

APICS

Analyse et Problèmes Inverses pour le Contrôle et le Signal

Proposition de création de projet à l'INRIA Sophia Antipolis

<http://www-sop.inria.fr/miaou>

APICS

Analyse et Problèmes Inverses pour le Contrôle et
le Signal

Analysis and Inverse Problems for Control and Signals

Thème 4a

UR de Sophia Antipolis

Composition de l'équipe

Laurent Baratchart	DR INRIA, responsable scientifique
José Grimm	CR INRIA
Juliette Leblond	CR INRIA
France Limouzis	AI INRIA, assistante
Jean-Paul Marmorat	MR CMA, ENSMP, chercheur extérieur
Martine Olivi	CR INRIA
Jean-Baptiste Pomet	CR INRIA, responsable permanent
Fabien Seyfert	CR INRIA

Note : France Limouzis est responsable du SAPR et également assistante du projet Comore.

Conseillers scientifiques

Andrea Gombani	[chercheur CNR (LADSEB, Padoue)]
Mohamed Jaoua	[professeur Univ. Nice]
Jonathan R. Partington	[prof. Univ. Leeds]
Edward B. Saff	[prof. Univ. Vanderbilt (Nashville)]

Post-doctorants :

Per Enqvist	(Thèse KTH Stockholm, 1/2 bourse région)
Mario Sigalotti	(Thèse SISSA Trieste, bourse Marie-Curie)

Doctorants

David Avanessoff	(UNSA, 1/2 bourse INRIA),
Fehmi Ben Hassen	(ENIT),
Alex Bombrun	(EMP, 1/2 bourse INRIA),
Imen Fellah	(ENIT)
Moncef Mahjoub	(ENIT).

Note : F. Ben Hassen, I. Fellah et M. Mahjoub sont des doctorants ENIT-INRIA, co-encadrés par le projet et par le LAMSIN ; le LAMSIN est équipe de recherche associée à l'INRIA (EDidon).

ENIT : École Nationale d'Ingénieurs de Tunis.

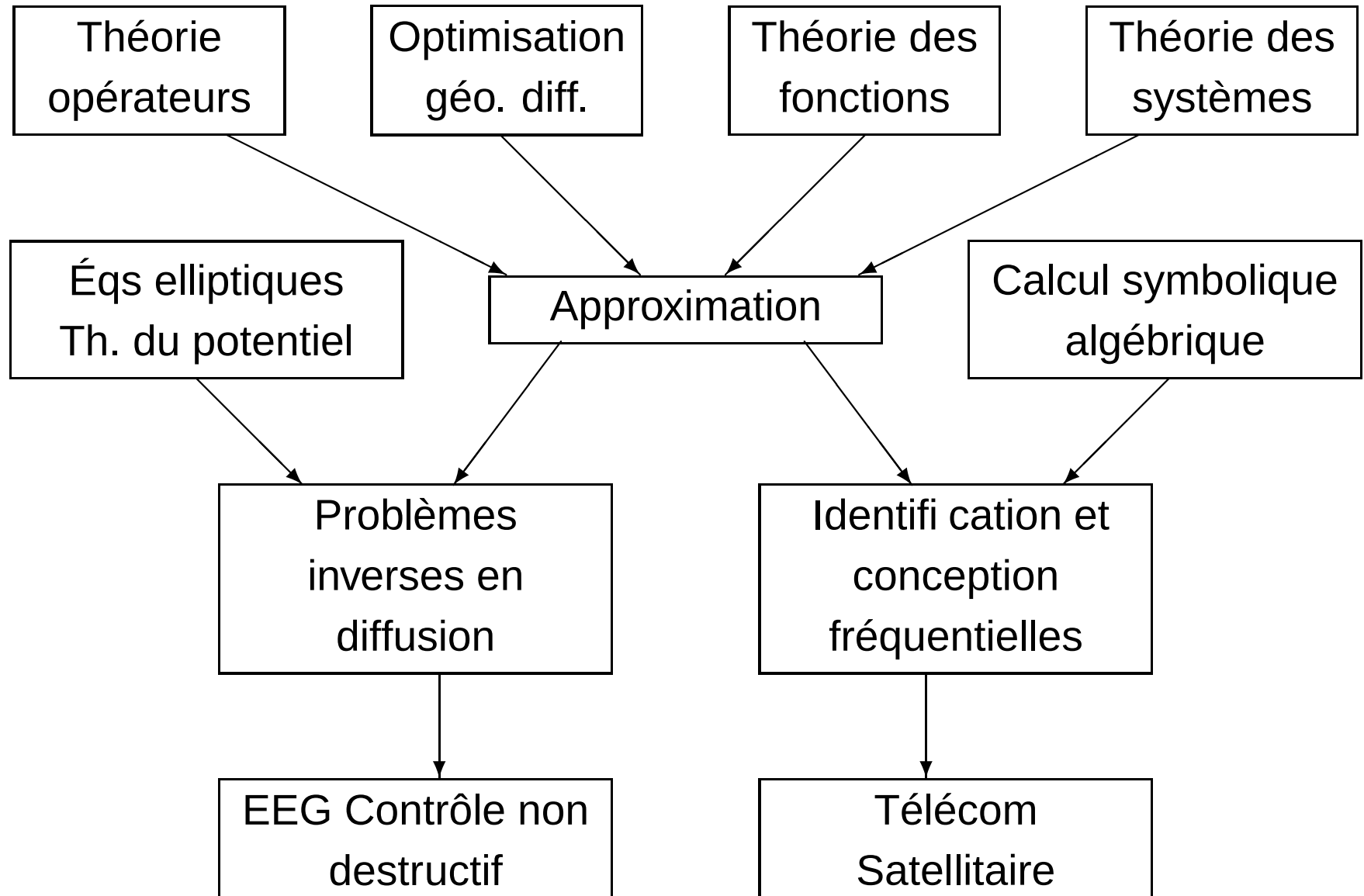
Thèmes Scientifiques

- Déclinaison technique :
 - Théorie des fonctions, Théorie des opérateurs, Analyse Harmonique
 - Théorie des systèmes, Optimisation, Calcul algébrique,
 - Contrôle non-linéaire, Equations différentielles,
 - Géométrie différentielle, Topologie différentielle, Calcul des variations, Mécanique classique,
 - Intégrabilité de systèmes d'EDP sur-déterminés, EDP elliptiques.
 - Analyse numérique, Programmation.

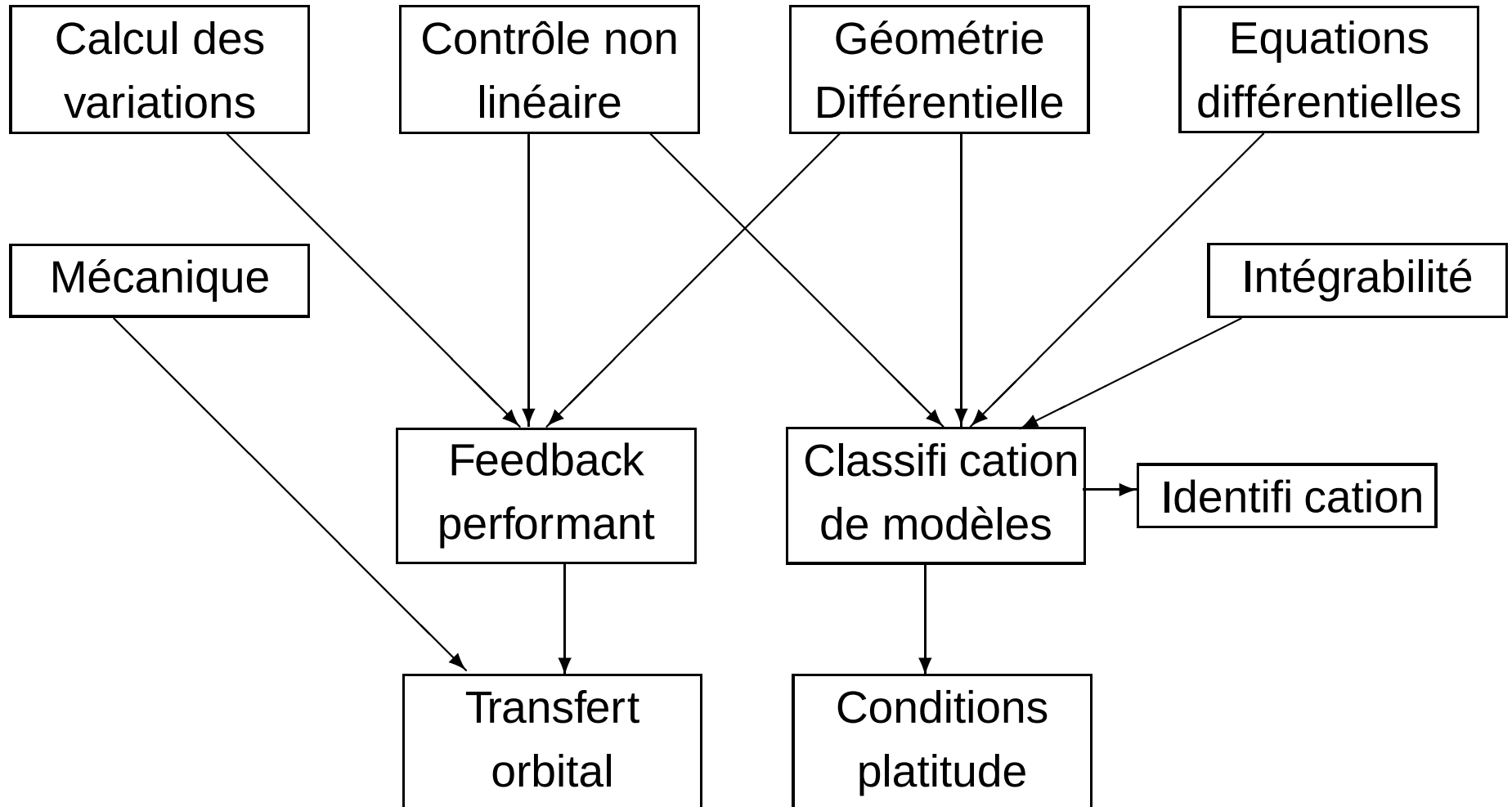
Thèmes Scientifiques

- Déclinaison applicative :
 - Conception et Optimisation de dispositifs de traitement du signal :
 - Filtrage en télécommunications,
 - Régénération de signaux optiques.
 - Contrôle et stabilisation en mécanique spatiale :
 - Commande de satellites,
 - Détection non invasive de défauts ou d'occlusions,
 - EEG, détection de foyers épileptogènes,
 - Détection de fissures, de mines, de corrosion,
 - Tomographie.

