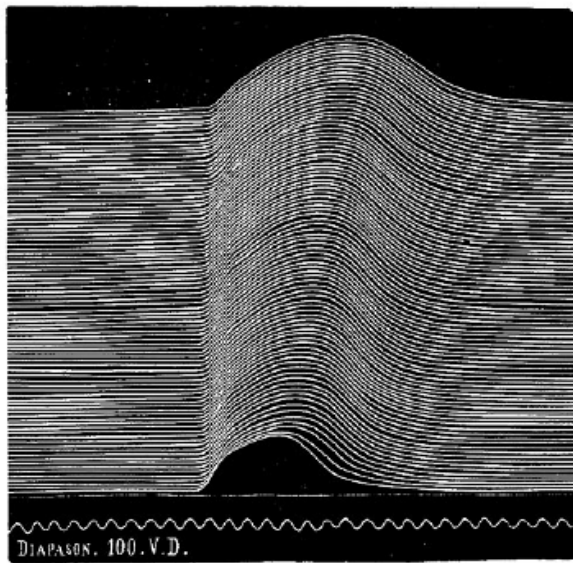
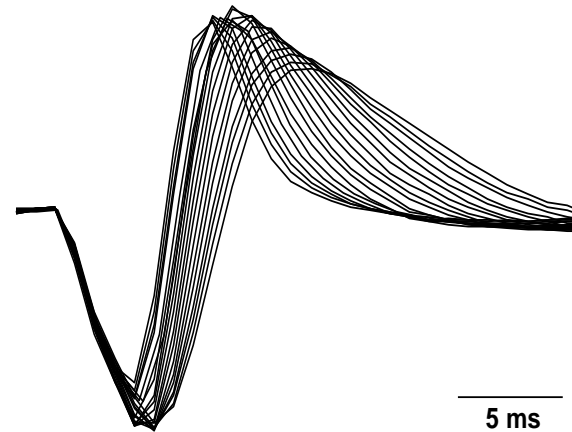


Fig. 97. Myographe simple.



