



Service AMHRA

ANALYSE ET MODÉLISATION EN HAUTE RÉOLUTION ANGULAIRE

A.Domiciano de Souza, E. Slezak, T. Lanz

**Demande de labélisation
SO5 envoyé à CSAA-AA/
INSU pour création des
services dans le cadre du
pôle thématique JMMC**

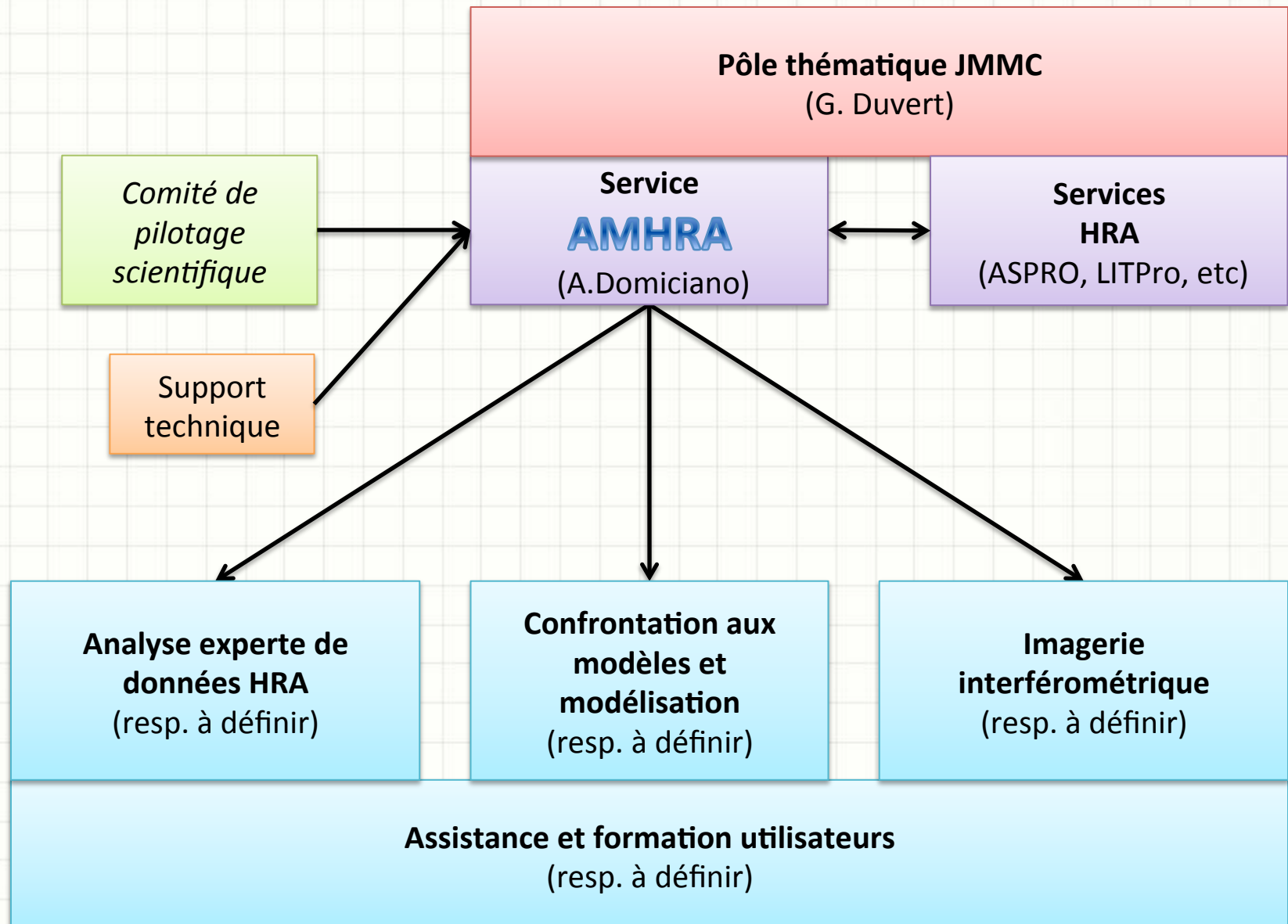
AMHRA:

Contexte national et international

- Partie du réseau de compétences du **pôle thématique national HRA (JMMC)**
- Expertise en HRA à la communauté, en particulier pour **l'exploitation scientifique de AMBER, MATISSE, VEGA et FRIENDS**
- Antenne du ***VLT Regional Center*** (ESO)