Analyse et problèmes inverses pour le signal



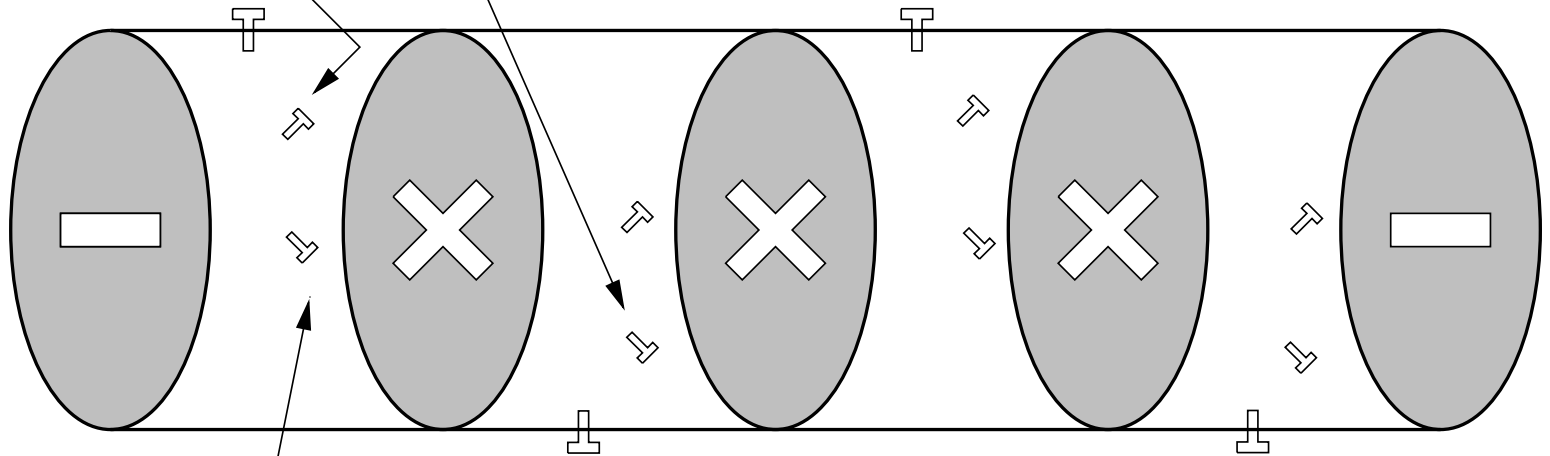
Analyse pour le contrôle



Suite de l'exposé présentée par Fabien Seyfert

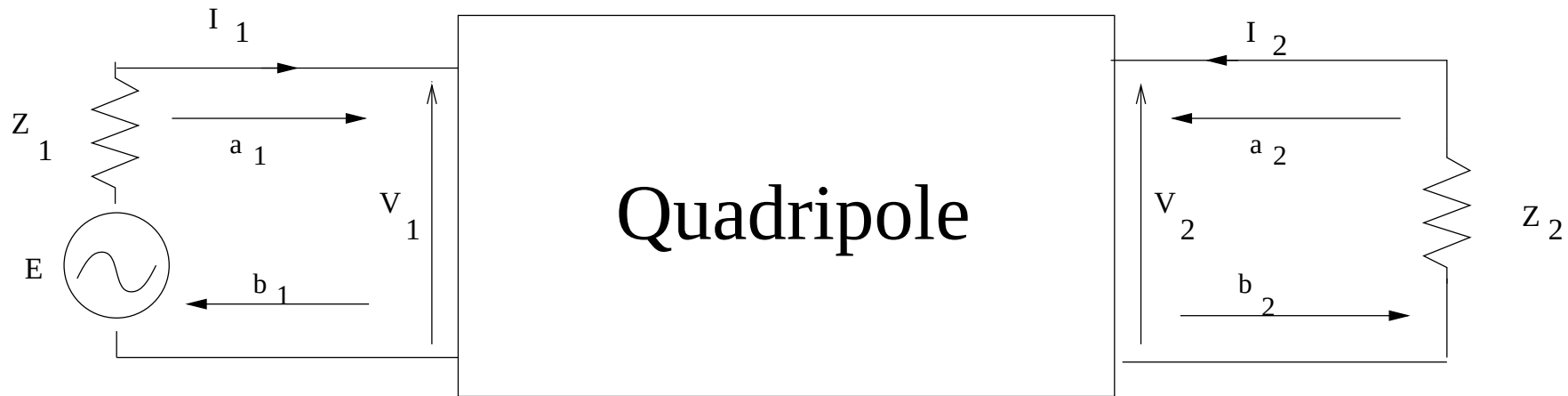
Filtrage hyperfréquence

VIS DE COUPLAGE



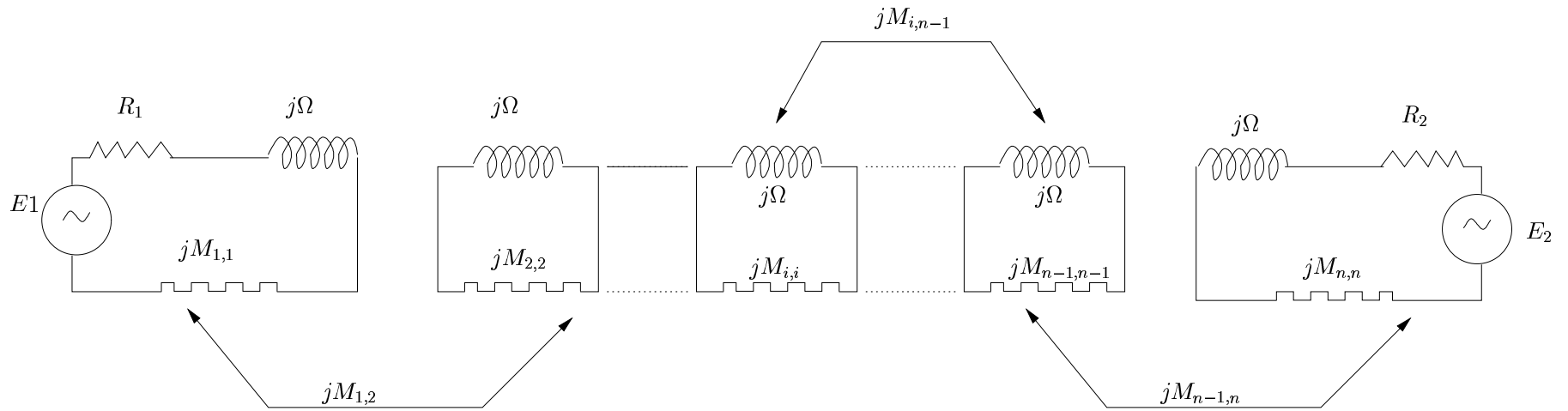
VIS DE REGLAGE

Un filtre vu comme un système linéaire conservatif



- $|S_{1,2}|^2 = \frac{\text{Puiss disponible en 2}}{\text{Puiss émise en 1}} = \frac{|b_2(\omega)|^2}{|a_1(\omega)|^2}, \quad b_1 = -\sqrt{Z_1}I_1 + \frac{E_1}{2\sqrt{Z_1}}$
- $|S_{1,1}|^2 = \frac{\text{Puiss disponible en 1}}{\text{Puiss émise en 1}} = \frac{|b_1(\omega)|^2}{|a_1(\omega)|^2}, \quad a_1 = \frac{E_1}{2\sqrt{Z_1}}$

Le modèle circuit (passe-bas)



Les équations d'état

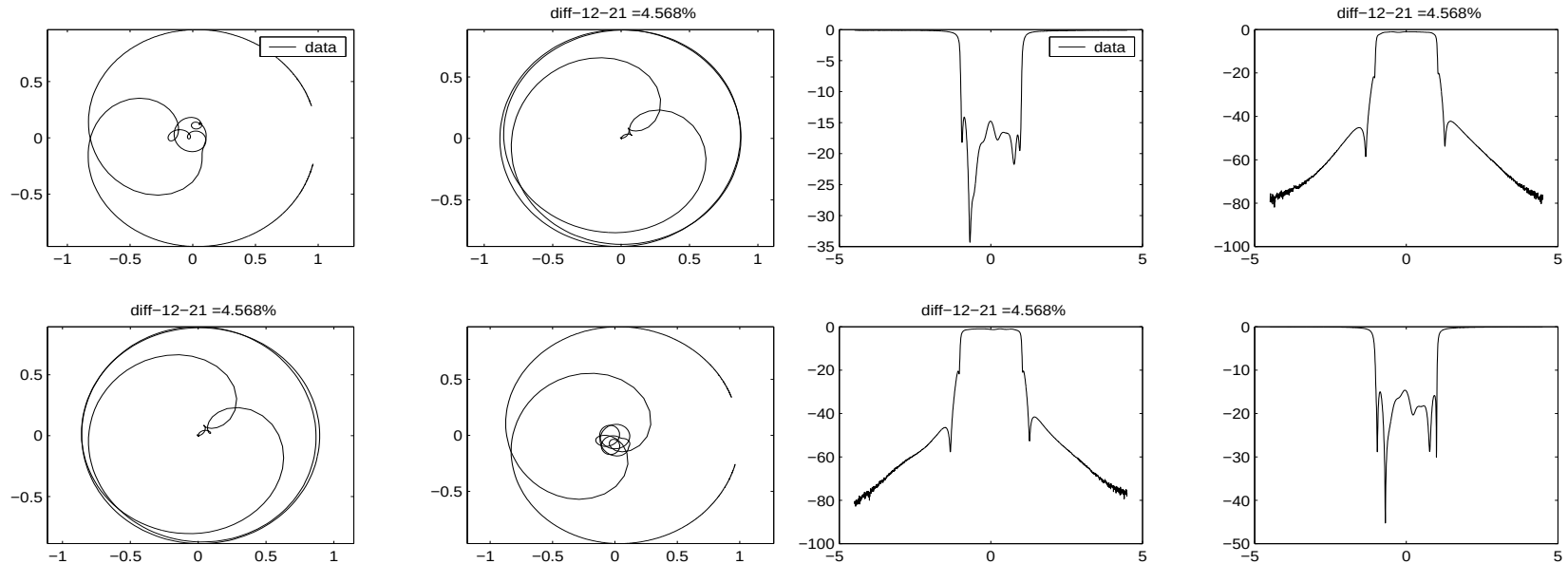
$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= Ax(t) + B \begin{bmatrix} a_1(t) \\ a_2(t) \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} b_1(t) \\ b_2(t) \end{bmatrix} &= Cx(t) + D \begin{bmatrix} a_1(t) \\ a_2(t) \end{bmatrix}\end{aligned}$$

