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/apics`

APICS

Analyse et Problèmes Inverses pour le Contrôle et le Signal

Analysis and Problems of Inverse type in Control and Signal processing

Thème Num A

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 :

Bilal Atfeh	(Thèse LATP-CMI, Univ. Provence, bourse INRIA, à partir d'octobre)
Per Enqvist	(Thèse KTH Stockholm, 1/2 bourse région) jusqu'à fin juin)
Mario Sigalotti	(Thèse SISSA Trieste, bourse Marie-Curie)

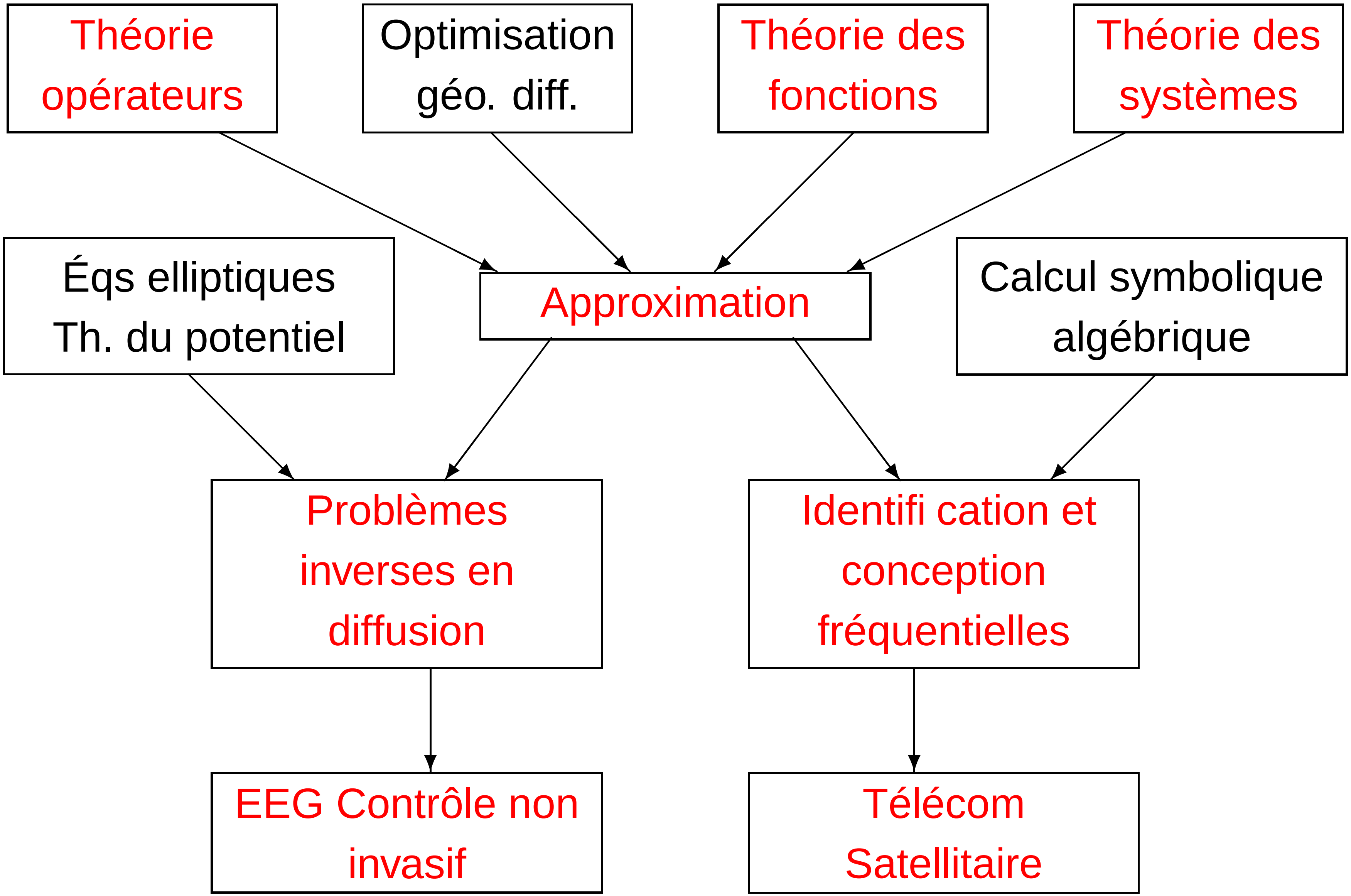
Doctorants

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

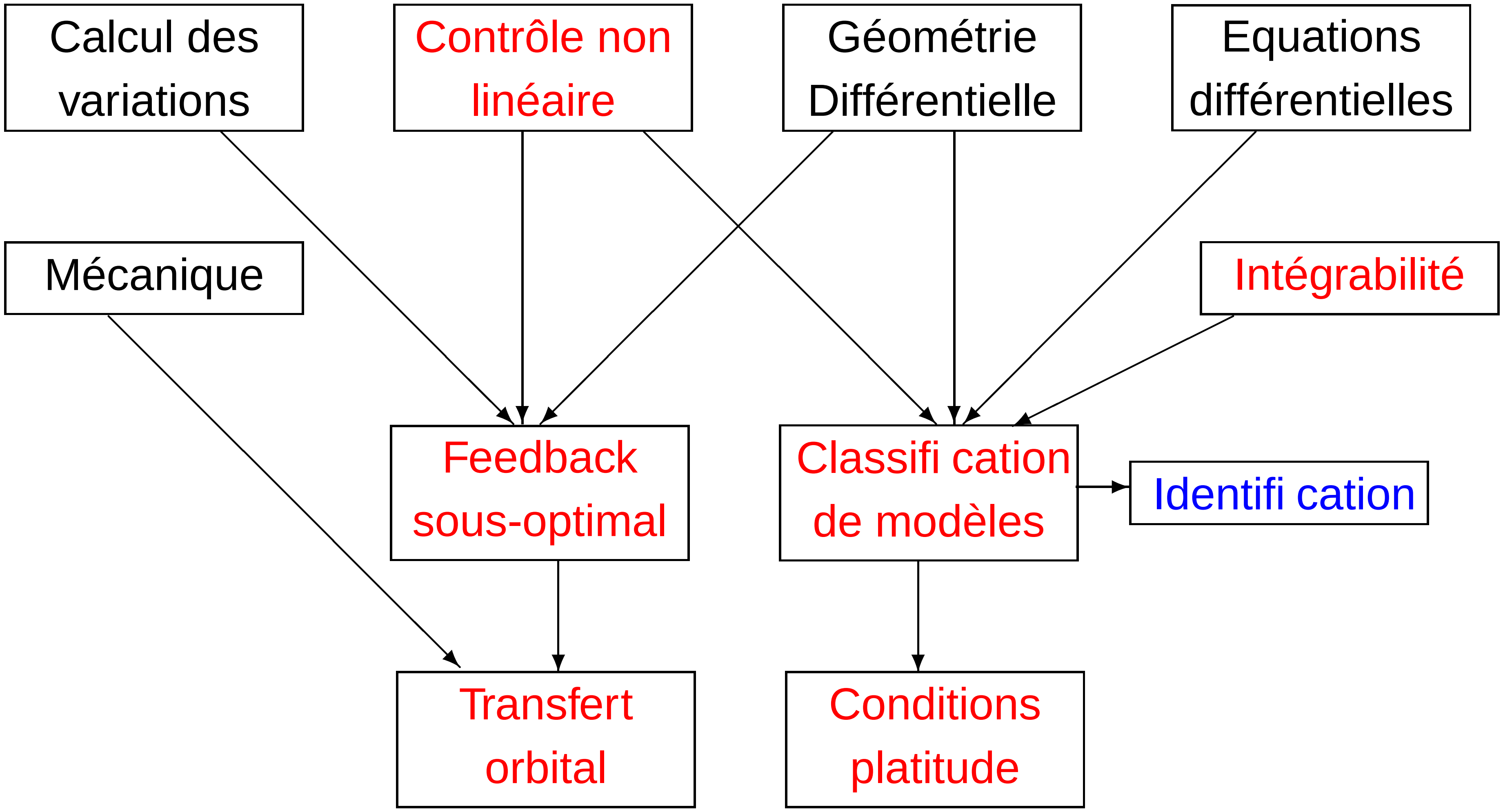
Note : F. Ben Hassen, I. Fellah et M. Mahjoub sont des doctorants ENIT-INRIA, co-encadrés par le projet et par le LAMSIN ; le LAMSIN est équipe de recherche associée à l'INRIA (EDidon).

ENIT : École Nationale d'Ingénieurs de Tunis.

Analyse et problèmes inverses pour le signal



Analyse pour le contrôle



Défis Prioritaires de l'INRIA concernés

- Concevoir et maîtriser les futures infrastructures des réseaux et des services de communication,
- Coupler modèles et données pour simuler et contrôler les systèmes complexes,
- Modéliser le vivant
- Intégrer pleinement les STIC dans les technologies médicales

1

PROBLÈMES INVERSES DE POTENTIEL

Participants:
B. Atfeh,
L. Baratchart,
F. Ben Hassen,
I. Fellah,
J. Grimm,
J. Leblond,
M. Mahjoub,
J.-P. Marmorat.

Problème inverse : sources ponctuelles

Modèle : dans un domaine $\Omega \subset \mathbb{R}^n$ de conductivité σ, la grandeur u (par ex. un potentiel) vérifie :