Page web (en construction): <http://amhra.oca.eu/>

Organigramme fonctionnel du service



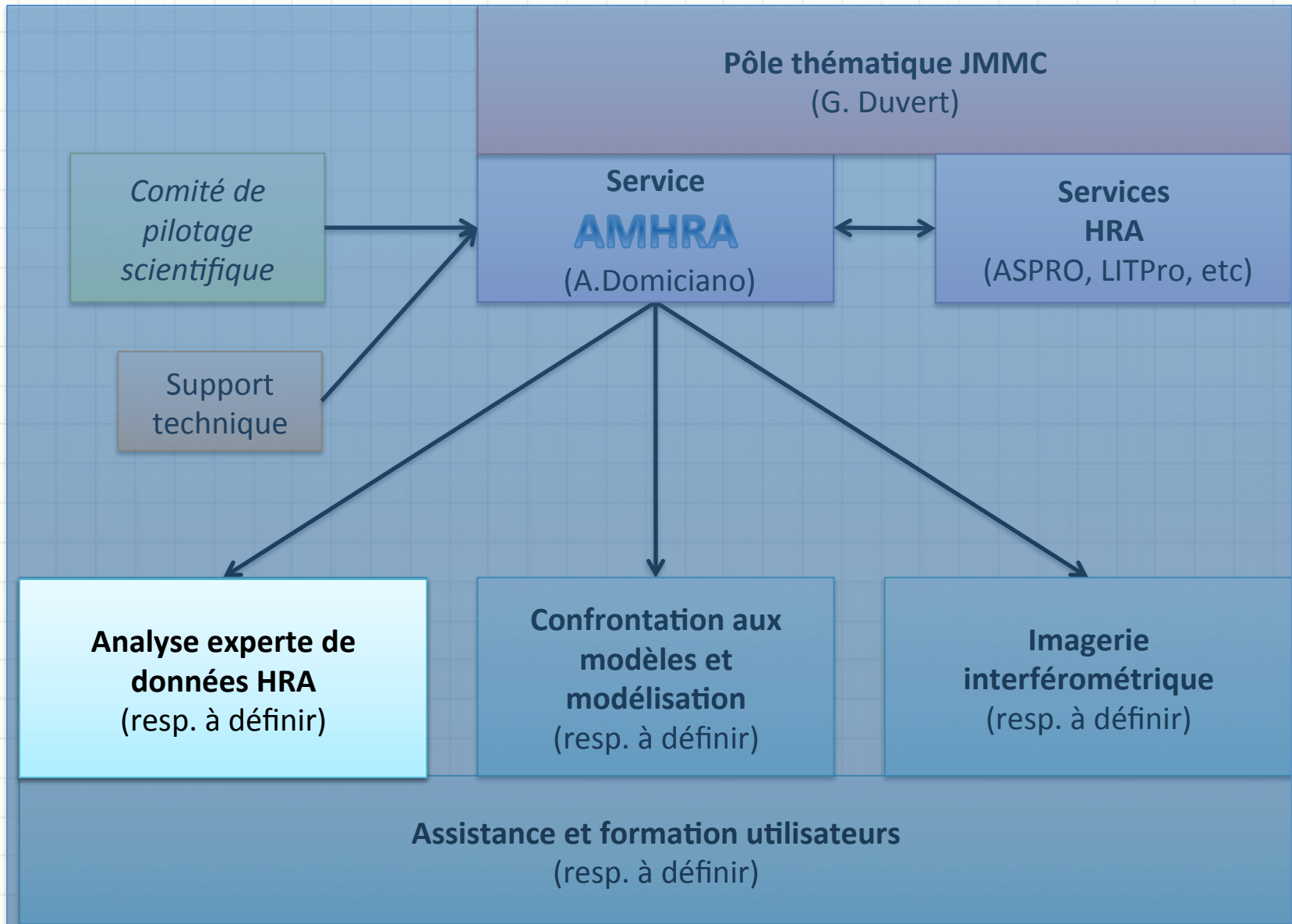
AMHRA: cadre et services proposés

Interface avec les instruments en interférométrie IR/visible sur lesquels l'OCA est fortement impliqué. 3 axes majeurs:

- 1) **Analyse experte des données HRA** et de leur qualité. Retour scientifique optimal des observations HRA, notamment pour les programmes les plus ambitieux (performances limites des instruments).
- 2) Assistance aux **méthodes d'interprétation d'observations** par
 - a) **Confrontation aux modèles et modélisation**: modélisation astrophysique, méthodes d'ajustement de modèles et estimation d'incertitudes. Complémentaire et en synergie avec *groupe Model Fitting*.
 - b) **Méthodes de reconstruction d'images** (complémentaire et en synergie avec le groupe Image Reconstruction)

Services accessibles par la formation et l'assistance utilisateurs, notamment dans le cadre des **VLTI Regional Centers**

Organigramme fonctionnel du service



Analyse experte de données HRA

Analyse experte des données HRA et de leur qualité.

Outils permettant d'accéder à des observables avec des barres d'erreurs les plus faibles possible, ce qui est essentiel pour un retour scientifique optimal des observations HRA

Particulièrement important pour les programmes les plus ambitieux qui demandent d'utiliser les instruments à la limite de leurs performances.

AMBER et VEGA : outils déjà existants

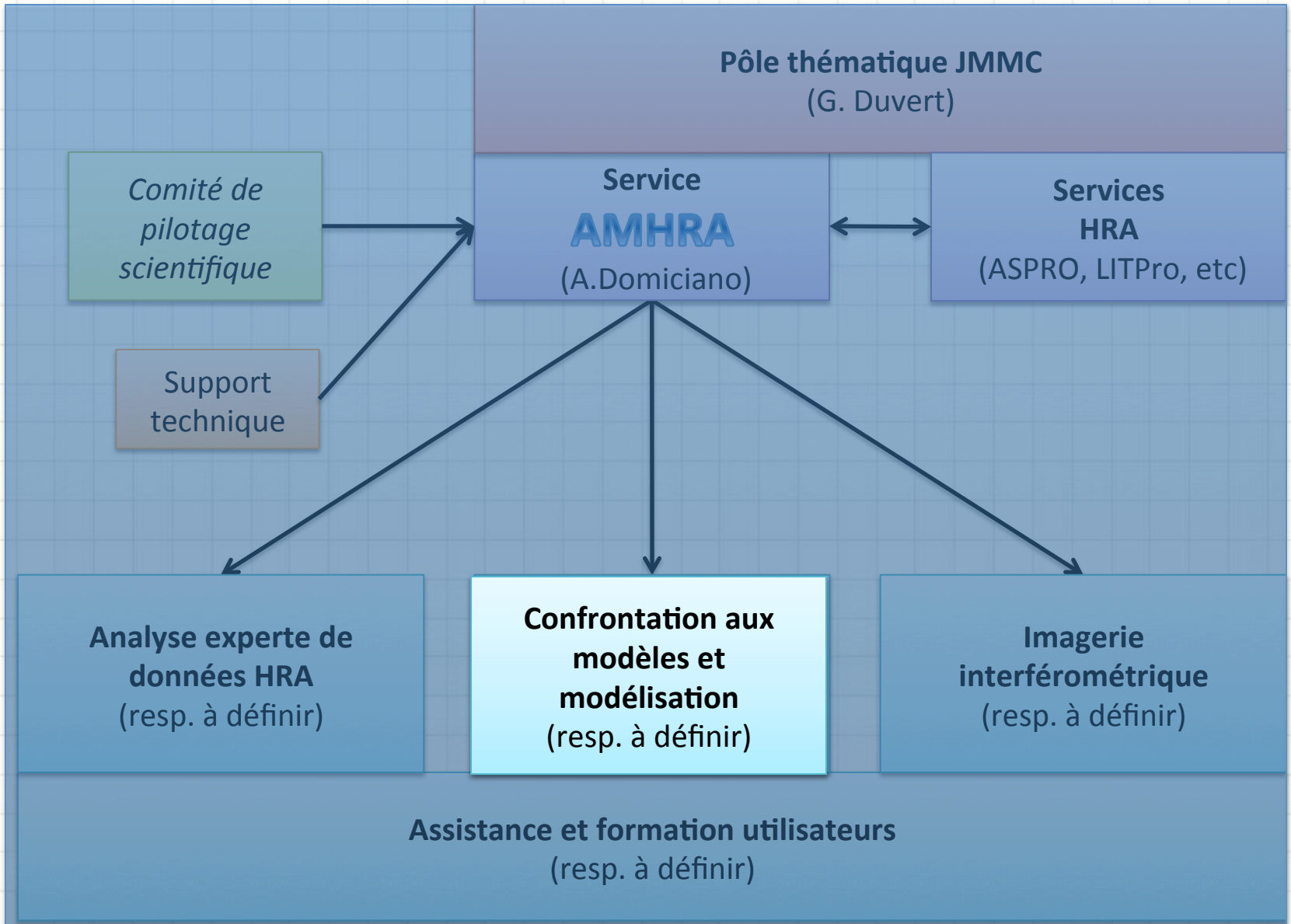
http://www.jmmc.fr/data_processing_amber.htm