Avec,

$$\begin{aligned}-A &= R + jM, A = A^t \\ C = B^t &= \begin{bmatrix} j\sqrt{2R_1} & 0 & \dots & \dots & 0 \\ 0 & \dots & \dots & 0 & j\sqrt{2R_2} \end{bmatrix}\end{aligned}$$

Matrice de répartition: $S(s) = C(sId - A)^{-1}B + Id$

Mesures, spécifications et paramètres physiques



- $S(iw)$: Mesures et spécifications
- Couplages: taille d'iris, enfoncement de vis

Synthèse et Identification

- Identification
 - A partir **MESURES** retrouver **jeux de couplages**
 - Géométrie des couplages donnée
 - Finalité: aide au réglage
- Synthèse
 - Déterminer **jeux de couplages** réalisant un **filtre** satisfaisant à des **spécifications** fréquentielles
 - Géométrie couplages et ordre du filtre: à déterminer

Stratégies par étapes

- Identification
 - Problème extrémal borné
 - Approximation rationnelle stable matricielle
 - Remontée vers les paramètres physiques
- Synthèse
 - Déterminer une matrice rationnelle satisfaisant aux specif. fréquentielles (problème d'approximation)
 - !!!: Compréhension de la relation:
matrice rationnelle $\leftrightarrow$ géométrie de couplage
 - Remontée vers les paramètres physiques

Problème extrémal borné mixte

Espace de Hardy: $H^2 = \{g \in L^2(\mathbb{T}), g \equiv \sum_{k=0}^{\infty} a_k z^k\}$

Gabarit: $M \in L^\infty(J), M \geq 0$

Modèles admissibles: $C_M = \{g \in H^2, |g(z)| \leq M(z) \text{ p.p sur } J\}$

$BEP_{2,\infty}$: Soit $f \in L^2(I)$ trouver $g_0 \in C_M$ telle que,

$$\|f - g_0\|_{L^2(I)} = \inf_{g \in C_M} \|f - g\|_{L^2(I)}$$

Résolution et lien avec l'optimisation convexe

- Remplace H^2 par un espace de polynômes de haut degré
- Traitement de la contrainte:
 - Echantillonnage sur J
 - Problème convexe quadratique
 - Analyse: borne sur l'erreur liée à l'échantillonnage
 - Dualité lagrangienne pour la résolution

$$\max_{(\lambda_i) \geq 0} \min_{p \in P_n} \|f - p\|_{L^2(I)} + \sum_{i=0}^k \lambda_i (|p(x_i)|^2 - M(x_i)^2)$$

- Dualisation
 - Problème d'optimisation sur un ensemble de formes positives
 - Caractérisation: positivité matricielle (Analyse)
 - Point intérieur, LMI

Approx. rationnelle en module, analyse convexe

$$\exists (p, q) \in P_n, \forall w \in \mathbb{R} \quad l(w) \leq \left| \frac{p(w)}{q(w)} \right| \leq u(w)$$

- Echantillonnage
 - Programme linéaire
 - Numerique très délicate
- Dualisation
 - Problème sur les formes positives
 - Points intérieurs, LMI

Remontée vers les paramètres physiques

Forme d'état **paramétrée**:

$$\begin{aligned} p \in \mathbb{C}^r, \quad \dot{x}(t) &= A(p)x(t) + B(p)u(t) \\ y(t) &= C(p)x(t) \end{aligned}$$

Prise du transfert:

$$\begin{aligned} \pi_\sigma : \mathbb{C}^r &\rightarrow (\mathbb{C}^{k \times m})^{2n} \\ p &\rightarrow (C(p)B(p), \dots, C(p)A^{2n-1}(p)B(p)) \end{aligned}$$

Variété des transferts **réalisables**: $V(\sigma) = \overline{\pi_\sigma(\mathbb{C}^r)}$

Les ensembles intéressants:

$$\begin{aligned} p \in \mathbb{C}^{r_1}, \quad E_{\sigma_1}(p) &= \{q \in \mathbb{C}^{r_1}, \pi_{\sigma_1}(q) = \pi_{\sigma_1}(p)\} \\ p \in \mathbb{C}^{r_2}, \quad E_{\sigma_1, \sigma_2}(p) &= \{q \in \mathbb{C}^{r_1}, \pi_{\sigma_1}(q) = \pi_{\sigma_2}(p)\} \end{aligned}$$

Remontée vers les paramètres physiques

- Ce qui existe
 - Critère pour l'identifiabilité
 - Formulation algébrique efficace pour le calcul effectif de $E_{\sigma_1, \sigma_2}(p)$
 - Code Maple prototypique pour la mise en équation - Base Groebner, RUR - Collaboration Spaces
- Ce qui reste à faire
 - Conjecture sur l'existence d'une **solution réelle** pour système conservatif
 - Étape de **projection** après l'approx. rationnelle lors de l'identification
 - Ecriture d'une boîte à outils à destination du monde du filtrage

Partenaires et logiciels

- Filtrage: CNES, IRCOM, Alcatel
- Outils algébriques: Spaces, Coprin, Galaad
- Logiciels: Hyperion, RARL2, RGC, Presto_HF (en service chez Alcatel pour la synthèse et le réglage de filtres)
- Projet logiciel
 - Bibliothèque pour l'optimisation fréquentielle
 - Boîte à outils pour la synthèse de filtre

Problème pratique ouvert: la synthèse de **multiplexeurs**.

Suite de l'exposé présentée par Martine Olivi

Représentations externe-interne

$$F(z) = D + C (z I_n - A)^{-1} B$$

fct transfert
matrice de répartition

réalisation min.
non unique

spécifications/données
param. optimisation

modèles
param. physiques

n degré de McMillan.

Approximation rationnelle

Dans $\bar{H}^2$: Hardy de l'extérieur du disque (stabilité).

$$F(z) \in \bar{H}^2,$$

$$\min_{H(z) \in \mathcal{R}_n} \|F(z) - H(z)\|_{L^2},$$

$\mathcal{R}_n$ fcts rationnelles, stables ($|\text{pôles}| < 1$), degré McMillan n .

- Filtrage hyperfréquence.
- Contrôle non-destructif.
- Filtres ondes de surface, OMUX ??

Problème non-convexe, matriciel.

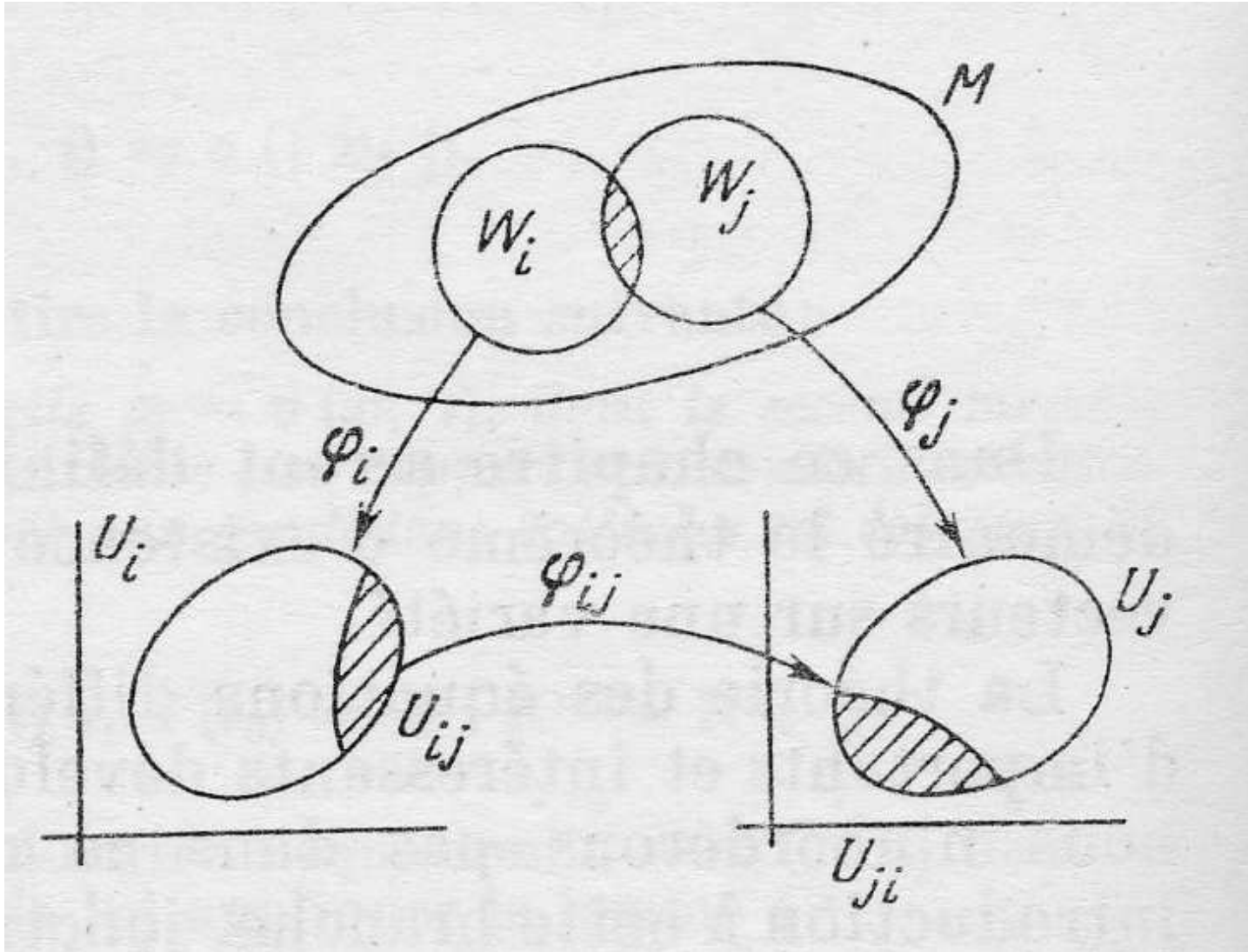
Méthode de résolution

Algorithme de descente sur la variété des matrices intérieures de degré fixé.

