

# Physique et astrophysique des systèmes complexes (PhAs)

Pierre Joubert

Institut UTINAM

30 novembre 2015

# Constitution et fonctionnement de l'équipe

## Composition de l'équipe (créée en 2012)

- 16 permanents : 10 C et E/C, 2 IR, 2 IE, 2 profs. émérites
- 10 non permanents : 1 chercheur contractuel, 2 IR et 7 doctorants
- Stagiaires : 10 étudiants / an de L3, M1 et M2

## Principaux mouvements de personnels permanents

- 2 départs par mutation (astronomes-adjoints)
- 2 départs à la retraite (professeurs) : professeurs émérites
- 2 recrutements : MCF (2013 et 2014)

## Principaux mouvements de personnels non permanents

- 1 professeur invité, 1 chercheur contractuel et 1 post-doc

## Doctorants

- Nombre de thèses débutées sur la période : 8 (1 en 2012, 2 en 2013, 3 en 2014 et 2 en 2015)
- Nombre de thèses soutenues : 7 (3 en 2012, 2 en 2013, 1 en 2014 et 1 en 2015)

Equipe	Recherche académique	Interactions avec l'environnement	Appui à la recherche	Formation par la recherche	Total
PhAs	55	10	15	20	100 %

- Recherche académique  
*97 RICL depuis 2012 (146 depuis 2010) et 45 actes de congrès publiés (depuis 2010)*
- Interactions avec l'environnement  
*Participations aux réseaux, programmes et projets de recherche*  
*Activités TF en lien avec le tissu industriel*
- Appui à la recherche  
*Nombreuses responsabilités collectives aux niveaux international et national*
- Formation à la recherche  
*Implication dans les formations notamment de physique (UFR ST)*  
*Encadrements de doctorants (2 nouveaux doctorants / an)*

## Objets d'étude

Systèmes complexes à toutes les échelles, de l'atome à la galaxie

## Méthodes

Développement de méthodologies nouvelles et d'outils originaux de modélisation et de simulation numériques avec le support du service informatique

Activités de l'équipe PhAs se répartissent suivant 3 thèmes scientifiques

- Axe PhAs 1 : étude de la structure et de la dynamique de la galaxie, des populations stellaire et du milieu interstellaire.
- Axe PhAs2 : étude des phénomènes de décohérence quantique pour le contrôle, le diagnostic, le traitement et le transport de l'information dans les systèmes atomiques et moléculaires
- Axe PhAs3 : métrologie temps-fréquence et références temporelles
- Couplage physique astrophysique

# Axe Phas 1 : réalisations et produits de la recherche

## Objectifs

Etude de la structure et de la dynamique de la galaxie, des populations d'étoiles la composant

- Répartition de la masse dans les différentes composantes galactiques stellaires et interstellaires
- Cinématique et dynamique
- Evolution des populations stellaires
- Scénarios de formation de la Galaxie

## Outils utilisés

Grands échantillons de données pour étude statistique et modèle de synthèse de populations qui facilite l'interprétation de ces données en terme de formation et d'évolution galactiques

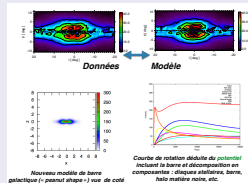
## Applications

- Implication dans des projets spatiaux (GAIA) et dans le développement de l'Observatoire virtuel
- Simulateur du modèle de la Galaxie accessible en ligne, web service en cours de réalisation

# Axe Phas 1 : quelques faits marquants

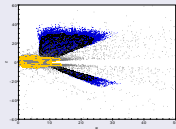
## Etude des régions centrales de la Galaxie

La forme et la dynamique de la barre centrale ont été mesurées et précisées : la barre a bien une forme "peanut" et un modèle dynamique est en cours de réalisation



## Caractérisation du disque épais de la Galaxie et de son scénario de formation

Etude approfondie de la distribution des étoiles des relevés SDSS et 2MASS a montré que le disque épais s'est formé pendant un temps long de plusieurs milliards d'années pendant lequel il s'est contracté



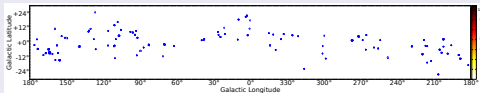
*Distribution en coordonnées galactocentriques ( $R, z$ ) des champs 2MASS (gris et courbes jaunes) et SDSS (en bleu) utilisées pour le sondage du disque épais*

# Axe Phas 1 : quelques faits marquants (suite)

## Découverte d'une planète isolée

Une planète dans le milieu interstellaire n'appartenant apparemment à aucun système stellaire a été mise en évidence. Cela peut remettre en cause les scénarios de formation des planètes qui pourraient se former aussi comme des étoiles individuelles et pas seulement dans le disque d'accrétion d'une étoile