<https://www.oca.eu/spip.php?article337>

<https://www-n.oca.eu/vega/en/present/index.htm>

MATISSE : en développement (cf. workshop 3 prochains jours) ₆

Organigramme fonctionnel du service



Modélisation astrophysique

Différents outils existent pour la modélisation astrophysique : environnements circumstellaires (e.g. disques de gaz et poussières), photosphères (e.g. pulsation, rotation, convection)

Modèles développés localement ou avec des collaborateurs.

Adaptés aux méthodes d'ajustement et estimation d'incertitudes.

Complémentaires des outils de modélisation géométriques/analytiques, tels que LITPro/JMMC.

Ces modèles (polychromatiques) fournissent en général
SED, spectres et images

Adaptés à l'exploitation astrophysique des instruments
VEGA, FRIENDS, AMBER, PIONIER, MIDI, MATISSE

Modèles astrophysiques d'environnements circumstellaires

Liste non exhaustive

- ❑ Modèles analytiques polychromatiques
- ❑ Modèles basés sur codes de transfert radiatif simplifié
- ❑ Modèles basés sur codes de transfert radiatif Monte Carlo

Ces modèles (polychromatiques) fournissent en général
SED, spectres et images

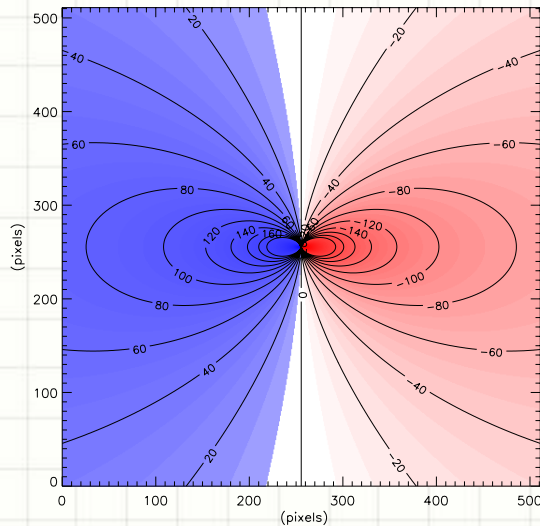
Adaptés à l'exploitation astrophysique des instruments
VEGA, FRIENDS, AMBER, PIONIER, MIDI, MATISSE

Modèles chromatiques analytiques de disques de gaz (e.g.: étoiles Be)

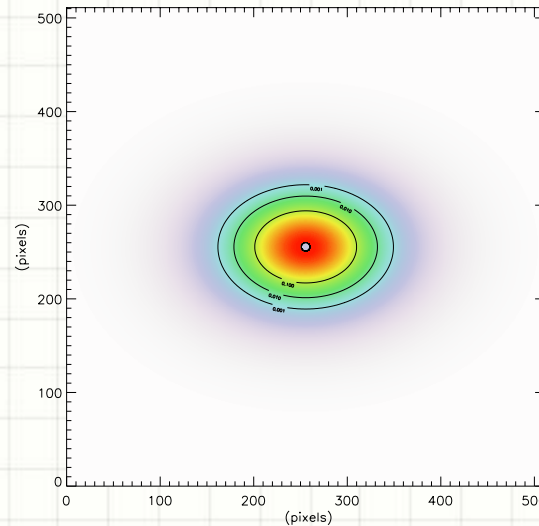
Géométrie et cinématique des disques (spectres et images)

Meilland et al. 2012

Champs de vitesses



Global Br gamma émission



Emission dans bin spectrale

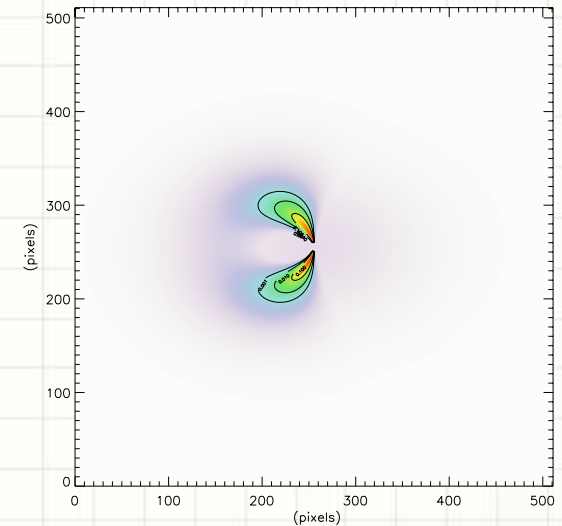


Fig. 12. Illustration of our kinematic model. *Left:* two-dimensional project velocity map for a purely rotating disk with an inclination angle of 45° . The blue and red colors represent the positive and negative projected velocities, respectively. *Center:* global emission map in the Br γ line. It is given by a simple elliptical Gaussian with an elongation cause by the projection onto the sky plane. *Right:* emission map in a narrow spectral channel centered around $21\,664\text{ \AA}$ with a resolution of 1.8 \AA . It is obtained using the velocity map and the emission map. See Delaa et al. (2011) for more details.