- **Paramétrage** = atlas de cartes (local),
 - autorise outils différentiels,
 - contraintes (degré, stabilité) prises en compte.
- **Initialisation récursive sur le degré.**
Bord=fonctions degré $< n$.
Min deg k (point initial) $\rightarrow$ min deg $k + 1$ (meilleur).

Possiblement plusieurs minima locaux, mais unicité si $F(z)$ de degré n (consistance).

Atlas de cartes



Atlas-Implémentation

Atlas construits à partir d'algorithmes de Schur matriciels.

- Alpay, Baratchart, Gombani (1994).
 - **Logiciel HYPERION**, fonction **arl2** (*José Grimm*).
 - Représentation polynomiale.
 - C++, optimiseur performant.
- Hanzon, Olivi, Peeters (ECC 1999).
 - **Logiciel RARL2** (*Jean-Paul Marmorat*)
 - Représentation interne : $G(z) = D + C(zI - A)^{-1}B$,
 $\begin{bmatrix} D & C \\ B & A \end{bmatrix}$ matrice unitaire (bon comp. numérique).
 - Matlab.
 - Carte adaptée : forme de Schur (A triangulaire).

Problèmes pour APICS

- Paramétrer des classes de fonctions contraintes (5.1.5)

- fonctions réelles (CDC03),
- fonctions symétriques,
- filtres à ondes de surface (6.2).

L. Baratchart, P. Enqvist, A. Gombani, J.P. Marmorat, M. Olivi

- Paramétrer des réalisations contraintes (5.1.5)

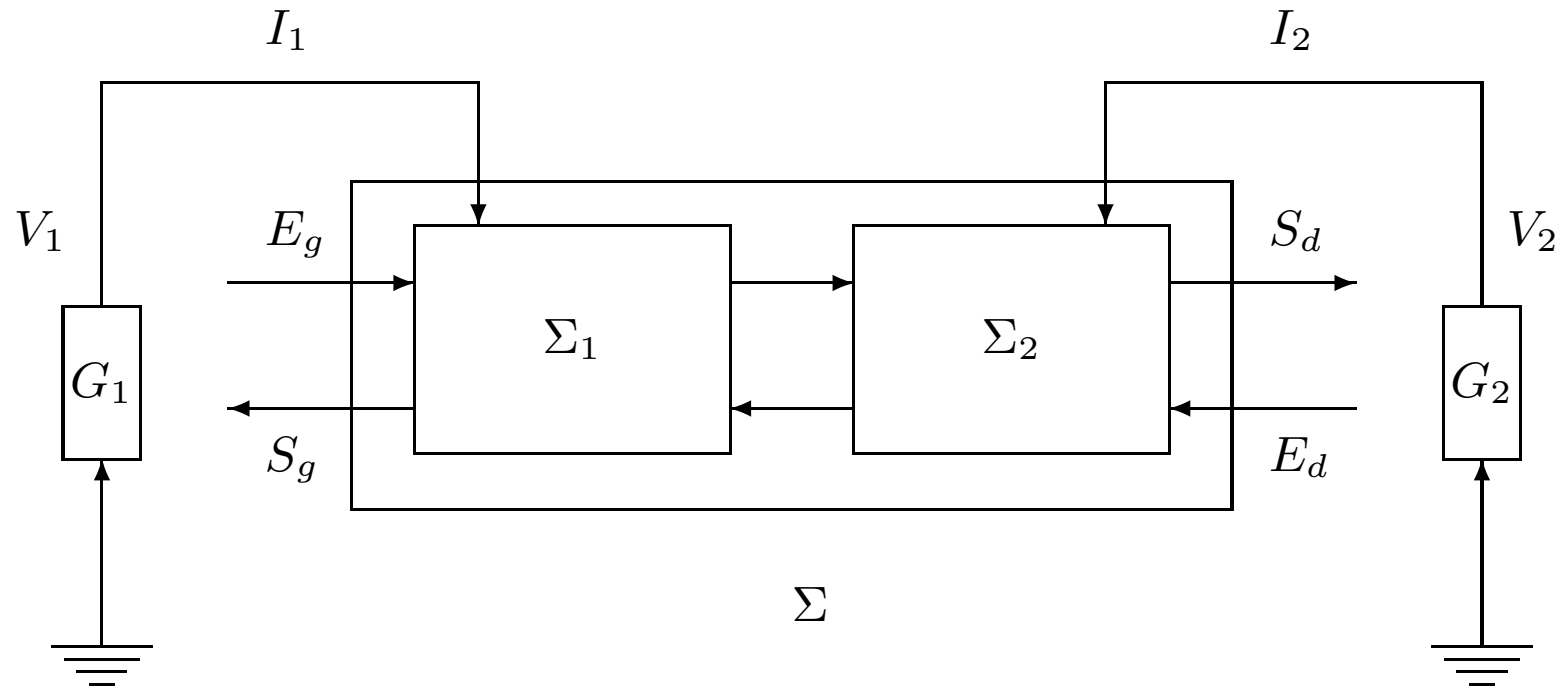
J.P. Marmorat, M. Olivi, F. Seyfert

- Algorithmes d'approximation (5.1.3 et 5.1.6)

- convergence,
- topologie du bord, stratégies d'optimisation,
- approximation pondérée.

*L. Baratchart, J. Grimm, J. Leblond, J.P. Marmorat, M. Olivi,
F. Seyfert*

Filtres à ondes de surface



Synthèse : trouver les **paramètres physiques** (coefficients de réflexion, efficacité des sources) d'un filtre dont la **fonction de transfert électrique** est spécifiée (gabarit).

(6.2) *L. Baratchart, P. Enqvist, A. Gombani, M. Olivi*

Filtres à ondes de surface

Peut-on appliquer nos méthodes d'approximation?

- **Fonctions de transfert contraintes :**

- conservation énergie $\rightarrow$ matrices **intérieures**,
- loi réciprocité $\rightarrow$ matrices **symétriques**,
- ondes $\rightarrow$ **conditions de parité ?**
- Fonction de transfert électrique S contractive (Schur), admet une **extension conservative, symétrique, de degré**

minimal
$$\begin{bmatrix} * & * \\ * & S \end{bmatrix}$$
 (synthèse de Darlington).

- **Objectifs :** déterminer la **classe des fonctions S** et définir un **modèle de référence.**

Suite de l'exposé présentée par Juliette Leblond

Participants et sections du document



Problème inverse : sources ponctuelles

- électroencéphalographie (EEG), modèle sphérique, 3D :
boule $\Omega \subset \mathbb{R}^3$, union couches sphériques homogènes (scalp, crâne, LCR, cerveau, ...) $\Omega_i, i \geq 0$, conductivité $\sigma|_{\Omega_i} = \sigma_i$ constante / morceaux

$\{S_j, C_k\}$ foyers épileptogènes

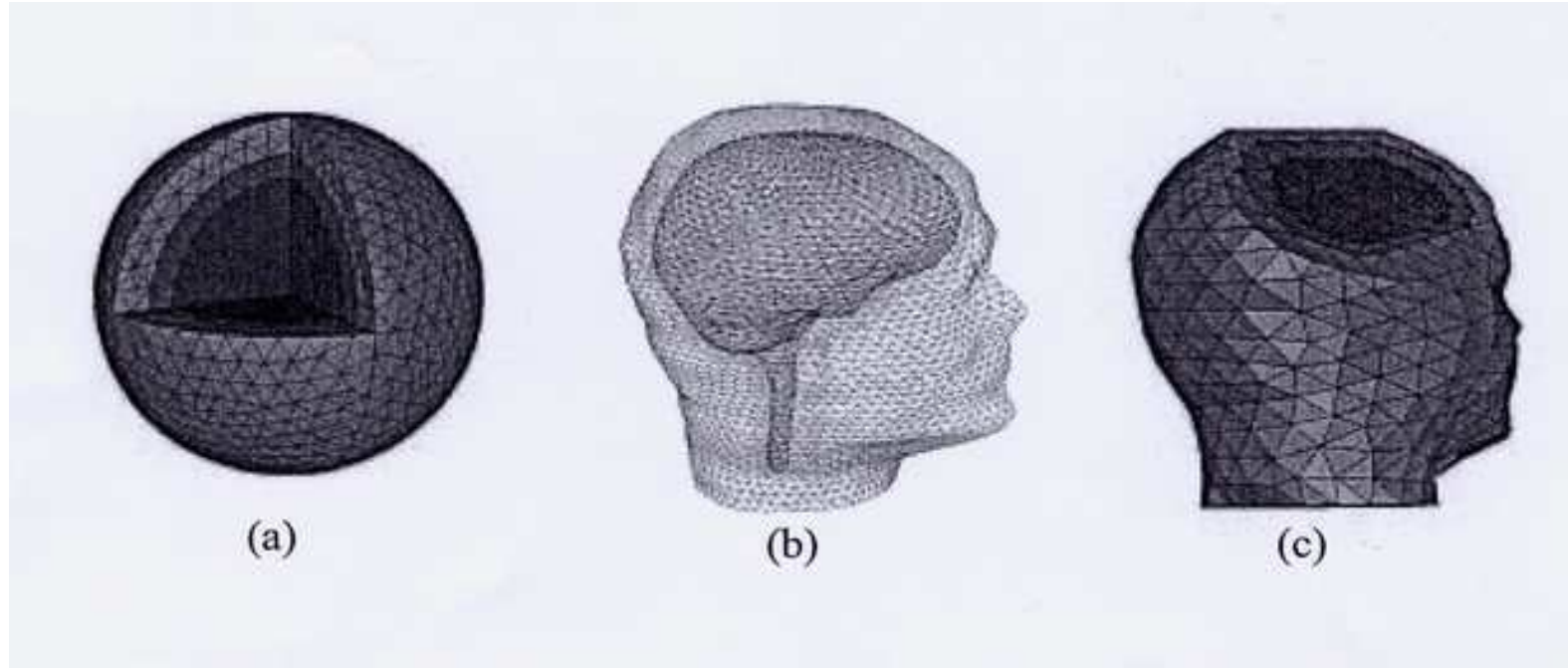
$$-\nabla \cdot (\sigma \nabla u) = F = \sum_{j=1}^{m_1} \lambda_j \delta_{S_j} + \sum_{k=1}^{m_2} p_k \cdot \nabla \delta_{C_k} \text{ dans } \Omega$$

données : mesures $\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial u}{\partial \nu}|_{\partial \Omega} = \phi \text{ flux de courant } (= 0) \\ u|_{\partial \Omega} = g \text{ diff. potentiels} \end{array} \right.$

trouver : m_1, m_2 sources mono- et dipolaires

$\{S_j, C_k\} \subset \Omega_0$, moments λ_j, p_k inconnus

Problème inverse : sources ponctuelles



...et boule homogène $\Omega = \Omega_0$:

• $\Omega = \mathbb{B} \subset \mathbb{R}^3$

• $\Omega = \mathbb{D} \subset \mathbb{R}^2$

En 2D, harmonique / analytique

- condition de compatibilité ϕ, λ_j
- convolution avec solution fondamentale $\Delta \longrightarrow u(X)$
- $\mathbb{R}^2 \simeq \mathbb{C}, X = (x, y)^t \rightarrow \xi = x + i y$, **variable complexe**

$$u = \operatorname{Re} f$$

$$f(\xi) = \mathcal{A}(\xi) - \sum_{j=1}^{m_1} \frac{\lambda_j}{2\pi} \log \frac{1}{\xi - S_j} + \sum_{k=1}^{m_2} \frac{p_k}{2\pi (\xi - C_k)}$$

$\xi \in \mathbb{D} \setminus \{S_j, C_k\}$, $\mathcal{A}$ **analytique** dans $\mathbb{D}$

En 2D, retrouver défauts d'analyticité

- fonction f analytique dans $\mathbb{D} \setminus \{S_j, C_k\}$
- f connue (mesures) sur la frontière $\partial\Omega = \mathbb{T}$ (équ. Cauchy-Riemann) :

$$f|_{\mathbb{T}} = g + i \int \phi, \text{ lisse si } \phi \in L^2(\mathbb{T})$$

- $f - \mathcal{A} \in \bar{H}^2 \rightarrow r_n$, meilleur approximant rationnel $L^2(\mathbb{T})$, dont les n pôles “localisent” singularités de f dans $\mathbb{D}$:
 - cas dipolaire $m_1 = 0$: $f - \mathcal{A}$ déjà rationnelle, pôles de $r_n \simeq \{C_k\}$, $n \geq m_2$
 - $m_1 \neq 0$: pôles de r_n “convergent” vers singularités log et pôles $\{S_j, C_k\}$

En savoir plus...

.. sur le comportement asymptotique des pôles des meilleurs approximants rationnels L^2 d'intégrales de Cauchy

$$f(z) = \int_{\gamma} \frac{d\mu(\xi)}{z - \xi}$$

mesure μ régulière sur $\gamma \subset \mathbb{D}$ joignant $\{S_j, C_k\}$

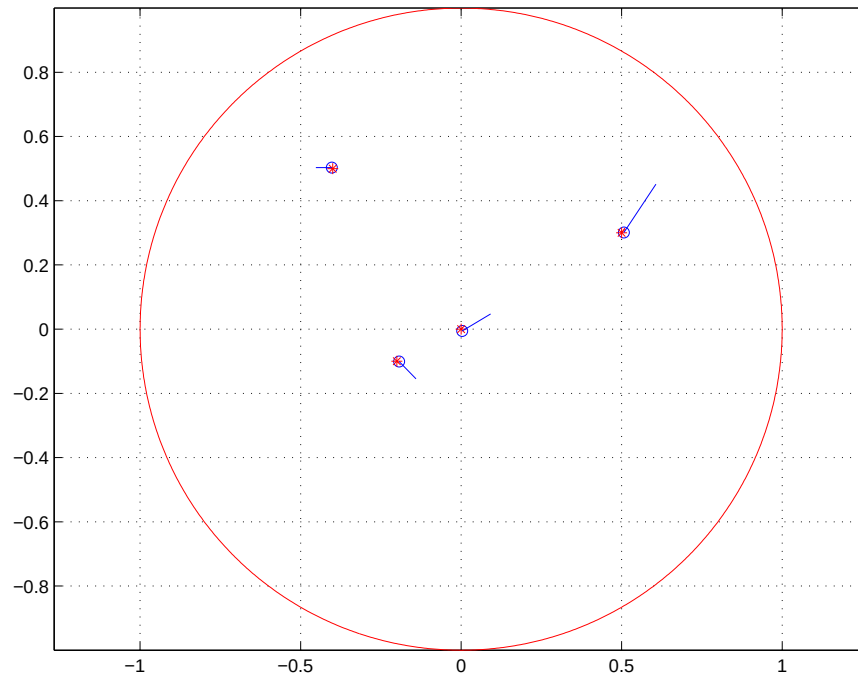
mesure de comptage des pôles des approximants converge faible-* vers mesure d'équilibre du contour $\mathcal{C}$ joignant $\{S_j, C_k\}$ et minimisant la capacité du condensateur $(\mathbb{T}, \mathcal{C})$

aussi γ fissure ; 0 de polynômes orthogonaux

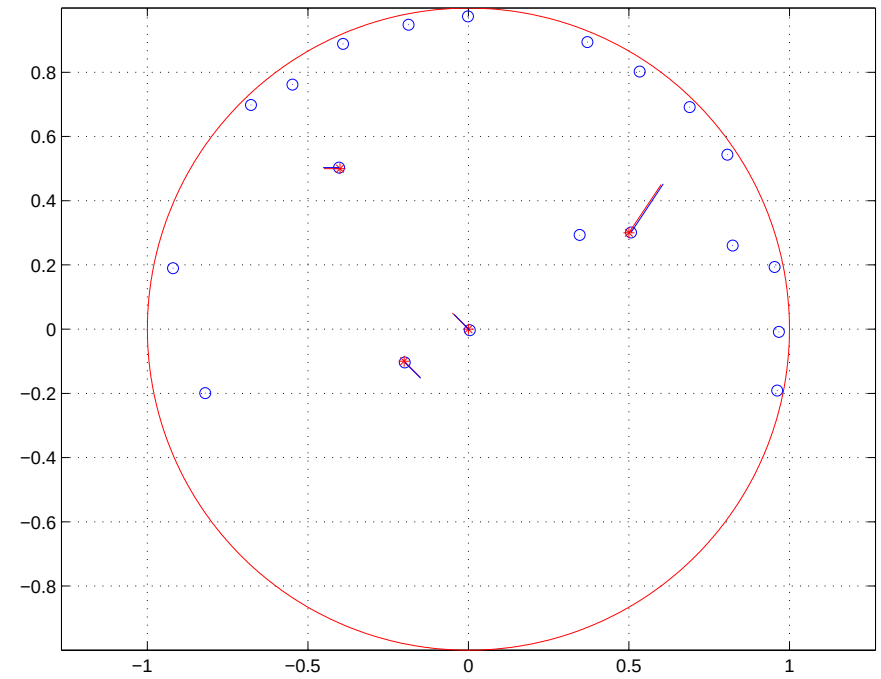
Simulations numériques 2D

- résolution du pb direct associé (selon $\{C_k, S_j\}$) :
 $\phi \longrightarrow g = u|_{\mathbb{T}}$, “ pdetool ” Matlab (él. finis P1)
- $f = g + i \int \phi$ sur $\mathbb{T}$ et $f - \mathcal{A}$ (coefficients de Fourier d'indice < 0)
- Rarl2 (Matlab) ou Hyperion (C++) $\longrightarrow r_n$
- pôles $r_n \longrightarrow \{C_k, S_j\}$

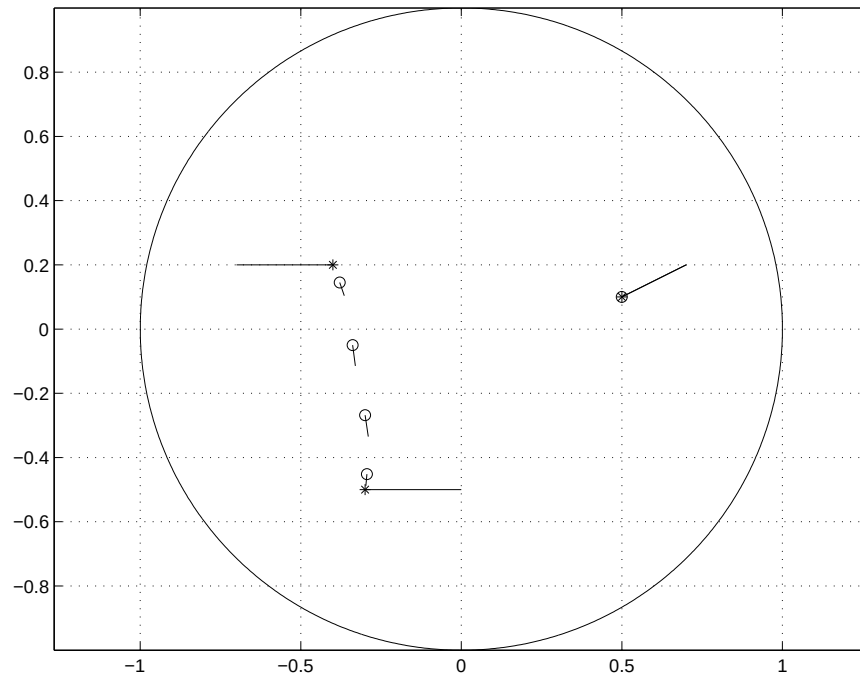
4 dipôles, $n = 4$



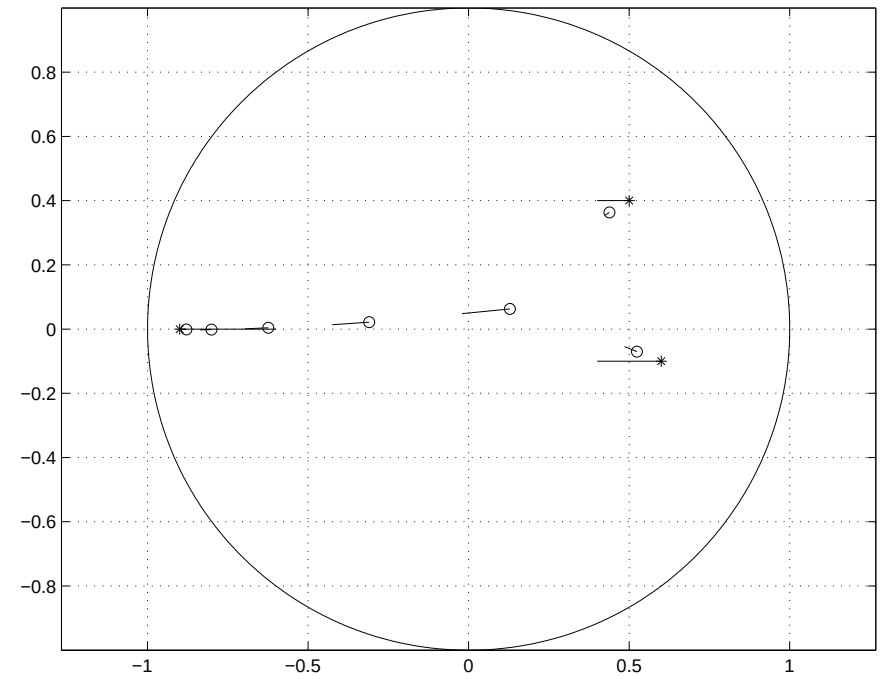
4 dipôles, $n = 20$



2 monopôles, 1 dipôle, $n = 5$



3 monopôles, $n = 7$



En 3D, $\Omega = \mathbb{B} \rightarrow \cup_p D_p \rightarrow D_p$, en 2D

$X \simeq \xi = x + i y \in \mathbb{B} \setminus \{S_j, C_k\} \cap D_p$, disque $\{z = z_p\}$