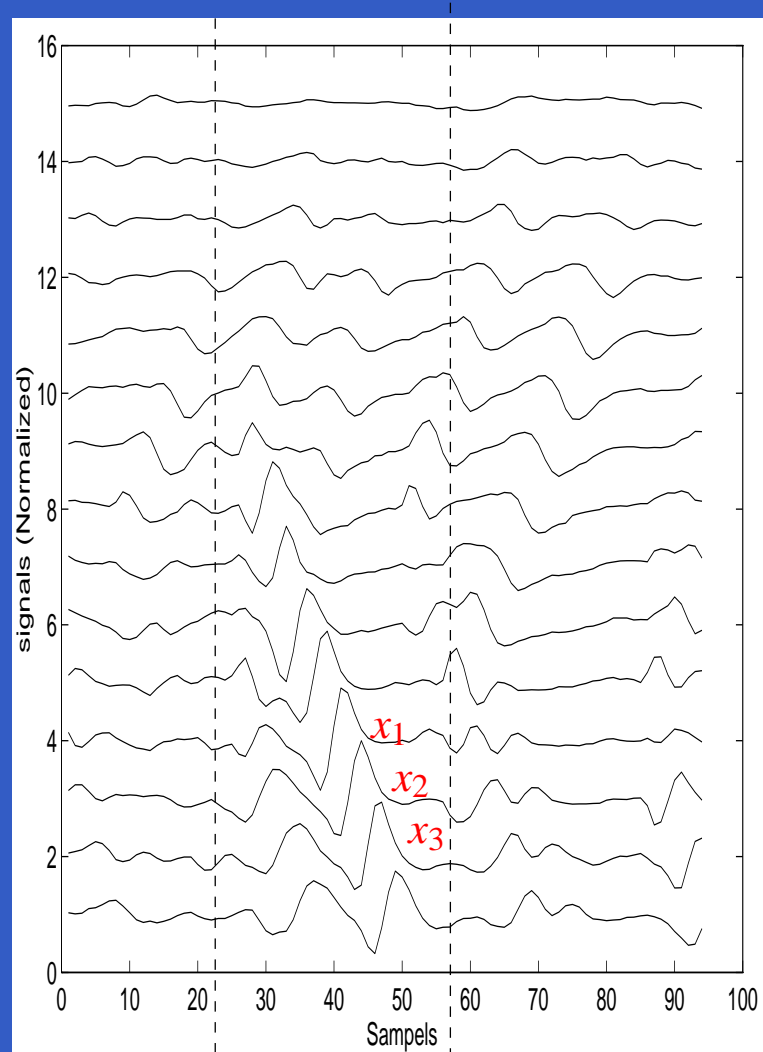
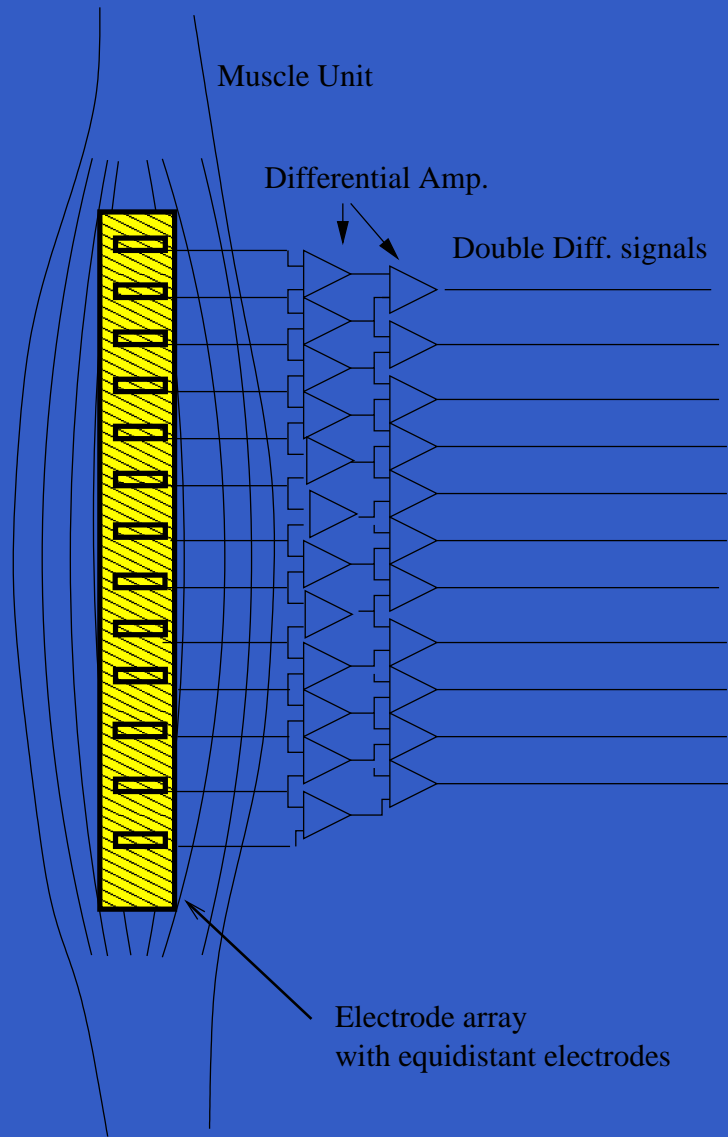
Ondes M stimulées à une fréquence de 25Hz (2002) et enregistrement de l'élongation (1878).

$a_2 \Leftrightarrow$  vitesse de conduction





# EMG: Vitesse de Conduction



SEMGE signals

a propagating MUAP

# EMG: Vitesse de Conduction

Comment formaliser et généraliser le résultat:

$$\hat{d}_{13} = \hat{d}_{12} + \hat{d}_{23}$$

⇒ Estimateur du Maximum de Vraisemblance:

$$p(\underline{X}; \underline{d}, \underline{s}) = \left( \frac{1}{(2\pi)^{N/2} \sigma^N} \right)^K \exp \left[ \sum_{k=1}^K -\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{n=1}^N [x_k(n) - s(n - d_k)]^2 \right]$$