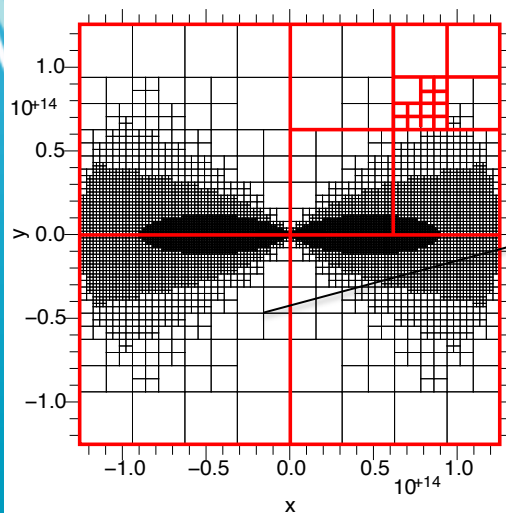
Modèles de disques de gaz et poussière (e.g.: étoiles Be et supergéantes B[e])

FRACS: Fast Ray-tracing Algorithm for Circumstellar Structures

Niccolini, Bendjaya, Domiciano de Souza (2011)

Transfert radiatif simplifié (tracé de rayon, sans diffusion)

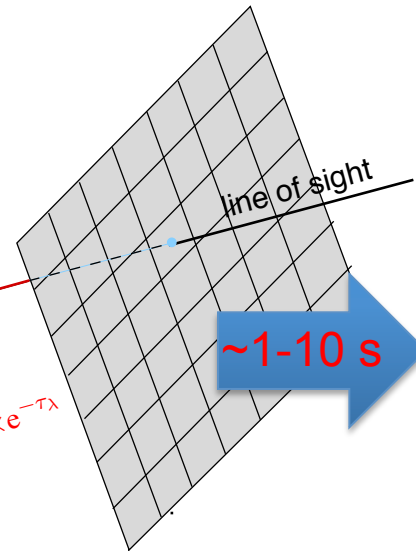
Adaptive grid from
parametrical CSE



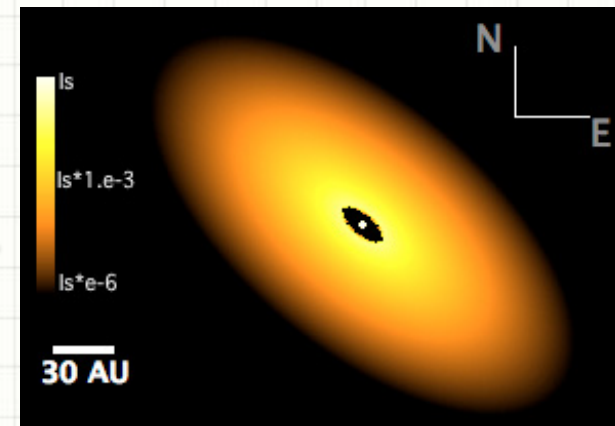
$$\kappa_{\lambda}^{\text{abs}}(\vec{r}) B_{\lambda}(T(\vec{r}))$$

$\hat{n} ds$

$$\text{extinction} = \tau e^{-\tau_{\lambda}}$$



Intensity maps

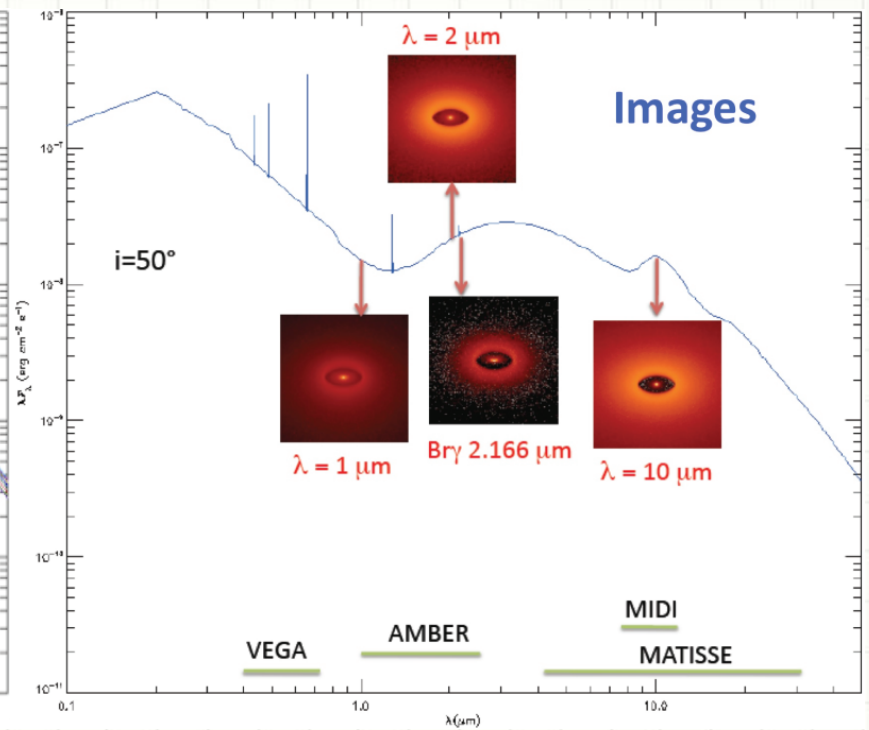
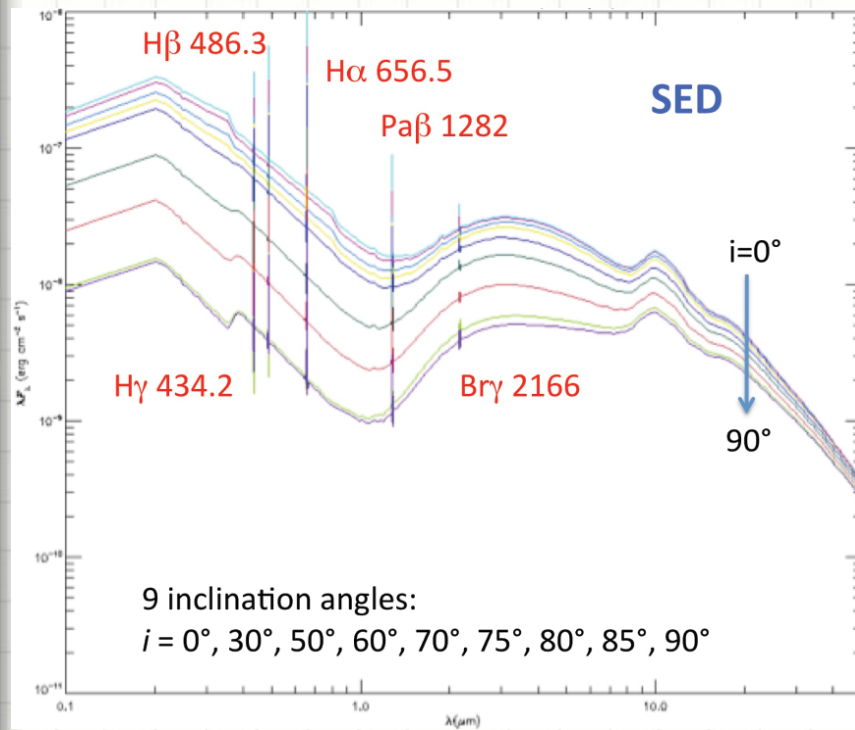