$$u_p(\xi) \simeq - \sum_{j=1}^{m_1} \frac{\Lambda_j}{(\xi - \xi_{j,p})^{1/2}} + \sum_{k=1}^{m_2} \frac{P_{k,p}(\xi)}{(\xi - \xi_{k,p})^{3/2}}$$

singularités $\xi_{j,p} \in D_p$ dépendent de p et S_j :

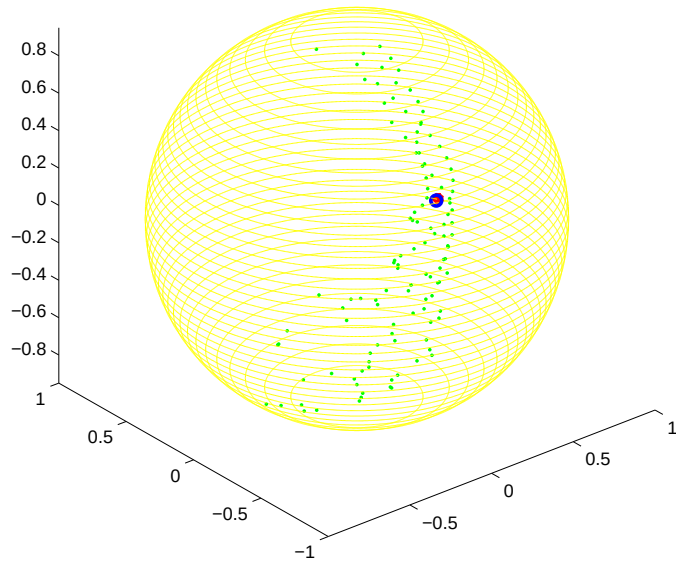
- $(\xi_{j,p})_p$ et ξ_j (affixe S_j) alignés
- module maximum en $z_p = z_j$, coïncide alors avec S_j (idem pour $\xi_{k,p} \in D_p$ et C_k)
- 1 source : u_p^2 rationnelle
- plusieurs sources : singularités $\checkmark$

Simulations numériques 3D

- résolution du pb direct associé (selon $\{C_k, S_j\}$) : $\phi \longrightarrow g = u|_{\mathbb{B}}$
par calcul explicite ou maillage surfacique (Odyssée)
- pré-traitement, **harmoniques sphériques** $\longrightarrow u_p$ sur $T_p \dots$
- pour chaque p , **Rarl2** ou **Hyperion** $\longrightarrow \xi_{j,p}, \xi_{k,p}$
- post-traitement... $\longrightarrow \{C_k, S_j\}$

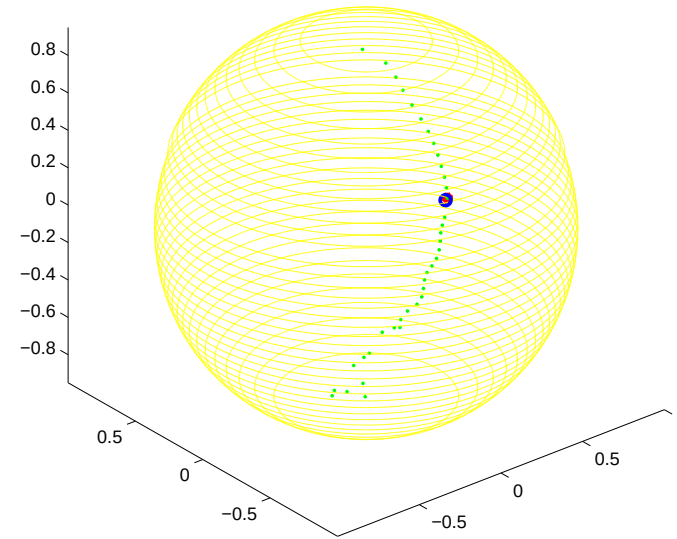
1 dipôle, maillage, $n = 3$

40 tranches p , $n=3$

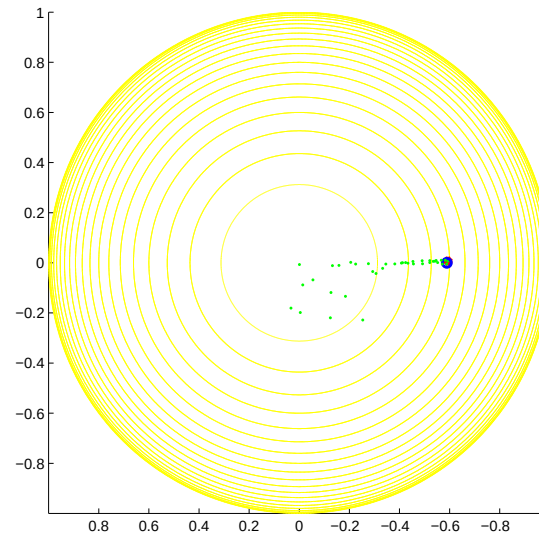


True source
Expected source

moyenne des 3 pôles / tranche

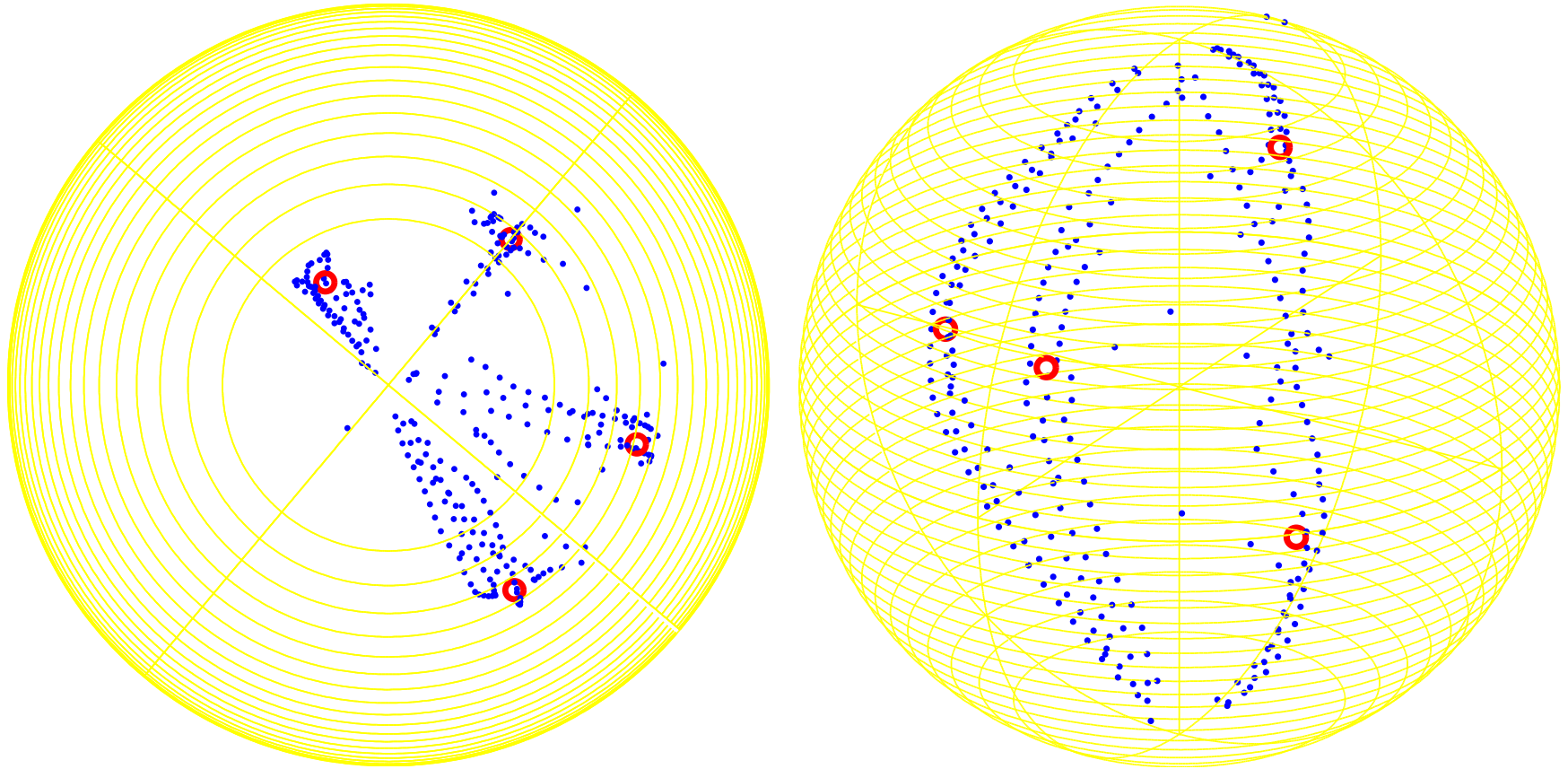


True source
Expected source



True source
Expected source

4 dipôles, explicite, $n = 12$

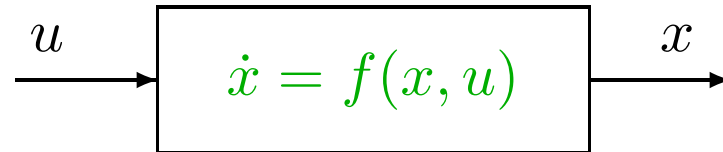


Et d'autres problèmes, inverses...