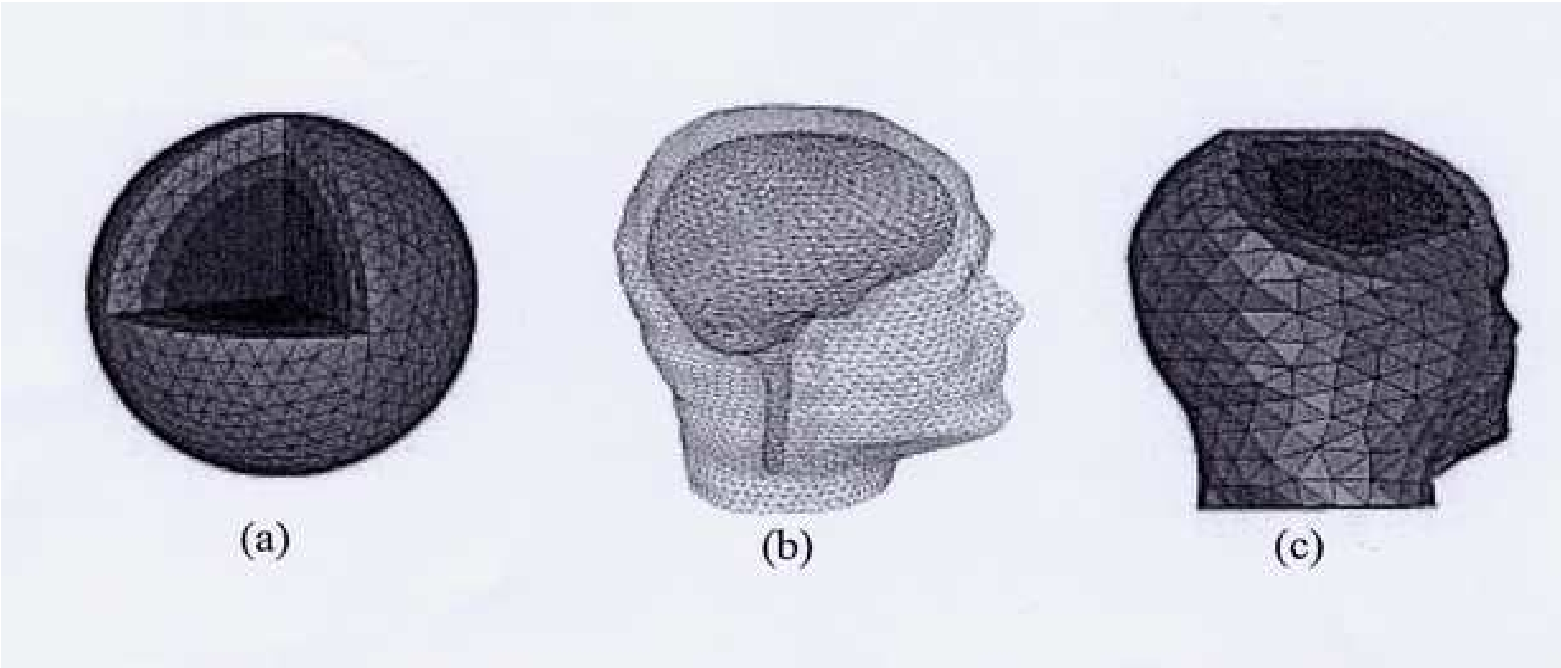
$$-\nabla \cdot (\sigma \nabla u) = F = \sum_{j=1}^{m_1} \lambda_j \, \delta_{S_j} + \sum_{k=1}^{m_2} p_k \, . \nabla \, \delta_{C_k}$$

avec des conditions de compatibilité (omises).

Données : mesures $\left\{ \begin{array}{l} \dfrac{\partial u}{\partial \nu}_{|\partial\Omega} = \phi \text{ flux de courant} \\ u_{|\partial\Omega} = g \text{ diff. potentiels} \end{array} \right.$.

Trouver : m_1, m_2 puis $\{S_j \, , \, C_k\}$ (sources mono- et dipolaires de moments λ_j, p_k).

Exemple: EEG



...plusieurs couches homogènes Ω_i (épiderme, crâne, liquide céphalo-rachidien, matière blanche, grise...) :

- $\Omega = \cup_i \Omega_i \subset \mathbb{R}^3$
- conductivité σ constante par morceaux.

En 2D

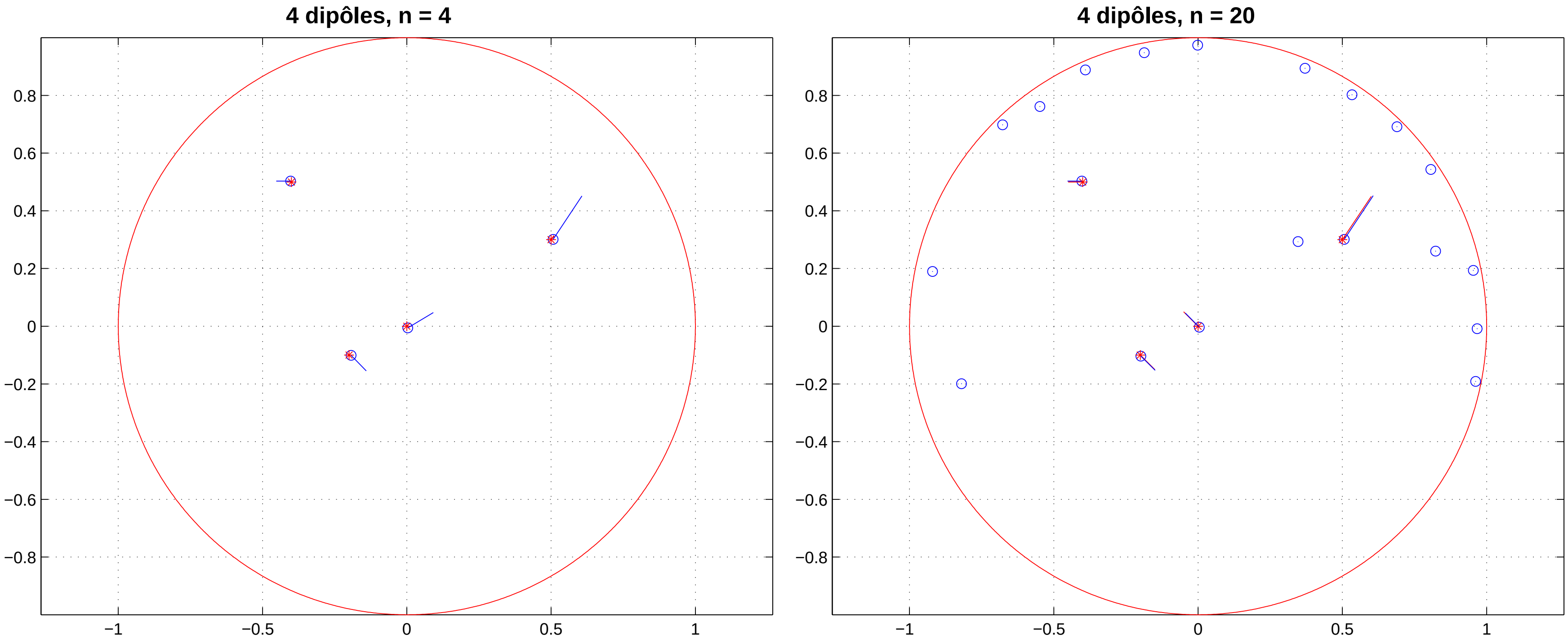
- $\mathbb{R}^2 \simeq \mathbb{C}$, variable complexe $\xi = x + i\,y$, $u = \mathrm{Re}\, f$ avec :

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

- f connue sur $\partial\Omega$ par $f_{|\partial\Omega}(s) = g + i\int_0^s \phi$ (Cauchy-Riemann)
- On veut retrouver les singularités de f dans Ω.