## Galactic Cold Cores



Publication du catalogue "Galactic Cold Cores" contenant 4500 sources préstellaires. Son analyse statistique révèle l'impact de l'environnement Galactique sur la formation stellaire via l'intensité du champ de rayonnement interstellaire

## Objectifs

Phénomènes de décohérence quantique dans les problèmes de contrôle, de diagnostic, de traitement et de transport de l'information dans les systèmes atomiques et moléculaires

## Outils développés

Modélisations mathématiques et numériques pour interpréter les phénomènes physiques ou de réaliser des observations virtuelles d'objets astrophysiques

## Domaines d'étude

- Information quantique, contrôle quantique et systèmes quantiques ouverts
  - Etude du stockage et de la manipulation de l'information à l'échelle nanoscopique et des phénomènes de décohérence, intrication et chaos
  - Application au contrôle quantique : imposer au système des mouvements prédéterminés à l'aide de champs lasers ou d'une optimisation de l'environnement (ordinateurs quantiques)



# Axe Phas 2 : quelques faits marquants

- Physique moléculaire & interaction molécule-rayonnement
  - Etude du transport de l'information et de l'énergie et au comportement des particules ou des quasi-particules dans des structures moléculaires complexes (réseaux quantiques non-linéaires, structures quasi-cristallines)
  - Etude de l'interaction de petites molécules avec des rayonnements laser afin de contrôler la dynamique moléculaire, de dissocier la molécule ou de procéder à un diagnostic optique (diagnostic optique dans les milieux turbulents ou en combustion)

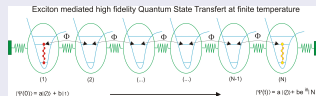
## ANR CoMoC

Etude de la dynamique adiabatique des systèmes dissipatifs et dissociatifs, travail avec le groupe dynamique quantique et non-linéaire (ICB, université de Bourgogne)

# Axe Phas 2 : quelques faits marquants (suite)

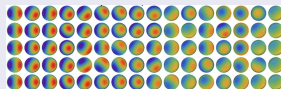
## Etablissement d'un nouveau protocole de communication quantique

Transfert de l'information par excitations vibrationnelles le long d'un réseau moléculaire avec une grande fidélité



## Transmission et contrôle de l'information sur une chaîne de spins

Chaîne de spins asservie à une dynamique classique chaotique par des impulsions magnétiques intenses ultra-brèves : propriétés de désordre et de chaos du système dynamique classique à la chaîne quantique qui lui est asservie



*Evolution au cours du temps d'une chaîne de 5 spins soumise à des impulsions chaotiques*

## Deux axes de développement

- Activités de services et de R&D en métrologie temps-fréquence
- Activités de recherche : étude de la stabilité des oscillateurs et les techniques de transfert de temps et de fréquence

## Applications

- Métrologie temps-fréquence en lien avec les projets d'observations astronomiques
- Participation à la définition du temps atomique français et international

## Faits marquants

Projet Laser MégaJoule (2013-2015) : réalisation d'un système permettant la mesure au niveau de la picoseconde des dérives des systèmes de synchronisation du LMJ (collaboration avec le CEA)

# Axe couplage physique astrophysique : réalisations et produits de la recherche

## Objectifs

Développement d'outils méthodologiques et numériques ayant des implications en physique et en astrophysique

## Applications

Scénarios de formation de la Galaxie, distribution, caractéristiques et origine de la matière noire dans la Galaxie

### Matière noire capturée par le système solaire

Une partie du flot de matière noire traversant le système solaire peut être capturée par le système binaire Soleil-Jupiter. La dynamique des particules ainsi capturées est chaotique. La masse de matière noire actuellement capturée par notre système solaire a été calculée semi-analytiquement

## Participation à des programmes de recherche

- ANR : Comoc (2009-2012), **GALHIS** (2011-2013), SDSS3 (2013-2015) + 7 projets ANR déposés
- PIA : Labex First-TF, equipex Oscillator-IMP et REFIMEVE+ (avec Femto-st)
- Participation au consortium Data Processing and Analysis and Consortium (DPAC) pour mission GAIA
- Réseaux européens : GREAT-ITN (2011-2015), GENIUS (2013-2017) et GREAT-ESF (2015-2017)
- Projets : observatoire virtuel théorique et SRO OSU THETA (9)

## Programmes du CNRS

- Programmes nationaux : PNPS, PNCG et PCMI
- Actions spécifiques : Observatoire virtuel (ASOV) et GAIA (AS-Gaia)
- GDR : Information Quantique, Fondements & Applications (IQFA), Dynamique Quantique (DYNQUA) et Spectroscopie moléculaire (SpecMo)

## Organisation de conférences internationales

- Assembling the puzzle of the Milky Way (avril 2011, Le Grand Bornand)
- ECONOS 2014 (mai 2014, Dole)

## Organisation de colloques, journées scientifiques

- Colloque : prospective PNPS
- Ecoles : Evry Schatzman school (octobre 2011), Galaxy Modelling School (octobre 2012)
- Ateliers : PNPS (février 2014), Gaia
- Journées base de données (OSU THETA), ...