Evolutions prévues:

- Modèles avec raies spectrales (commençant par H) + continu (ff, fb)
- Traitement de différentes géométries et des opacités élevées

Grille modèles disque de gaz et poussière (e.g.: étoiles supergéantes B[e])

Modèles avec code de transfert radiatif HDUST (A.C.Carciofi)
SED, spectres et images



Evolutions prévues:

- Extension de la grille (longueur d'onde et paramètres)
- Création d'outils pour interpréter les observations

Grille modèles disque de gaz et poussière (e.g.: étoiles supergéantes B[e])

Parameter	Value	
Gas parameters		
Composition	Hydrogen	
Number of levels	25	
Common dust parameters		
Composition	Amorphous silicate	
Dust distribution index n	-3.5	(MRN law; Mathis et al. 1977)
$T_{\text{destruction}}$	1500 K	
Gas to dust ratio	200	
	Dust model 1	Dust model 2
Grain size $a_{\text{min}}-a_{\text{max}}$	1–50 μm	0.05–50 μm
Grain density ρ_{dust}	0.1, 1.0 g cm^{-3}	0.1, 1.0 g cm^{-3}

Total de 1296 modèles

Modèles calculés avec le code de transfert radiatif Monte Carlo HDUST (A.C.Carciofi)

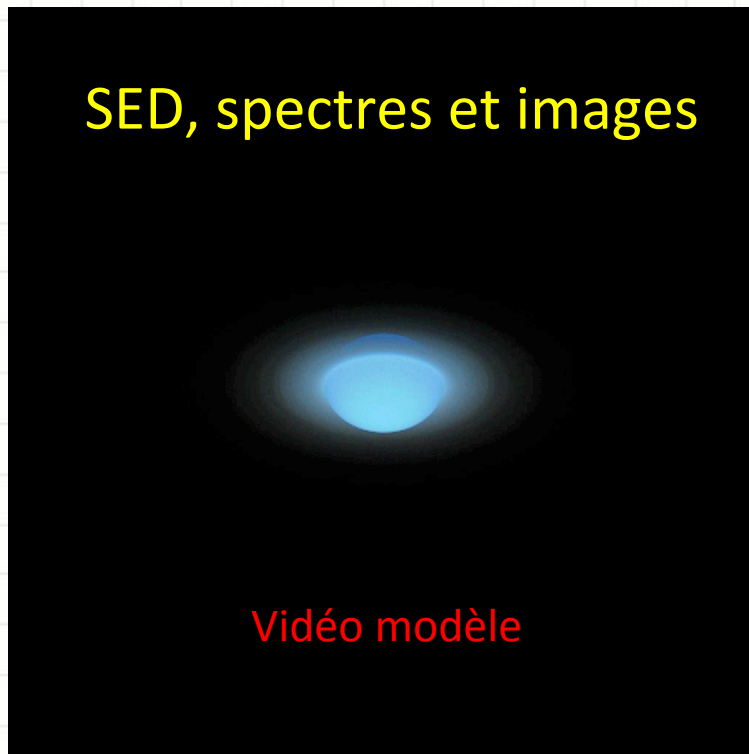
Calculs réalisés sur le Mésocentre SIGAMM à l'OCA

<https://lagrange.oca.eu/spip.php?rubrique771>

Domiciano de Souza & Carciofi (2012)

Grille modèles disque de gaz et poussière (e.g.: étoiles Be)

Be Atlas: modèles avec code de transfert radiatif HDUST



Bandes spectrales des modèles:
UV, SED, Ha, Hb, Hg, Hd, H5, H6, H7, H8, H9, H10, H11, H12, H, J, K, Br13, Brg, L, M, N, Q1, Q2

Modèles disponibles en format binaire XDR

Librairies Python (PyHdust)
<http://astroweb.iag.usp.br/~moser/doc/index.html>

Travail basé sur la thèse de doctorat de D.Moser Faes (06/10/2015)
(co-tutelle dirigé par A.C.Carciofi et A.Domiciano de Souza)

Modèles astrophysiques de photosphères stellaires

Liste non exhaustive

- Diamètres angulaires et calibration
- Pulsation
- Rotation
- Convection, assombrissement centre-bord

Ces modèles (polycromatiques) fournissent en général
SED, spectres et images

Adaptés à l'exploitation astrophysique des instruments
VEGA, FRIENDS, AMBER, PIONIER, MIDI, MATISSE

Modèles astrophysiques de photosphères stellaires: diamètres angulaires et calibration