APICS veut explorer l'usage de l'approximation rationnelle (discrétisation des singularités).
Par exemple, les pôles des meilleurs approximants de f sur $\partial\Omega$ se distribuent asymptotiquement selon la mesure d'équilibre du contour $\mathcal{C}$ joignant $\{S_j\,,\ C_k\}$ et minimisant la capacité du condensateur $(\mathbb{T}, \mathcal{C})$.
Permet aussi de rechercher des fissures plutôt que des sources.

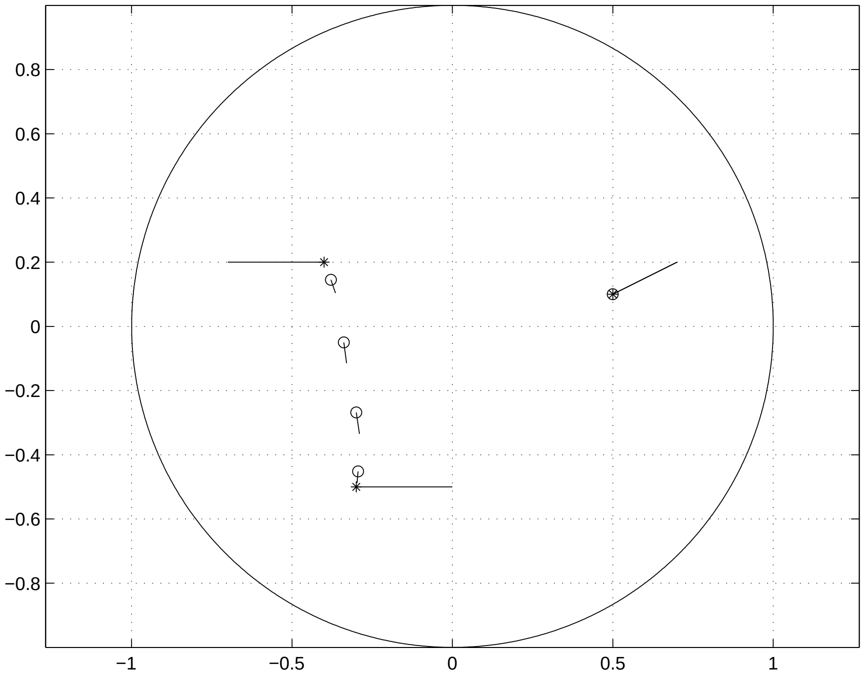
Simulations numériques 2D



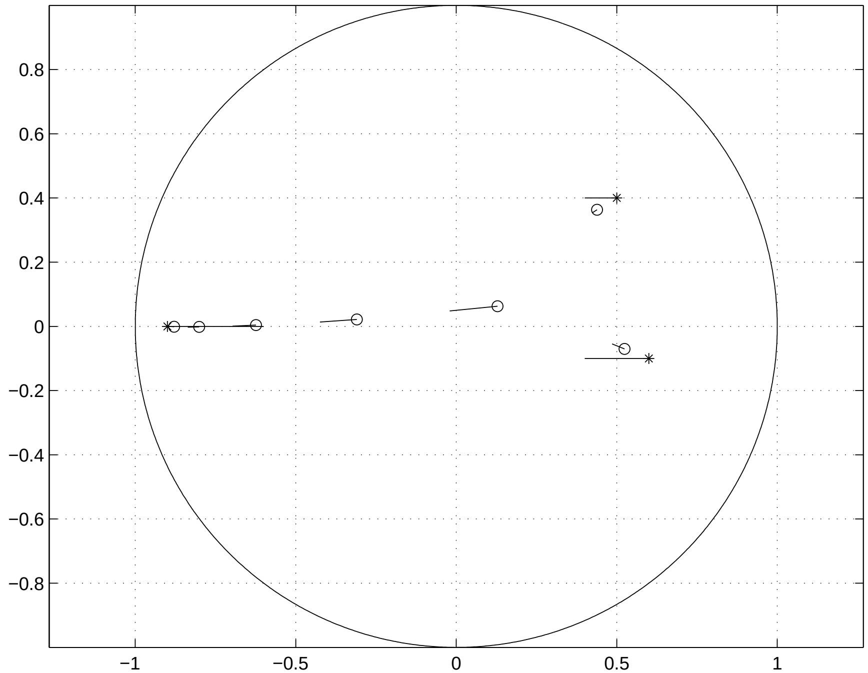
- résolution du pb direct associé (selon $\{C_k, S_j\}$) : $\phi \to g = u_{|\mathbb{T}}$ (Matlab, él. finis P1) $\to f = g + i \int \phi$ sur $\mathbb{T}$
- Rarl2 (Matlab) ou Hyperion (C$_{++}$) $\to r_n$, pôles $r_n \to \{C_k, S_j\}$