## Participation dans les instances nationales, régionales et locales

- Membres de comité scientifique : ECONOS (chairman de 2013 à 2014)
- Direction de l'OSU THETA
- Membres de CS, CA, CL, CoNRS, CNAP, SF2A (présidence), ...

# Interactions de l'équipe avec son environnement socio-économique ou culturel

## Implication dans les activités de diffusion de la culture scientifique (physique et astrophysique)

- Cours à l'Université Ouverte
- Participation aux manifestations organisées dans le cadre de l'UFC, l'OSU THETA et l'institut UTINAM
- Participation aux actions envers le public scolaire
- Conférences grand public et conférences de l'Observatoire
- Communiqués de presse, interview radios, articles, ...

## Activités du T/F vers le milieu industriel

- Contrat SCP-Time (Secure Certified Precision Time) financé par BPI
- Distribution logicielle Sigma-Theta développée pour la métrologie TF a été mise à disposition comme logiciel libre depuis 2012 sous licence GNU GPL (à l'international) et CeCILL (en France).
- Convention Cifre avec Timelink Microsystems (Toulouse)

# Principales contributions de l'équipe à des actions de formation

- Nombreuses responsabilités pédagogiques (département d'enseignement, L2, L3, M1, M2, ...) à l'UFR ST
- Mise en place de la spécialité de Master : Physique, Physique Numérique (P2N) en septembre 2012
  - Activités de recherche équipes en physique et astrophysique (PhAs et SPACE)
  - Couplage avec les activités complémentaires à Femto-st (optique) et ICB (physique moléculaire et dynamique quantique)
  - Développement d'une salle informatique de TP/projets à Utinam en coordination avec le service informatique
- Encadrement doctoral
  - 7 thèses soutenues et 8 thèses en cours
  - Diversités des financements : ministère, CNES, Cifre, ONERA, Région FC, ...
  - 5 thèses en codirection ou en cotutelle avec des équipes extérieures à l'UFC (2 soutenues et 3 en cours)



## Axe PhAs 1

- Développement du modèle de la Galaxie  
Amélioration de la dynamique galactique auto-cohérente (*mission Gaia*), modèles stellaires avec nouvelles contraintes spectroscopiques et astéro-sismiques pour simulation des nouveaux grands relevés (*PAN-STARRS, EUCLID, PLATO*, Post-doc CNES) et exploiter de façon optimale les relevés spectroscopiques (*Gaia-ESO, APOGEE*)
- Développement de la modélisation du milieu interstellaire  
Optimisation des calculs de transfert de rayonnement (*chercheur contractuel*), amélioration des calculs d'extinction 2D et 3D (*exploitation de données 2MASS et Gaia*) et étude physico-chimique des petites populations de poussières (*liens avec physique moléculaire et l'équipe SPACE*)

## Axe PhAs 2

- Contrôle quantique en présence d'un réservoir  
Etudes à l'équilibre, hors équilibre ou optimisé par des méthodes de réservoir engineering (*collaboration avec Palerme et thèse en cours*)

## Axe Phas 2

- Dynamique excitonique dans les réseaux complexes  
Etude des marches quantiques dissipatives sur les réseaux moléculaires complexes avec le couplage avec les phonons du réseau (*thèse en cours*)
- Etude markovienne des réseaux complexes (réseaux sociaux, réseau de Ulam, world wide web, ...) (*collaboration avec Toulouse, liens avec l'équipe SPACE envisagés*).
- Diagnostic optique des milieux en combustion  
Développement de modèles spectroscopiques appliqués à la thermométrie à haute cadence (*collaboration avec l'ONERA en thèse en cours*)

## Axe PhAs 3

- Participation à plusieurs grands projets  
Augmentation de la performance de transfert de temps et réalisation d'une échelle de temps locale, copie d'UTC(OP) (*Oscillator-IMP et SCP-Time*)
- Etude du chronométrage des pulsars milliseconde pour la détection de la signature d'ondes gravitationnelles primordiales (*collaboration avec les physiciens d'Utinam envisagée*)