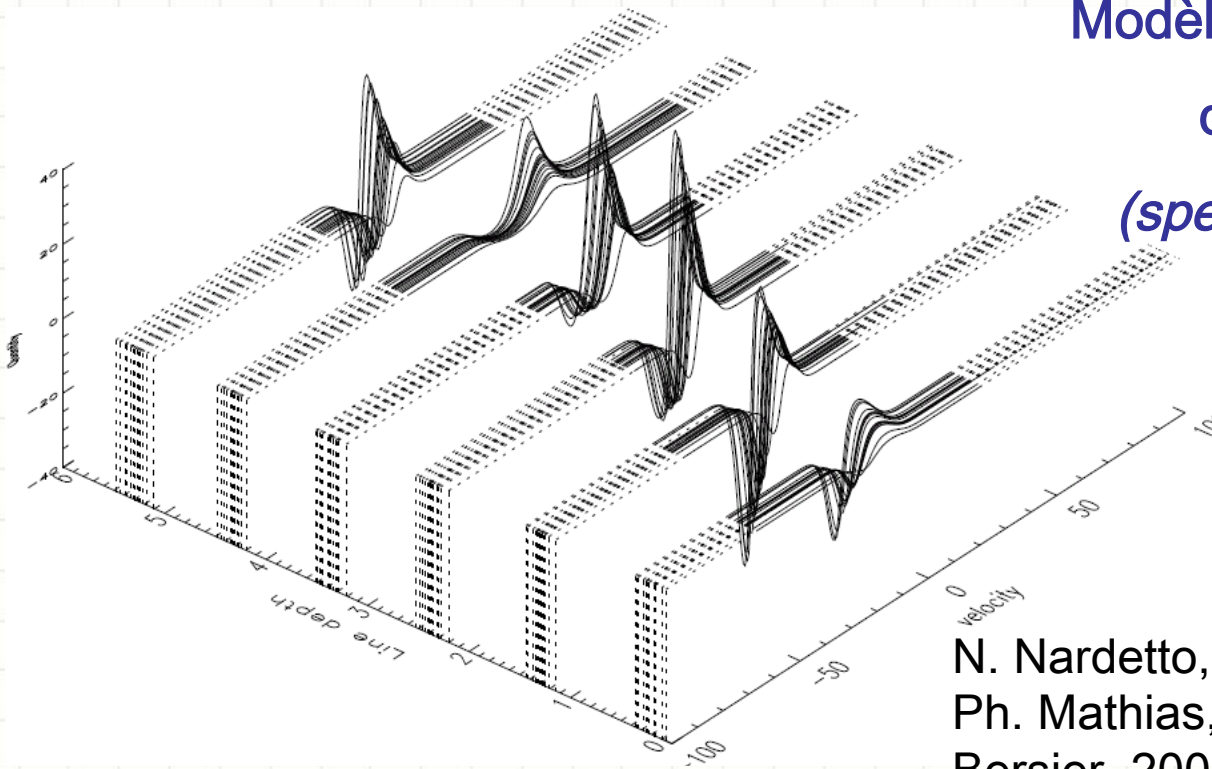
SPIDAST (Cruzalèbes et al. 2013, 2014, 2015)

- ✓ IDL-based routines, can apply to any ground-based interferometer with any wavelength range and spectral resolution
- ✓ Robust determination of angular diameter of the interferometric calibrators
- ✓ Accurate spectral and interferometric calibration of flux, visibility, closure phase, complex bispectrum
- ✓ Measurement of departure from centrosymmetry (CSP parameter)
- ✓ Fitting of model parameters for single-component and composite 1D and 2D chromatic models

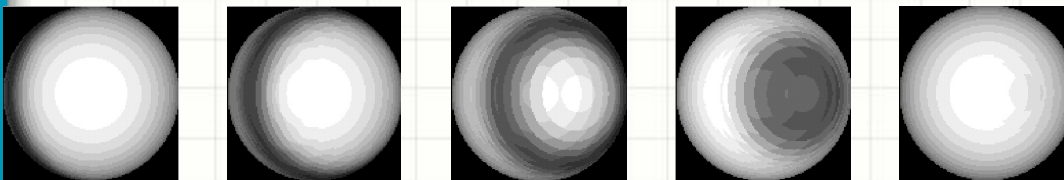
<https://forge.oca.eu/trac/spidast>

Modèles astrophysiques de photosphères stellaires: pulsation

Modèles astrophysiques
de céphéides
(spectres et images)



N. Nardetto, A. Fokin, D. Mourard,
Ph. Mathias, P. Kervella, D.
Bersier, 2004, A&A, 428, 131

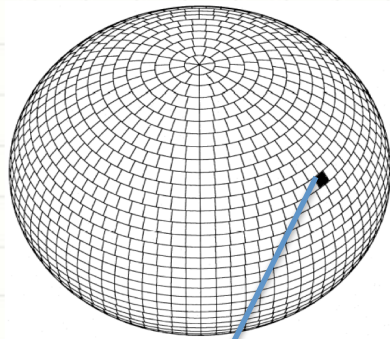


images dans pour différents canaux spectraux dans la raie

Modèles astrophysiques de photosphères stellaires: rotation

CHARRON : Code for High Angular Resolution of Rotating Objects in Nature

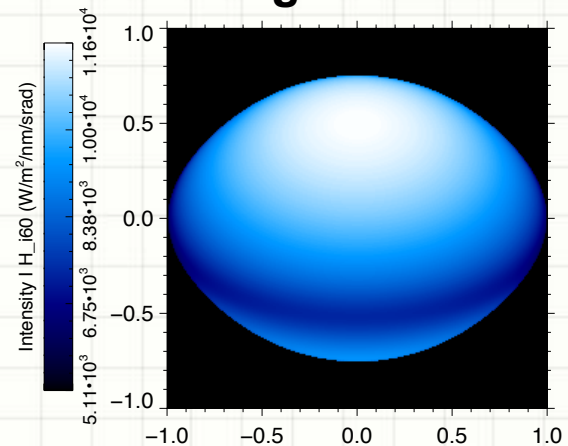
Surface 2D grid from physical model of rotating star



At each surface grid element:

$\theta, \phi, \mu, T_{\text{eff}}, g_{\text{eff}}, v_{\text{proj}}, dS_{\text{proj}}$