Simulations numériques 2D

2 monopôles, 1 dipôle, n = 5



3 monopôles, n = 7



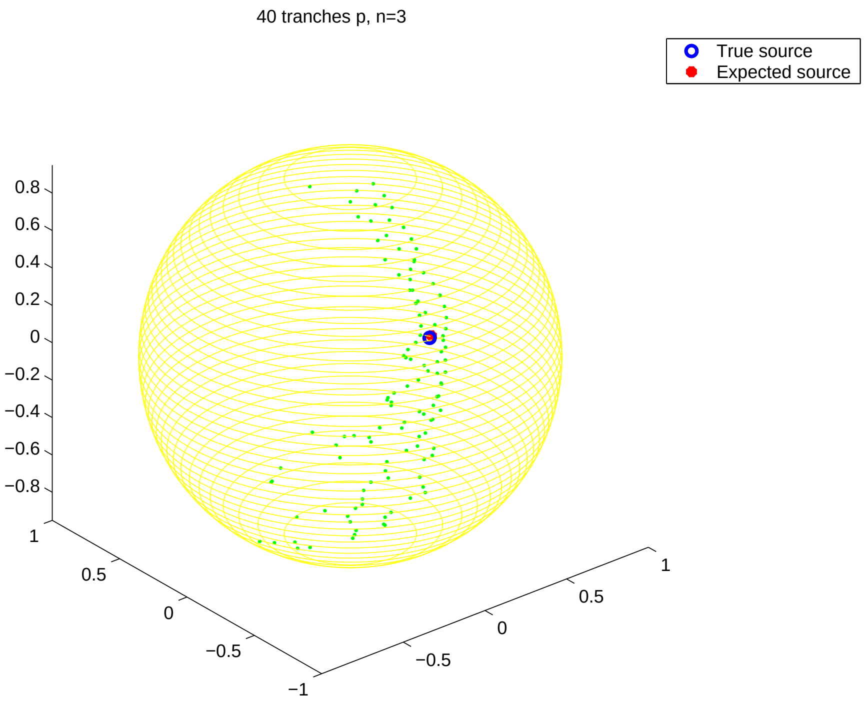
Sur la boule 3D

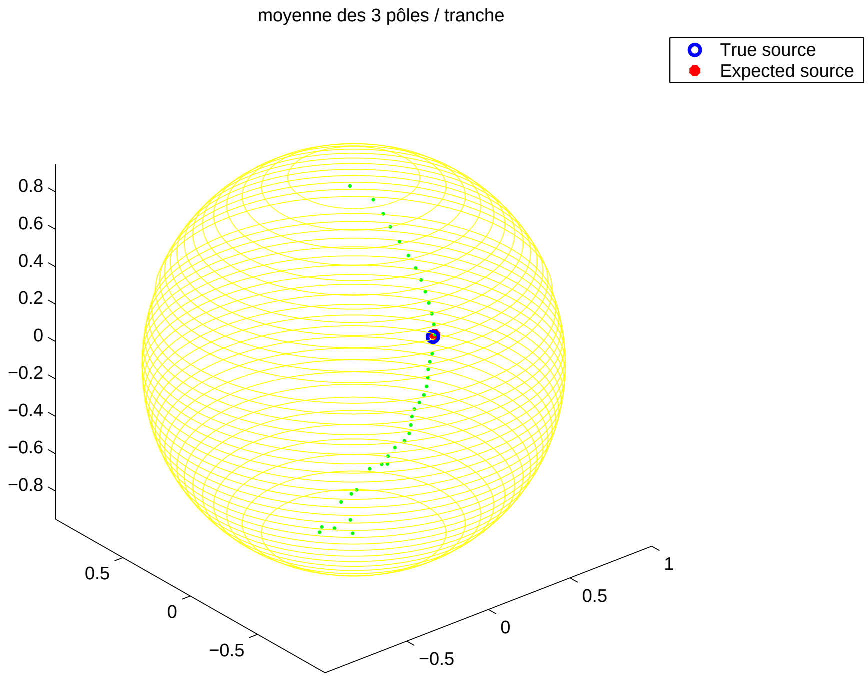
On tranche la boule horizontalement : $\xi = x + i\,y \in D_p$ où $D_p = \mathbb{B} \cap \{z = z_p\}$ est un disque.

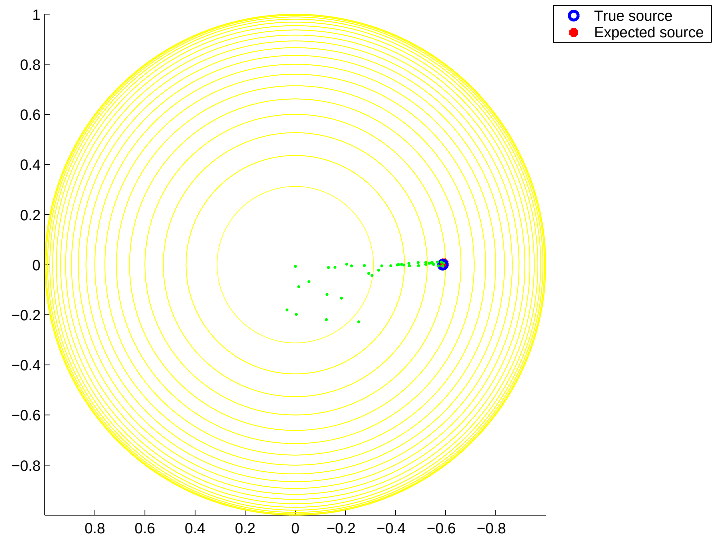
$$u_p(\xi) \simeq -\sum_{j=1}^{m_1} \frac{\Lambda_{j,p}(\xi)}{(\xi - \xi_{j,p})^{1/2}} + \sum_{k=1}^{m_2} \frac{P_{k,p}(\xi)}{(\xi - \xi_{k,p})^{3/2}}, \xi \in \partial D_p.$$

Singularités $\xi_{j,p}, \xi_{k,p} \in D_p$ de module maximum pour $z_p = z_j, z_k$, coincident alors avec S_j, C_k.
On peut donc utiliser le 2D dans chaque tranche et chercher le module maximum par dichotomie sur la hauteur. Pour les simulations, résolution du pb direct par calcul explicite ou maillage surfacique (Odyssée).