Maximiser cette fonction équivaut à chercher la solution de :

$$\hat{\underline{\tau}} = \arg \max_{\underline{\tau}} \left[ \frac{1}{\sigma^2 K} \left[ \underline{x}_1^T \sum_{k=2}^K \Delta_{\tau_{1k}} \underline{x}_k + \underline{x}_2^T \sum_{k=3}^K \Delta_{\tau_{2k}} \underline{x}_k + \dots + \underline{x}_{K-1}^T \Delta_{\tau_{(K-1)K}} \underline{x}_K \right] \right]$$

avec  $\tau_{ij} = d_j - d_i$

# EMG: Vitesse de Conduction

Dans le cas  $K = 3$ , l'expression devient:

$$\hat{\underline{\tau}} = \arg \max_{\underline{\tau}} \left[ \frac{1}{\sigma^2 3} [\underline{x}_1^T \Delta_{\tau_{12}} \underline{x}_2 + \underline{x}_1^T \Delta_{\tau_{13}} \underline{x}_3 + \underline{x}_2^T \Delta_{\tau_{23}} \underline{x}_3] \right]$$

avec  $\tau_{12} = d_2 - d_1$ ,  $\tau_{13} = d_3 - d_1$ ,  $\tau_{23} = d_3 - d_2$ .

- estimation optimale: maximisation par rapport à  $d_1, d_2, d_3$
- estimation sous-optimale: maximisation par rapport à  $\tau_{12}, \tau_{13}, \tau_{23} \Rightarrow \tilde{\tau}_{12}, \tilde{\tau}_{13}, \tilde{\tau}_{23}$

La solution est finalement donnée par le calcul:

$$\hat{\underline{\tau}} = [I - \Phi C^T (C \Phi C^T)^{-1} C] \tilde{\underline{\tau}} \quad (2)$$

avec la matrice des contraintes  $C = [-1 \ 1 \ -1]$ .

On obtient alors les VC:  $v_{c12} = \ell / \hat{\tau}_{12}$ ,  $v_{c23} = \ell / \hat{\tau}_{23}$

# Plan

- Activité d'enseignement
- Activité de recherche - Applications
  - Electrocardiographie (B. Khaddoumi)
  - Electromyographie (Dr. W. Muhammad)
  - **Electroencéphalographie** (Dr. & Dr. G. Suisse)
  - Implants Cochléaires (G. Malherbe)
- Activité de recherche - Méthodes
- Valorisations et collaborations
- Perspectives

Problèmes abordés dans le domaine de l'EEG :

- Analyse de l'EEG en sommeil
  - Détection dans le plan temps-fréquence (Classe de Cohen) de fuseaux de sommeil (prise en compte de l'incertitude sur la durée et la fréquence)
  - Lecture des stades du sommeil (modèle de Prony) et analyse des micro réveils