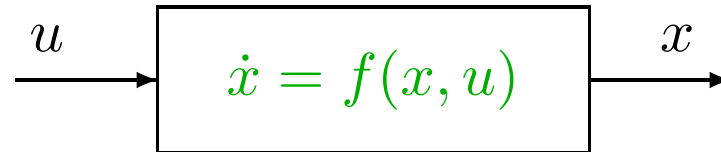
- pré-/post-traitements, données expérimentales, MEG ?
- sources distribuées ? potentiels évoqués ?
- domaines réalistes et **transformations conformes** ?
- “ vraie ” **approximation 3D...** ??
- en 2D, fissures, données incomplètes, petites inclusions
- coefficients frontière, disque ou couronne, et stabilité (H^2 , **problèmes extrémaux bornés**) ; géométrie frontière...
- conductivité variable et autres opérateurs elliptiques (Helmholtz), pb inv. conductivité ??

Suite de l'exposé présentée par Jean-Baptiste Pomet

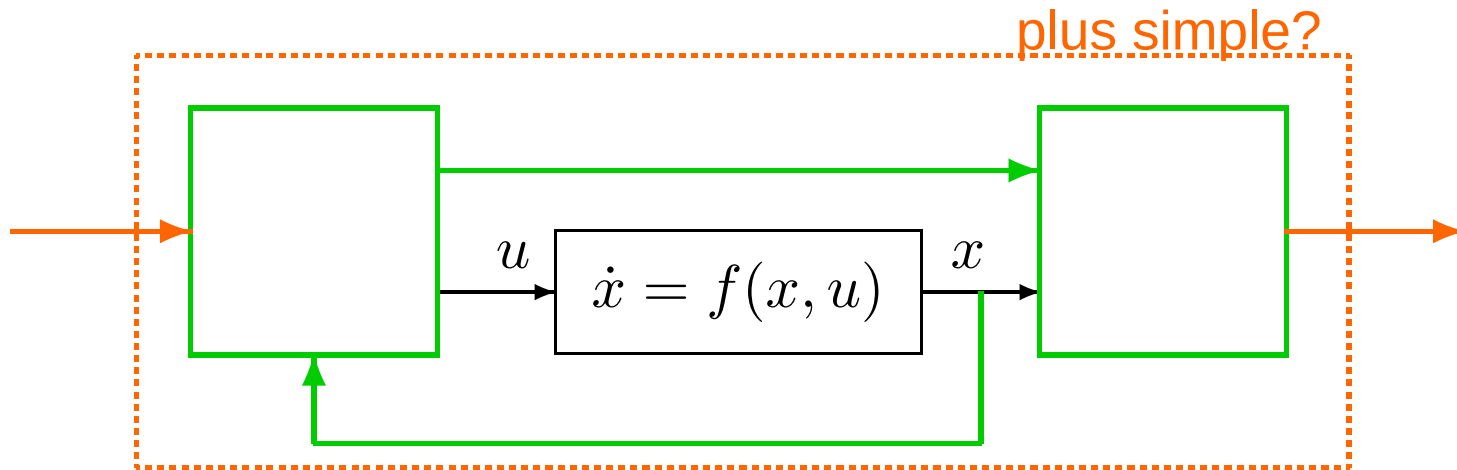
Classification de modèles



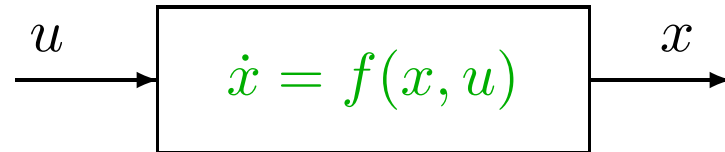
Classification de modèles



Motivation : contrôle. Se ramener à un modèle mieux connu.



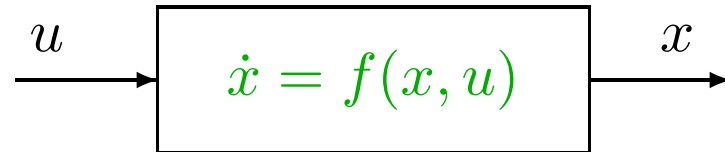
Classification de modèles



Motivation : contrôle. Se ramener à un modèle mieux connu.

Motivation : “Identification non-linéaire”. Structure de la classe des modèles linéaires ► identification linéaire...
... et les modèles non-linéaires ?

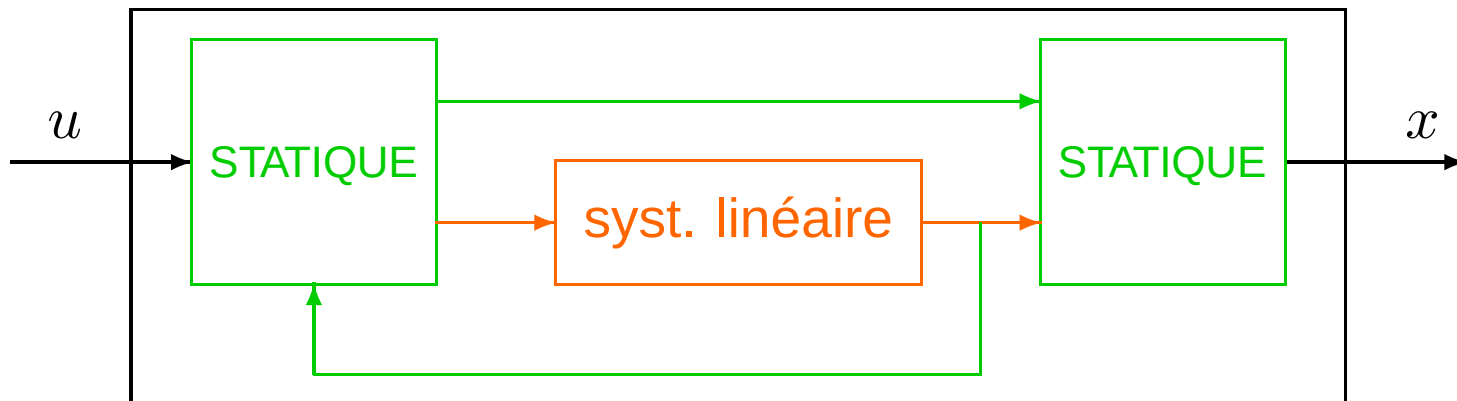
Classification de modèles



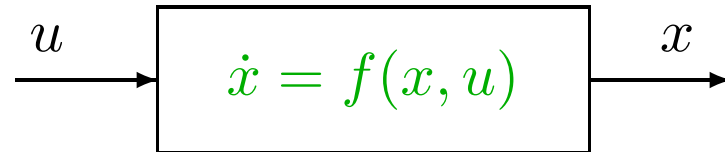
Motivation : contrôle. Se ramener à un modèle mieux connu.

Motivation : “Identification non-linéaire”. Structure de la classe des modèles linéaires ► identification linéaire...
... et les modèles non-linéaires ?

- Quels modèles “rendent compte de la même réalité” ?
- Quelle est la généralité de ▼ ?



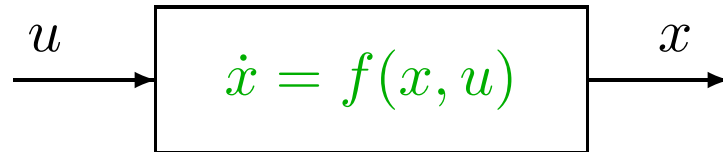
Classification de modèles



Motivation : contrôle. Se ramener à un modèle mieux connu.

Motivation : “Identification non-linéaire”. Structure de la classe des modèles linéaires ► identification linéaire...
... et les modèles non-linéaires ?

Classification de modèles

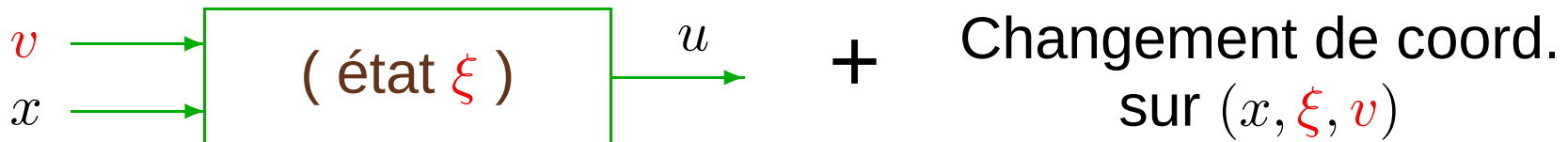


Motivation : contrôle. Se ramener à un modèle mieux connu.

Motivation : “Identification non-linéaire”. Structure de la classe des modèles linéaires ► identification linéaire...
... et les modèles non-linéaires ?

Transformations sur l'ensemble des signaux

- statiques ou dynamiques,
- différentiable ou non.



Systèmes “plats”, caractérisation

$$\dot{x} - f(x, u) = 0$$

- **Problème** : équiv. dynamique à système linéaire ou paramétrage “libre” de l’ensemble des solutions $(x(t), u(t))$.
- **Histoire** : 1905-1920: Zervos, Hilbert, Cartan... , 1992-20xx: Fliess & al (CAS)
- **Difficulté** : tester existence de fonctions $h(x, u, \dot{u}, \dots, u^{(K)})$ vérifiant $\mathcal{EDP}(h) = 0$.
- **MIAOU** : “intégrabilité formelle” à une $\infty^{\text{té}}$ de variables.
- **APICS** : conditions explicites ?!
Collaboration avec V. Chetverikov, Moscou,
contacts étroits avec CAS (EMP, Fontainebleau).

Systèmes “plats”, caractérisation

$$\dot{x} - f(x, u) = 0$$

- **Problème** : équiv. dynamique à système linéaire ou paramétrage “libre” de l’ensemble des solutions $(x(t), u(t))$.
- **Histoire** : 1905-1920: Zervos, Hilbert, Cartan... , 1992-20xx: Fliess & al (CAS)
- **Difficulté** : tester existence de fonctions $h(x, u, \dot{u}, \dots, u^{(K)})$ vérifiant $\mathcal{EDP}(h) = 0$.
- **MIAOU** : “intégrabilité formelle” à une $\infty^{\text{té}}$ de variables.
- **APICS** : conditions explicites ?!
Collaboration avec V. Chetverikov, Moscou,
contacts étroits avec CAS (EMP, Fontainebleau).