Intensity maps $I_{\lambda}(\theta, \phi)$ of stellar photosphere at given λ

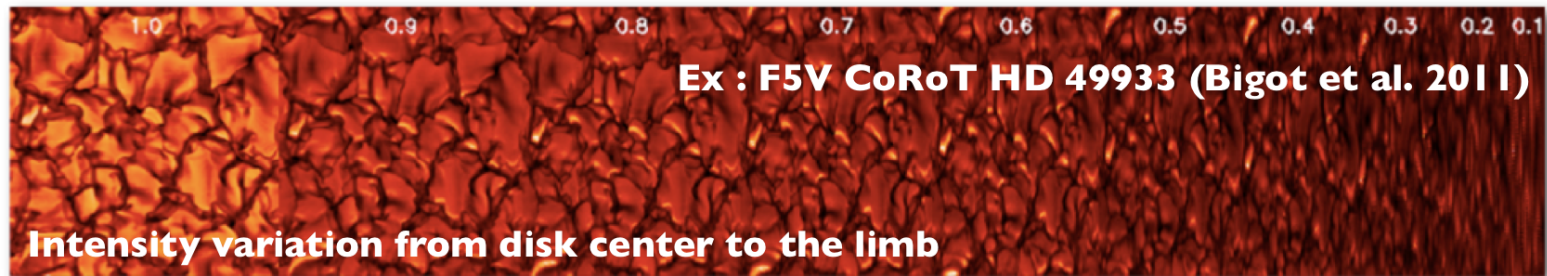


Modèles astrophysiques de photosphères stellaires: convection, limb darkening

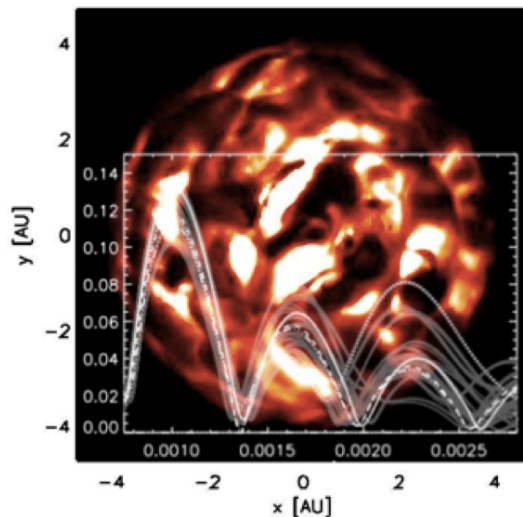
Stellar surface hydrodynamics

3D hydrodynamical simulations for accurate interferometric observables

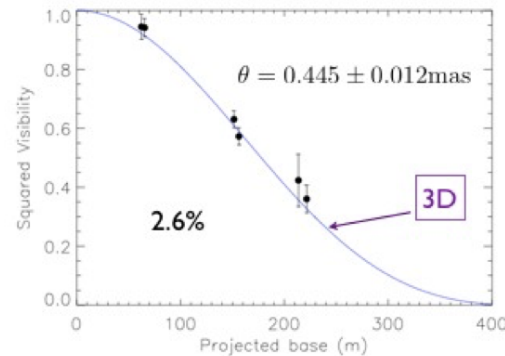
(Bigot, Chiavassa)



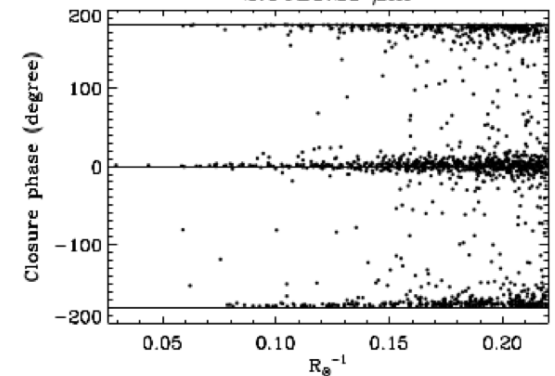
Supergiant simulation of Betelgeuse and corresponding visibilities (Chiavassa et al. 2010)



Fit of the VEGA@CHARA visibilities obtained for the CoRoT seismic target. Bigot et al. (2011)



Closure phase of granulation on Procyon Chiavassa, Bigot et al. (2012)



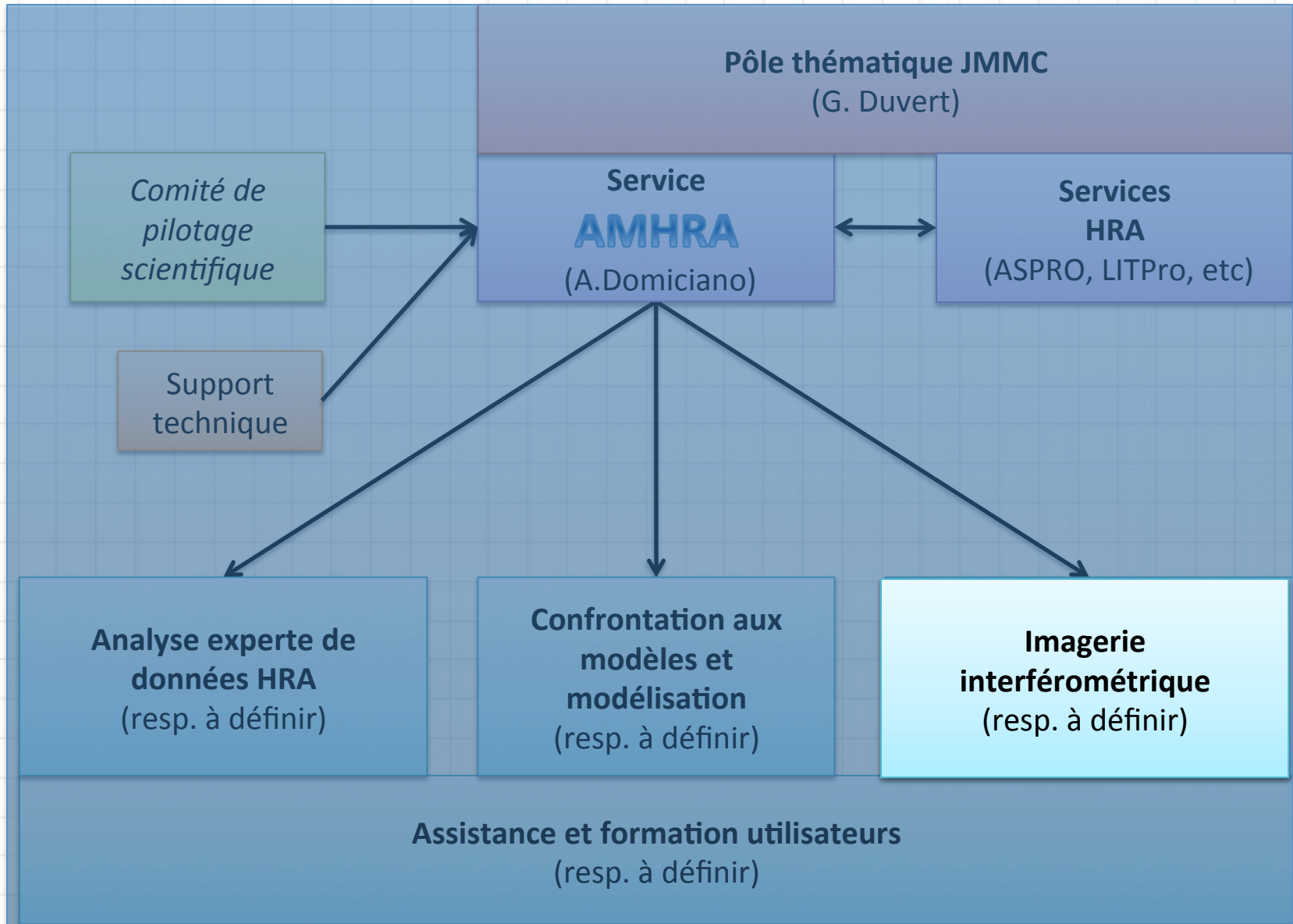
Modélisation astrophysique

Les outils de modélisation doivent également être adaptés à l'ajustement de modèles par différentes méthodes permettant de contraindre les paramètres physiques d'entrée et d'estimer leurs incertitudes.