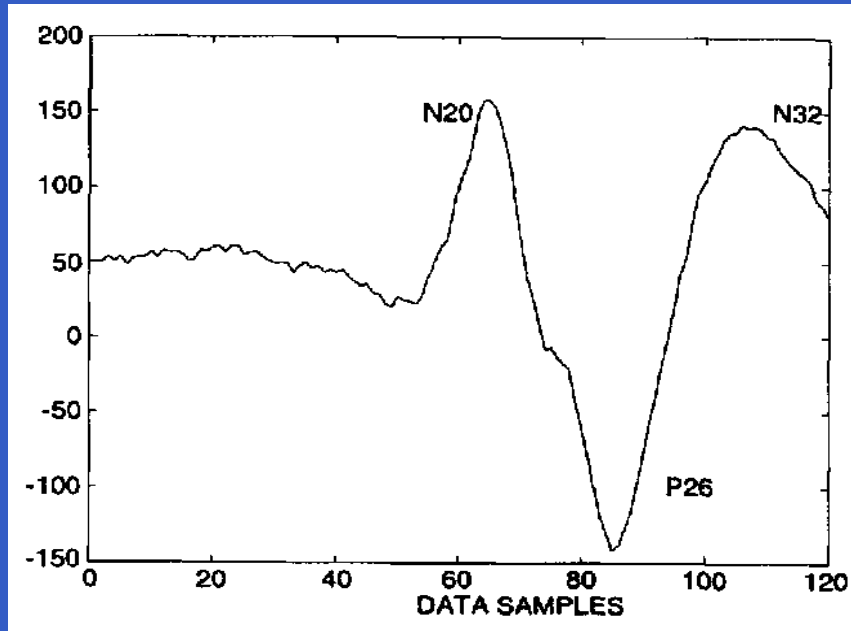
*IEEE EMBS 01, ITBM 98*

- Analyse de potentiels évoqués somestésiques
  - Caractérisation d'un potentiel de référence (approche bispectrale)
  - Analyse de la variabilité (retard, amplitude, échelle temporelle)

*ICASSP 97, Signal Processing 96*



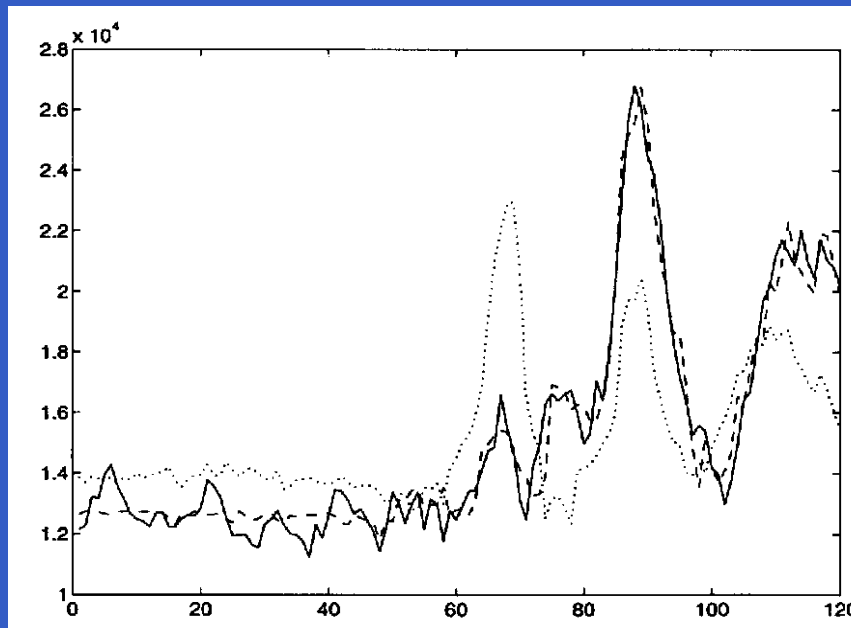
# EEG: Analyse de potentiels évoqués



Moyenne d'ensemble  
des 800 réalisations

Une alternative  $\Rightarrow$  la variance

$$\sigma_x^2(k) \approx s^2(k)\sigma_p^2 + s^{(1)2}(k)\sigma_d^2 p^2 + \sigma_n^2(k)$$



# Plan

- Activité d'enseignement
- Activité de recherche - Applications
  - Electrocardiographie (B. Khaddoumi)
  - Electromyographie (Dr. W. Muhammad)
  - Electroencéphalographie (Dr. & Dr. G. Suisse)
  - **Implants Cochléaires** (G. Malherbe)
- Activité de recherche - Méthodes
- Valorisations et collaborations
- Perspectives

Problèmes abordés dans le domaine de l'implant cochléaire :

- Amélioration de la restitution de la sensation auditive
  - formation de voies et réduction de bruit
  - Codage temps-fréquence prenant en compte les contraintes matérielles
- Analyse du phénomène acouphénique

*7th Int. Cochlear Implant Conf. 02, IEEE EMBS 03*



# Plan

- Activité d'enseignement
- Activité de recherche - Applications
  - Electrocardiographie (B. Khaddoumi)
  - Electromyographie (Dr. W. Muhammad)
  - Electroencéphalographie (Dr. & Dr. G. Suisse)
  - Implants Cochléaires (G. Malherbe)
- Activité de recherche - **Méthodes**
- Valorisations et collaborations
- Perspectives

# Méthodes $\Rightarrow$ Recherche

Méthodes abordées d'un point de vue théorique:

- Analyse, détection, codage dans le plan temps-fréquence
- Estimation de fréquences "significatives" de faible amplitude; estimation du fondamental et de ses harmoniques; suivi de fréquences évolutives
- Filtrage dépendant de la forme des signaux (filtrage polynômial)
- Méthodes de sommation de signaux répétitifs présentant des fluctuations d'échelle, de position ou plus généralement de forme
- Classification des formes de signaux transitoires.
- Estimation de rapports d'échelle temporelle entre signaux
- Estimation de temps de retards entre signaux inconnus



# Méthodes: estimation de retards

La solution (EMG) MV est donnée par le calcul:

$$\hat{\underline{t}} = [I - \Phi C^T (C \Phi C^T)^{-1} C] \tilde{\underline{t}}$$

avec  $\tilde{\underline{t}} = [\tilde{t}_{12}, \tilde{t}_{13}, \dots, \tilde{t}_{1k}, \tilde{t}_{23}, \dots, \tilde{t}_{2k}, \dots, \tilde{t}_{(K-1)K}]^T$

La matrice de contrainte est de dimension  $(K-1)(K-2)/2 \times K(K-1)/2 \Rightarrow$  PB pour  $K$  grand !

# Méthodes: estimation de retards

La solution (EMG) MV est donnée par le calcul:

$$\hat{\underline{t}} = [I - \Phi C^T (C \Phi C^T)^{-1} C] \tilde{\underline{t}}$$

avec  $\tilde{\underline{t}} = [\tilde{t}_{12}, \tilde{t}_{13}, \dots, \tilde{t}_{1k}, \tilde{t}_{23}, \dots, \tilde{t}_{2k}, \dots, \tilde{t}_{(K-1)K}]^T$

La matrice de contrainte est de dimension  $(K-1)(K-2)/2 \times K(K-1)/2 \Rightarrow$  PB pour  $K$  grand !

L'analyse des PE  $\Rightarrow \sigma_x^2(k) \approx s^2(k) \sigma_p^2 + s^{(1)2}(k) \sigma_d^2 \bar{p}^2 + \sigma_n^2(k)$

$\Rightarrow$  la quantité  $\sum_k \sigma_x^2(k)$  permet de mesurer la qualité d'une resynchronisation

# Méthodes: estimation de retards

La solution (EMG) MV est donnée par le calcul:

$$\hat{\underline{t}} = [I - \Phi C^T (C \Phi C^T)^{-1} C] \tilde{\underline{t}}$$

avec  $\tilde{\underline{t}} = [\tilde{t}_{12}, \tilde{t}_{13}, \dots, \tilde{t}_{1k}, \tilde{t}_{23}, \dots, \tilde{t}_{2k}, \dots, \tilde{t}_{(K-1)K}]^T$

La matrice de contrainte est de dimension  $(K-1)(K-2)/2 \times K(K-1)/2 \Rightarrow$  PB pour  $K$  grand !

L'analyse des PE  $\Rightarrow \sigma_x^2(k) \approx s^2(k)\sigma_p^2 + s^{(1)2}(k)\sigma_d^2 \bar{p}^2 + \sigma_n^2(k)$

$\Rightarrow$  la quantité  $\sum_k \sigma_x^2(k)$  permet de mesurer la qualité d'une resynchronisation

$\Rightarrow$  la minimisation du critère  $\sum_k \sigma_x^2(k)$  permet d'estimer des retards (réalisable pour  $K$  grand)  $\neq$  MV

# Plan

- Activité d'enseignement
- Activité de recherche - Applications
  - Electrocardiographie (B. Khaddoumi)
  - Electromyographie (Dr. W. Muhammad)
  - Electroencéphalographie (Dr. & Dr. G. Suisse)
  - Implants Cochléaires (G. Malherbe)
- Activité de recherche - Méthodes
- Valorisations et collaborations
- Perspectives

# Valorisations et Collaborations

Les actions de valorisations/collaborations **actuelles** et  **futures**:

- **Action Spécifique** "Interprétation de signaux biomédicaux conduite par modèles"

Coordonateurs: Catherine MARQUE et Lofti SENHADJI.