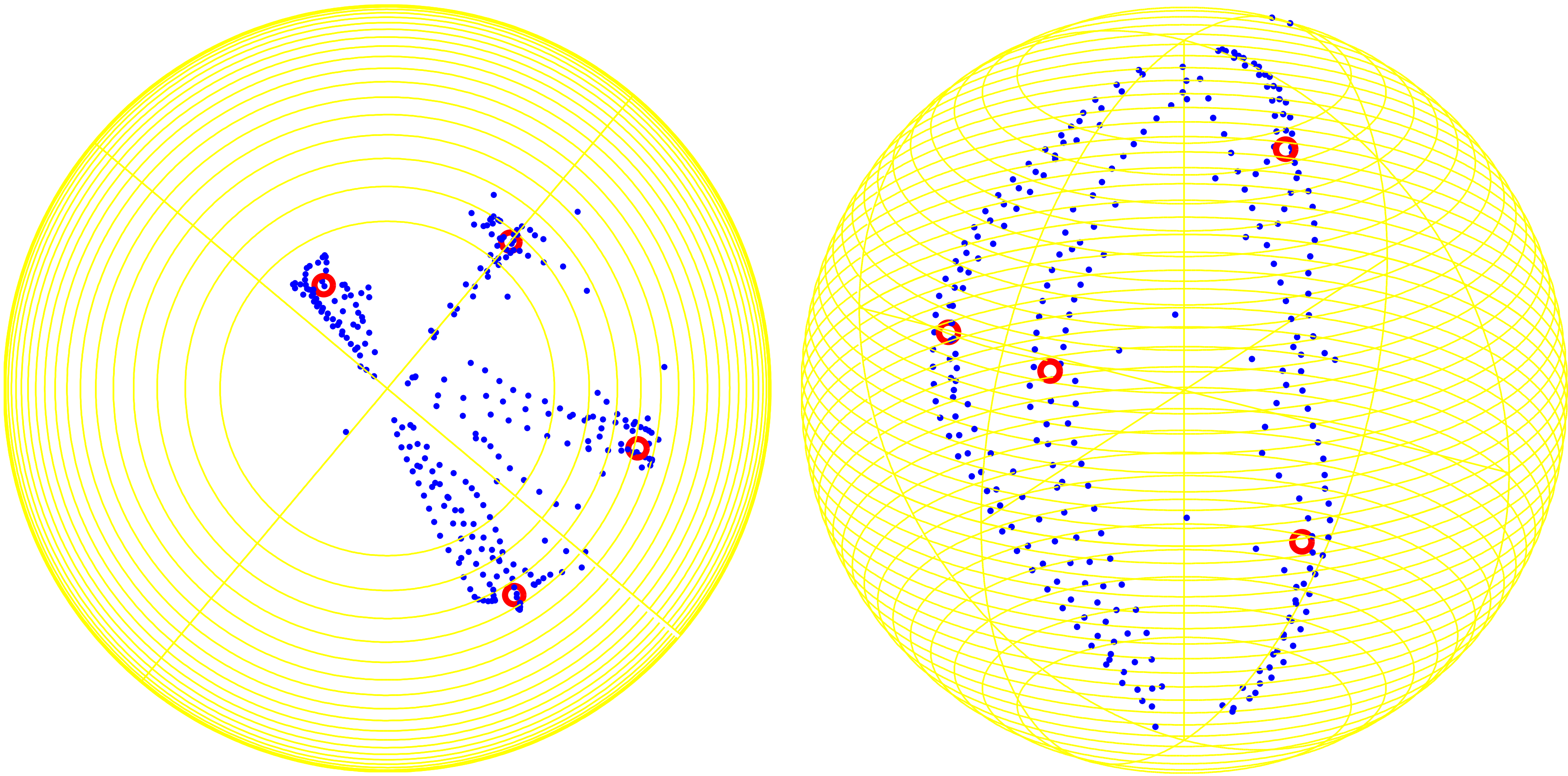
3D, 1 dipôle, maillage, $n = 3$







3D, 4 dipôles, explicite, $n = 12$



Problèmes pour APICS...

- Pré-/post-traitements, plusieurs couches, données expérimentales, MEG ?
- Sources distribuées ?
- Domaines 2D variés et transformations conformes?
- Domaines 3D autre que $\mathbb{B}$ (tranches $\sim$ dom. de quadrature).
- Approximation par des potentiels discrets en 3D... ??
- en 2D, fissures, données incomplètes, petites inclusions...
- en 2D, relation avec les problèmes extrémaux bornés sur un anneau ; géométrie frontière...
- conductivité variable et autres opérateurs elliptiques (Helmholtz), pb inv. conductivité ?