Intersections possibles/nécessaires avec les outils existants au JMMC, en particulier LITPro

Développement/mise à disposition de divers outils de modélisation allant des plus simples aux plus complexes en fonction des besoins des utilisateurs, des objectifs scientifiques, des données disponibles et de leurs qualité.

Organigramme fonctionnel du service



Imagerie interférométrique

Coordination avec le service JMMC Image reconstruction avec des logiciels développés à l'OCA (entièrement ou dans le cadre des collaborations).

Développement/utilisation d'outils de reconstruction d'images polychromatiques pour tels que:

SelfCal (F.Millour et al.) :

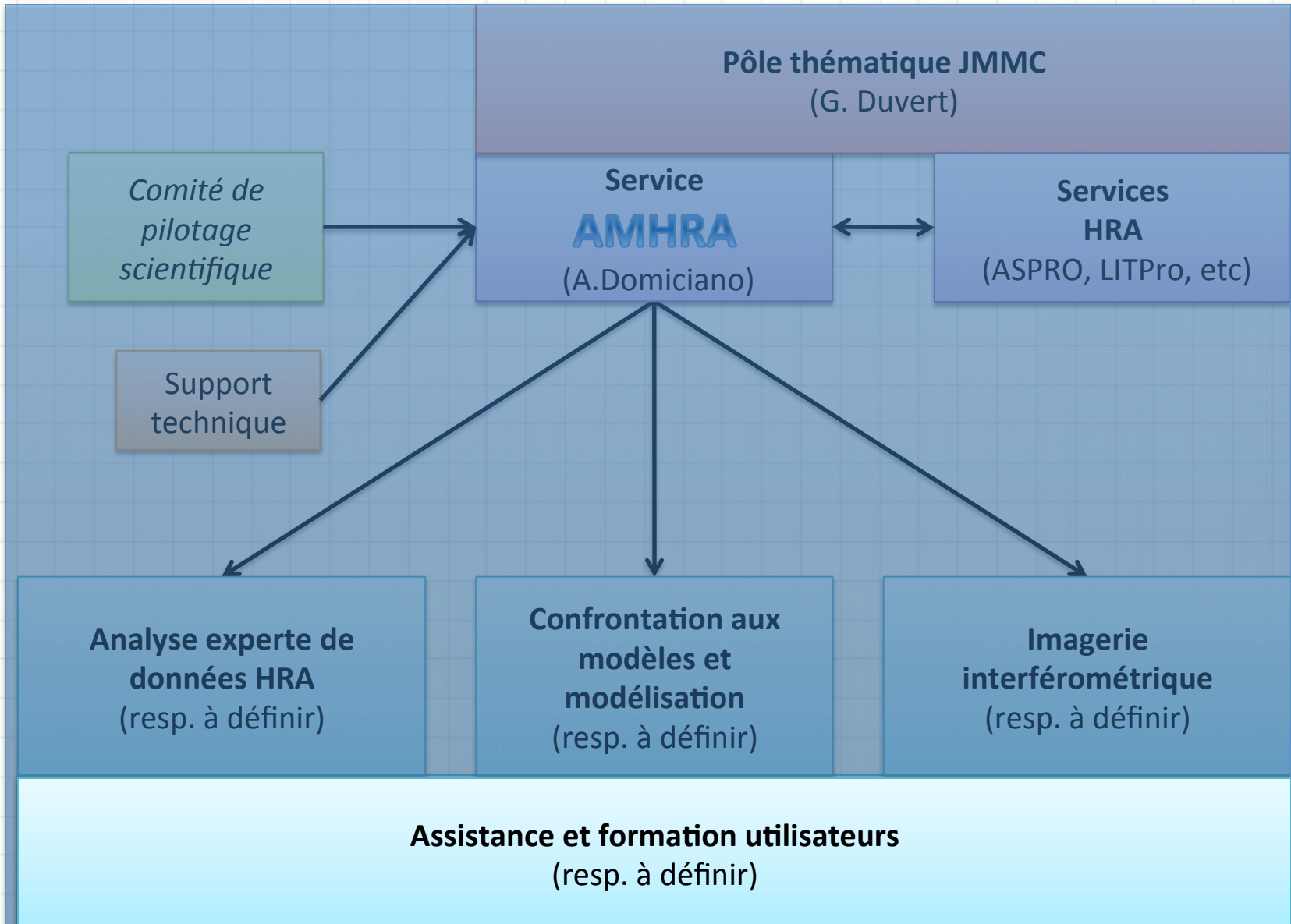
<https://forge.oca.eu/trac/fitOmatic/wiki/self-cal>

Painter (A.Ferrari et al.):

<https://www-n.oca.eu/aferrari/painter/>

Voir exposé de E. Thiébaud sur la reconstruction d'images et les outils disponibles.
Voir exposé de F. Millour sur SelfCal.

Organigramme fonctionnel du service



Assistance et formation utilisateurs

L'exploitation optimale des instruments HRA passe également par un besoin de formation aux quantités que peut mesurer la HRA et à leurs limites en sensibilités et en précision.

Aider les utilisateurs novices à prendre en charge les outils nécessaires aux étapes clefs de l'exploitation des instruments HRA.

Structure d'accueil à mettre en place.

Assistance et formation utilisateurs

Visites des utilisateurs à des dates définies d'avance (typiquement 2-3 mois avant les deadlines des demandes de temps) ainsi que 2 ou 3 séances par an pour la réduction et l'analyse avancée de données et la modélisation astrophysique associée:

- Modélisation astrophysique pour préparer et optimiser les demandes de temps.**
- Analyse avancée des données** : avoir le meilleur rapport signal-à-bruit possible.
- Première interprétation astrophysique des observations**

Une interprétation plus approfondie des observations se fera dans le cadre des collaborations scientifiques entre chercheurs.

Assistance et formation utilisateurs

Activités associées à cette partie du service :

- La mise en place des algorithmes d'analyse avancée de données et de la procédure optimale de réduction.
- Interface de contact et procédures d'accueil des utilisateurs pour la réduction/interprétation de données.
- L'alimentation d'une base de données réduites.

**Service à coordonner avec les futurs
VLTJ Regional Centers
(cf. exposé G.Duvert)**