- **Action Concertée Incitative** "Technologies pour la Santé", "Classification automatique de l'onde P d'un ECG en vue du dépistage de la fibrillation auriculaire"

Coordonnateur général : Jean-Marc BOUCHER, ENST de Bretagne, Brest.

- **Contrat CIFRE** "Implants Cochléaires"  
Société: MXM

# Valorisations et Collaborations

- **Contrat bilatéral** CNRS/Acad. Sci. de Pologne (1997 → 2004) . Institut de Biocybernétique et GBM de Varsovie (R. MANIEWSKI)  
(ECGHA, Mapping cardiaque, Laser-Doppler)
- **Action Intégrée** (*en attente de réponse*)  
Franco-Espagnole PICASSO "Etude du rythme cardiaque à travers l'analyse des intervalles RR, PP et PR, dans le cadre de tests à l'effort".

Coordonateurs: P. Laguna (Univ. Saragosse) et O. Meste

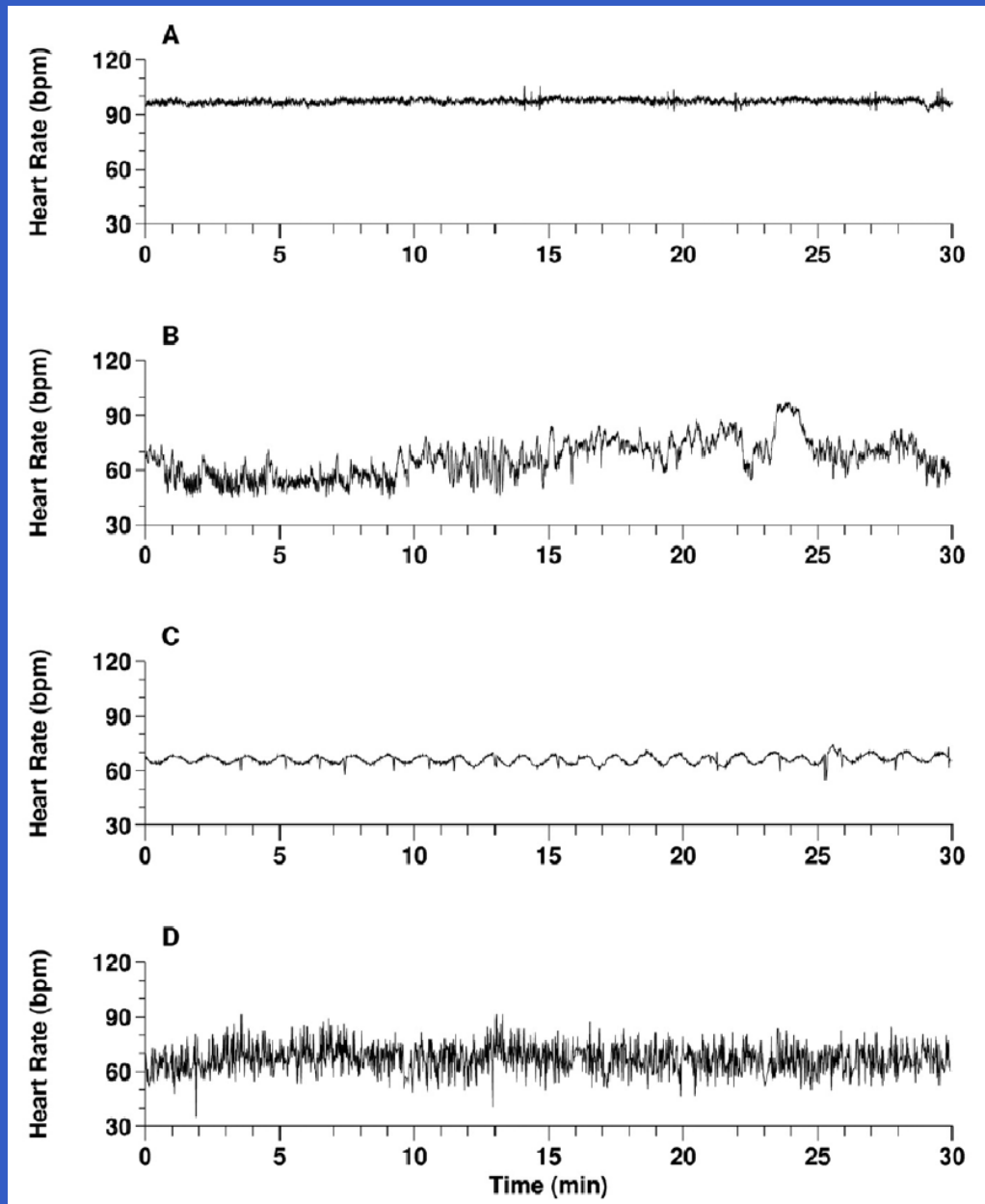


## Thèmes de recherche

- Analyse des ondes P  $\Leftrightarrow$  épisode de fibrillation auriculaire (ECG)