2

IDENTIFICATION ET OPTIMISATION FRÉQUENTIELLE

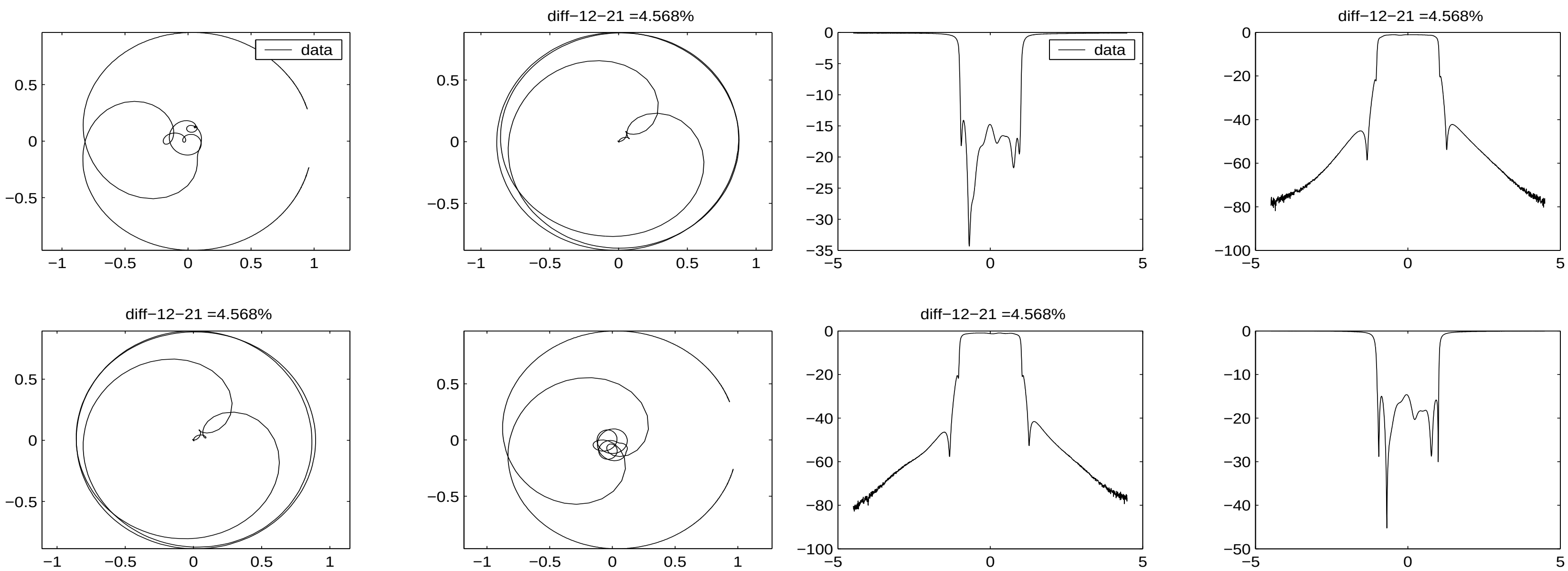
Participants:
L. Baratchart,
P. Enqvist,
J. Grimm,
J.-P. Marmorat,
M. Olivi,
F. Seyfert.

Optimisation fréquentielle

- Identification
  - Données: Mesures dispositifs
  - Objectif: Paramètres modèle physique - bonne approximation des Mesures
  - Finalité : Réglage de dispositif, Modélisation
- Synthèse
  - Spécifications fréquentielle - ex: Gabarit en Module, contraintes sur temps de retard de groupe
  - Objectif: Valeurs idéales des paramètres - Contraintes sur taille/ordre du dispositif

Filtres hyperfréquences, multiplexeurs en télécommunication satellitaire; filtres à ondes de surface en téléphonie mobile.

Réponses fréquentielles



Stratégie par étapes et techniques

- Identification
  - Données incomplètes: Problèmes extrémaux bornés
  - Approximation rationnelle stable matricielle
  - Remontée vers les paramètres physiques par résolution systèmes algébriques
- Synthèse
  - Caractérisation ensemble des transferts analytiques admissibles
  - Approximation rationnelle avec contraintes modulaires ponctuelles
  - Remontée vers les paramètres physiques

Prospective 1

- Techniques optimisation convexe
  - Dualisation contraintes ponctuelles
  - Optimisation sur les formes positives
  - Points intérieurs et LMI
- Mise en place cadre “géométrie algébrique” pour remontée vers les paramètres
  - Définition critère d’identifiabilité
  - Formulations algébriques efficace pour les méthodes de résolution syst. algébrique (ex: utilisation groupe de symétrie)
  - Très gros systèmes: méthode de continuation par exploration de certains groupes de monodromie

Prospective 2

- Paramétrages et analyse de Schur.
  - Paramétrer des classes de fonctions contraintes: réelles, symétriques, contractives ...
    $\longrightarrow$ optimisation, approximation,
  - Paramétrer des réalisations contraintes
    $\longrightarrow$ remontée vers les paramètres physiques,
- Caractériser les extensions conservatives, symétriques, de degré minimal d'une fonction contractive
  $\longrightarrow$ filtres à ondes de surface.
- Algorithmes d'approximation
  - convergence,
  - topologie du bord, stratégies d'optimisation,
  - approximation pondérée.

3
CONTRÔLE, STABILISATION

Participants:
L. Baratchart,
A. Bombrun,
J. Grimm,
J.-B. Pomet,
M. Sigalotti.

Stabilisation $\leftrightarrows$ Contrôle optimal

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

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

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

►► Demande :

Feedback presque optimal ??

Prototype: transfert orbital en poussée faible

$$\ddot{X} \;=\; \underbrace{-\mu\,\frac{X}{\|X\|^3}}_{\text{gravitation}} \;+ \underbrace{\Gamma}_{\substack{\text{contrôle, } ou \\ \text{accélération perturbatrice}}}, \quad X \in I\!\!R^3\,,$$

Prototype: transfert orbital en poussée faible

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

... mais moteurs économiques (ISP élevé).

Prototype: transfert orbital en poussée faible

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

... mais moteurs économiques (ISP élevé).

►► Demande :

loi robuste à: perturbations, éclipses, arrêts..

pour mise à poste.