Un système pour lequel on ne sait pas décider :

$$\begin{cases} \dot{x} = u \\ \dot{y} = v + zu \\ \dot{z} = v^2 + uv \end{cases}$$

Stabilisation $\Leftrightarrow$ Contrôle optimal

Contrôle optimal. Performant (optimal !) mais: calcul numérique difficile, résultat = contrôle en boucle ouverte très sensible au modèle et perturbations, peu robuste.

Feedback stabilisant. Robuste par nature, mise en oeuvre simple, mais pas de quantification des performances a priori.

►► Demande :

Feedback presque optimal ??

Contrôle optimal	Quantitatif (ex: T. min.)	unicité boucle ouverte	fonction valeur	HJB
Stabilisation	Qualitatif	$\infty^{\text{té}}$ de sol. boucle fermée	“ c L f ”	inéq. d'Artstein

Prototype: transfert orbital en poussée faible

Prototype: transfert orbital en poussée faible

$$\ddot{X} = \underbrace{-\mu \frac{X}{\|X\|^3}}_{\text{gravitation}} + \underbrace{\Gamma}_{\text{contrôle, ou accélération perturbatrice}}, \quad X \in \mathbb{R}^3, \quad \boxed{\frac{\Gamma_{max}}{|\text{gravitat.}|} \approx 10^{-3}}$$

... mais moteurs “économiques”.

Prototype: transfert orbital en poussée faible

$$\ddot{X} = \underbrace{-\mu \frac{X}{\|X\|^3}}_{\text{gravitation}} + \underbrace{\Gamma}_{\text{contrôle, ou accélération perturbatrice}}, \quad X \in \mathbb{R}^3, \quad \boxed{\frac{\Gamma_{max}}{|\text{gravitat.}|} \approx 10^{-3}}$$

Variables $(X, \dot{X}) \Leftrightarrow (Y, \theta)$ $\begin{cases} \dot{Y} = B_1(Y, \theta)\Gamma \\ \dot{\theta} = a(Y, \theta) + B_2(Y, \theta)\Gamma \end{cases}$

Mécanique : pb. des 2 corps perturbé,

$Y = 5$ intég premières, $\{Y = C^{te}\}$: traj. Képlériennes.

Temps minimum idéal $\equiv 100$ jours.

Demande: loi robuste à: perturbations, éclipses, arrêts..

Prototype: transfert orbital en poussée faible

$$\ddot{X} = \underbrace{-\mu \frac{X}{\|X\|^3}}_{\text{gravitation}} + \underbrace{\Gamma}_{\text{contrôle, ou accélération perturbatrice}}, \quad X \in \mathbb{R}^3, \quad \boxed{\frac{\Gamma_{max}}{|\text{gravitat.}|} \approx 10^{-3}}$$

Variables $(X, \dot{X}) \Leftrightarrow (Y, \theta)$ $\begin{cases} \dot{Y} = B_1(Y, \theta)\Gamma \\ \dot{\theta} = a(Y, \theta) + B_2(Y, \theta)\Gamma \end{cases}$

Mécanique : pb. des 2 corps perturbé,

$Y = 5$ intég premières, $\{Y = C^{te}\}$: traj. Képlériennes.

Temps minimum idéal $\equiv 100$ jours.

Demande: loi robuste à: perturbations, éclipses, arrêts..

APICS: Géométrie synthèse optimale + méthodes “Lyapunov”.

A Sophia, “autom. spatiale”: Alcatel Space, APICS, CMA.

Ailleurs en France sur ce pb. précis: CNES Toulouse, ENSIEETH, Ecole de Mines CAS, Orsay, Univ. de Bourgogne, projet SYDOCO.

Optique non-linéaire

Régulation d'un "interféromètre Mac Zehnder",
dispositif tout-optique de régénération de signaux numériques
très haut débit portés par ondes lumineuses.

Contrat d'un an Alcatel CIT, **terminé**.

Résultat: un brevet, "inventeurs": AB, FS, JBP.

- Contribution principale: analyse et modélisation.
Contrôle linéaire (multivariable) plutôt sommaire.
- Progrès possibles: amélioration de la modélisation de
l'évolution des puissances moyennes de signaux (kHz) alors
que les phénomènes sont à petite échelle de temps (GHz).
Analyse harmonique ?

A moyen terme pour APICS:

veille sur ce sujet, progrès en interne.

Fin de l'exposé présentée par Laurent Baratchart

Politique logicielle

- Avec l'expérience acquise *via* [Hyperion](#), [RARL2](#), [RGC](#), [PRESTO-HF](#), développer une bibliothèque dédiée à l'approximation et l'optimisation fréquentielle dont les modules soient [appelables](#) depuis Matlab, [utilisation prévue d'autres outils] (J. Grimm, J.P. Marmorat, F. Seyfert).
- Possibilité de portage de certains des modules précédents dans Scilab (J.Grimm, J.P. Marmorat).
- Développement d'un logiciel intégré sous Matlab dédié à la synthèse de filtres avec paramétrage de la géométrie des couplages et appel à des algorithmes de résolution de systèmes algébriques (F. Seyfert).

Politique logicielle

- Développement de code prototypique pour :
 - le contrôle en mécanique spatiale, notamment le transfert orbital (J. Grimm).
 - les problèmes inverses de sources en dimension 3 (J. Grimm, J.P. Marmorat).

Liens avec d'autres équipes INRIA

BIPOP (commande NL, mécanique), **CAFE** (calcul différentiel formel), **CAIMAN** (EEG, commande satellites), **COMORE** (Commande NL), CONGE (Commande NL), **COPRIN** (calcul algébrique), MERE (commande d'EDP), E-MOTION (linéarisation dynamique), ESTIME (pb inverses), **GALAAD** (calcul algébrique), **ICARE** (Commande NL), METALAU (logiciel commande), **ODYSSEE** (Pb Inv. EEG), ONDES (pb inverses), **OPALE** (pb inv.), **SCILAB** (méthodes numériques pour l'optimisation fréquentielle), **SIGMA2** (identification), **SPACES** (calcul algébrique), SOSSO (commande et identification), SYDOCO (commande optimale)

Collaborations extérieures

- **Dans la région** : CMA (EMP, Sophia-Antipolis), UNSA (labo. J.-A. D.), Observatoire Nice Côte d'Azur, Univ. de Provence (LATP, Marseille),
- **Ailleurs en France** : CAS (EMP, Fontainebleau), IRCOM (Limoges), UTC (Compiègne), Univ. de Lille, Univ. de Bourgogne (Dijon), Univ. de Besançon, Univ. de Bordeaux I, CEMAGREF (Montpellier).
- **Dans le monde** : LAMSIN-ENIT (Tunis, Tu.), T.F.H. Berlin (All.), Univ. Szeged (Hongrie), LADSEB-CNR (Padoue, It.), Vanderbilt Univ. (Nashville, USA), Michigan State Univ. (East Lansing), Univ. Beer Sheva (Isr.), Univ. Leeds (G.B.), Univ. Maastricht et CWI (Hol.), Acad. de Sc. de Pologne (Varsovie), SISSA (Trieste (It.)).

Conventions

● Conventions en cours :

- ACI Masse de données « OBS-CERV », (CAIMAN, ODYSSÉE, UNSA, CEA, CNRS-LENA, hôpitaux, 2003-2006.
- Région PACA : 1 post-doc, 1 échange (SISSA).
- NATO CLG “Constructive approximation and inverse diffusion problems”, (Vanderbilt, LAMSIN-ENIT), 2003-2004.
- NSF Research Training Group (INRIA-Vanderbilt).
- Marie Curie EIF, 2003-2005.
- Marie Curie Multi-partner Control Training Site, 2001-2005.
- STIC INRIA-Universités Tunisiennes, 2004-2005.

Conventions

● Conventions soumises :

- Réseau européen TMR-RTN-ERNSI (identification des systèmes). En cours d'examen dans le 6^e PCRD.
Partenaires : KTH Stockholm, Univ. Linköping (Suède), SZTAKI Budapest (Hongrie), CWI / T.U. Delft / T.U. Eindhoven (Pays bas), T.U. Vienne (Aut.), Univ. Cambridge (GB), Univ. Louvain (Belgique), Univ de Padoue (It.)
- Institut Lyapunov (échanges avec l'Université Baumann, Moscou).

● Conventions soumises :

- Proposition de réseau Marie Curie RTN, “Innovative space applications of advanced control theory” (ISAAC), soumis en novembre 2003. Partenaires, outre l’INRIA: ESA, École des Mines, DLR (Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt), Univ. de Calabre, Politecnico Milano, T. U. Eindhoven, T. U. Delft, Imperial College, Univ. Aalborg.

Contrats

- Partenaires avec lesquels MIAOU est lié par des contrats en cours qu'APICS reprendrait à son compte.
 - CNES Toulouse (filtres hyperfréquences),
 - Alcatel-Space Toulouse (filtres hyperfréquences),
 - Alcatel-Space Cannes (contrôle orbital de satellites).
- Partenaires avec lesquels MIAOU a été lié par des contrats et avec lesquels APICS pourrait reprendre une collaboration.
 - Alcatel CIT Marcoussis (contrôle de dispositifs de régénération de signaux dans les fibres optiques, dépôt de brevet en Sep. 2003).
 - Thalès (filtres à ondes de surface).

Enseignement

- Cours au DEA Géométrie et Analyse, LATP-CMI, Univ. de Provence (Marseille), 2003-2004 (L. Baratchart, J. Leblond).
- Membre (correspondant : J.B. Pomet) du “Control Training site” Marie Curie HPMT-CT-2001-00278, 2001-2005
- Membre (correspondants : L. Baratchart et B. Mourrain) du NSF EMSW21 Research Training Group formé par l’INRIA-Sophia et l’Université Vanderbilt (Nashville, USA), 2003–2005.

Animation de la communauté

- Les membres de l'équipe ont participé à la direction et à l'organisation de l'école thématique d'été CNRS-INRIA, *Analyse Harmonique et Approximation Rationnelle : leurs rôles en théorie du signal, du contrôle et des systèmes dynamiques*, Porquerolles, septembre 2003.
- L. Baratchart est membre du comité Éditorial de *Computational Methods and Function Theory*
- Conférence invitée à *Constructive Functions Tech-04* (Georgia Tech, 2004), Invitation à l'Institut Banach (2004), Invitation au "Forum des jeunes mathématiciennes" (IHP, 2004), Invitation à "Funktionentheorie" (Oberwolfach, 2004)...

FIN