- Analyse des intervalles PR  $\Rightarrow$  PP (ECG)
- Poursuivre l'estimation de retards et d'échelons dans un cadre +statistique (estimateur à noyaux)

## Développement de la recherche en GBM

- par l'élargissement de l'équipe et des collaborations
- par la création de filières d'enseignements





from *SIAM News*, Volume 36, Number 7, September 2003

# A Healthy Heart Is a Fractal Heart

By Barry A. Cipra

When you go to the doctor's office, one of the first things they do is jot down your blood pressure and pulse rate. According to Ary Goldberger of Harvard University, they might do well to include another number: your heartbeat's fractal dimension.

# Autres applications ?

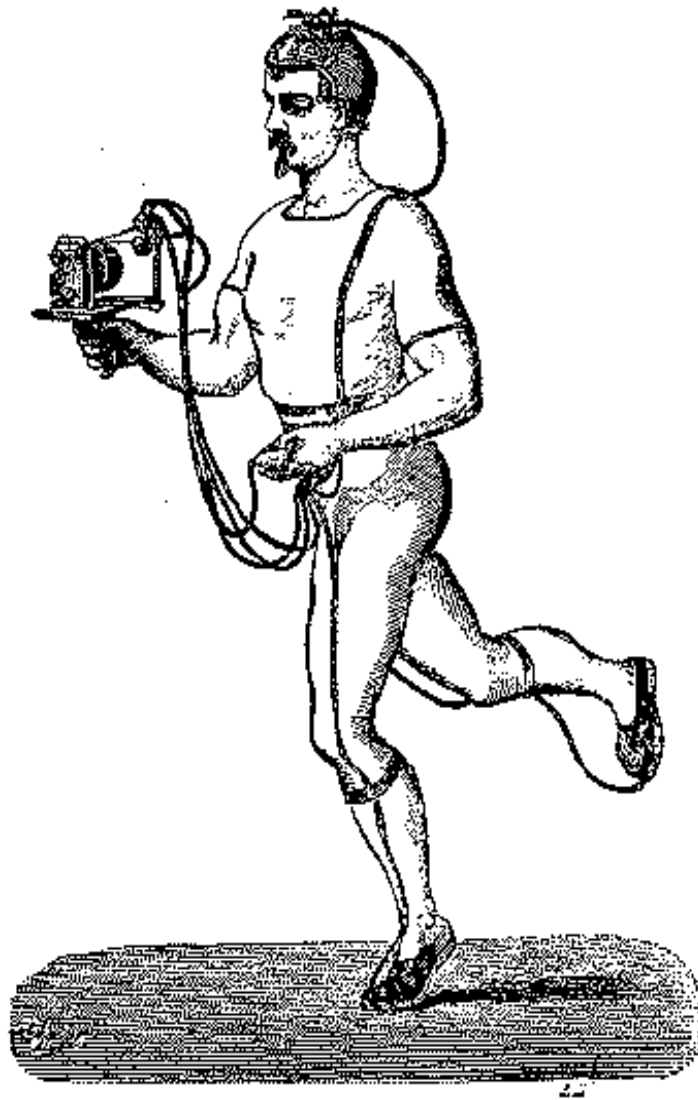


Fig. 72. Coureur muni de chaussures exploratrices et portant l'appareil inscripteur du rythme de son allure.