Prototype: transfert orbital en poussée faible

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

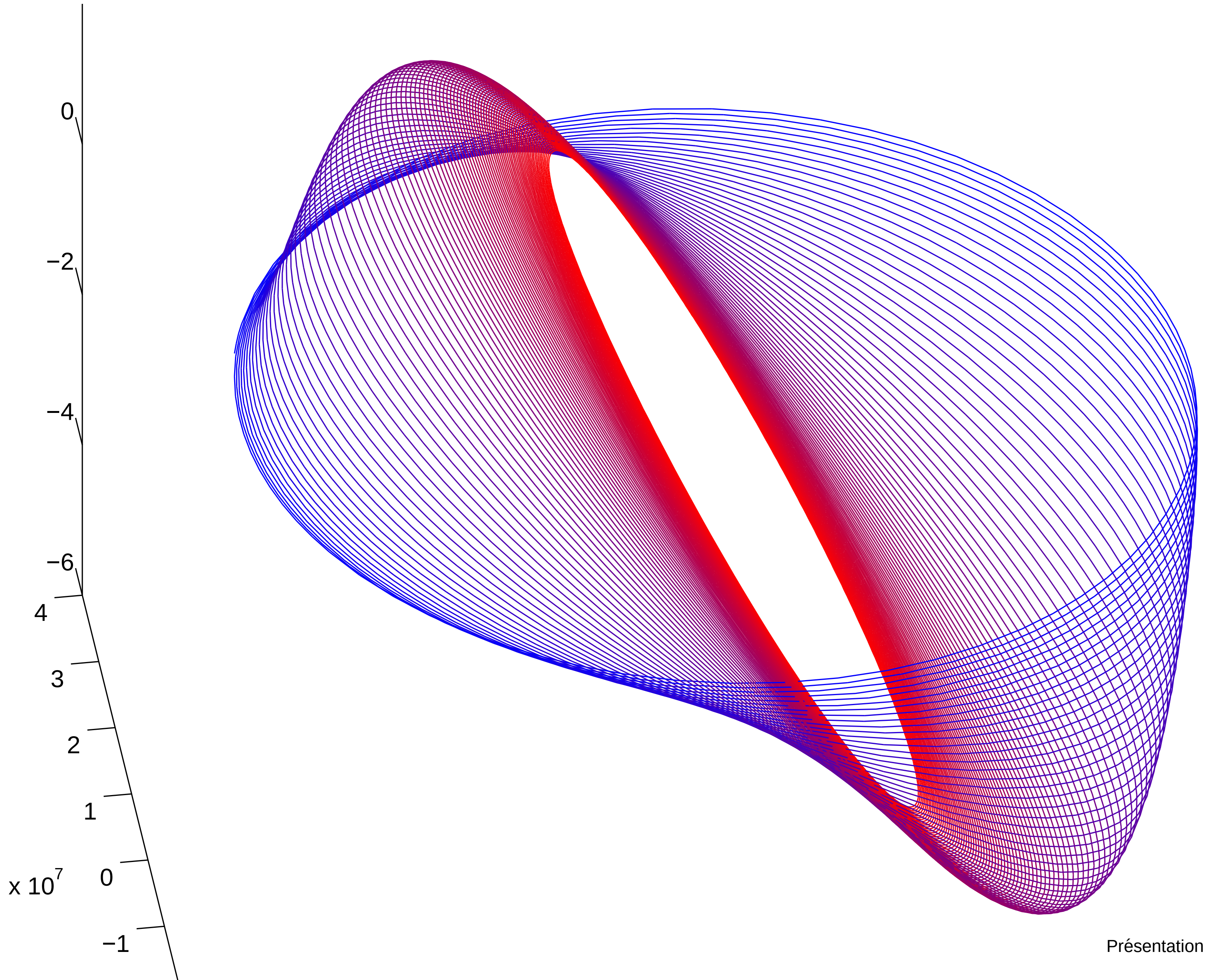
... mais moteurs économiques (ISP élevé).

►► Demande :

loi robuste à: perturbations, éclipses, arrêts..
pour mise à poste.

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 Mînes CAS, Orsay, Univ. de Bourgogne, projet SYDOCO.


0
−2
−4
−6
4
3
2
1
0
−1
x 10^7

Quelques autres sujets...

- **Optique non-linéaire**. Contrat Alcatel CIT *terminé 2003*.
  Résultat: un brevet (régulation interféromètre Mac Zehnder).
  Progrès possibles: amélioration de la modélisation.
  Analyse harmonique et contrôle.
- **Classification de modèles** pour l'identification non-linéaire.
- **Systèmes "plats", caractérisation**.
  "intégrabilité formelle" à une $\infty^{\text{té}}$ de variables.
  Thèse David Avanessoff.
- **Problèmes de moments** pour reconstruction
  - de domaine en tomographie,
  - de spectre à partir de données incomplètes.
- **Identification paramétrique.** Unimodalité, consistance.

Politique logicielle

- Avec l'expérience acquise (Hyperion, RARL2, RGC, PRESTO-HF, Tralics), développer une bibliothèque pour l'approximation et l'optimisation fréquentielle dont les modules soient appelables depuis Matlab, (J. Grimm, J.P. Marmorat, F. Seyfert).
- Portage de certains 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).
- Développement de code pour: le contrôle en mécanique spatiale, notamment le transfert orbital (J. Grimm).
- Développement de code les problèmes inverses de sources en dimension 3 (J. Grimm, J.P. Marmorat).

Liens avec d'autres équipes INRIA

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

Contrats

- Partenaires avec lesquels MIAOU fut lié par des contrats en cours qu'APICS reprendra 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*

À suivre