

Un service de modèle de chocs pour la communauté PCMI

- Antoine Gusdorf LRA/LERMA, Paris, France
- Franck Le Petit LUTH, Meudon, France
- Carlo Maria Zwölf LERMA, Paris, France
- David Languignon LUTH, Meudon, France
- Nicolas Moreau LERMA, Paris, France

- Guillaume Pineau des Forêts IAS, Orsay, France
- David Flower Physics Dptmt, Durham, UK
- Pierre Lesaffre LRA/LERMA, Paris, France
- Sylvie Cabrit LERMA, Paris, France

Réunion annuelle de l'ASOV, Paris, France
Lundi 11 Mars 2013

2 PLAN

- POURQUOI ÉTUDIER LES CHOCS ?
- LE SERVICE DE MODELES DE CHOCS
- UN EXEMPLE D'APPLICATION

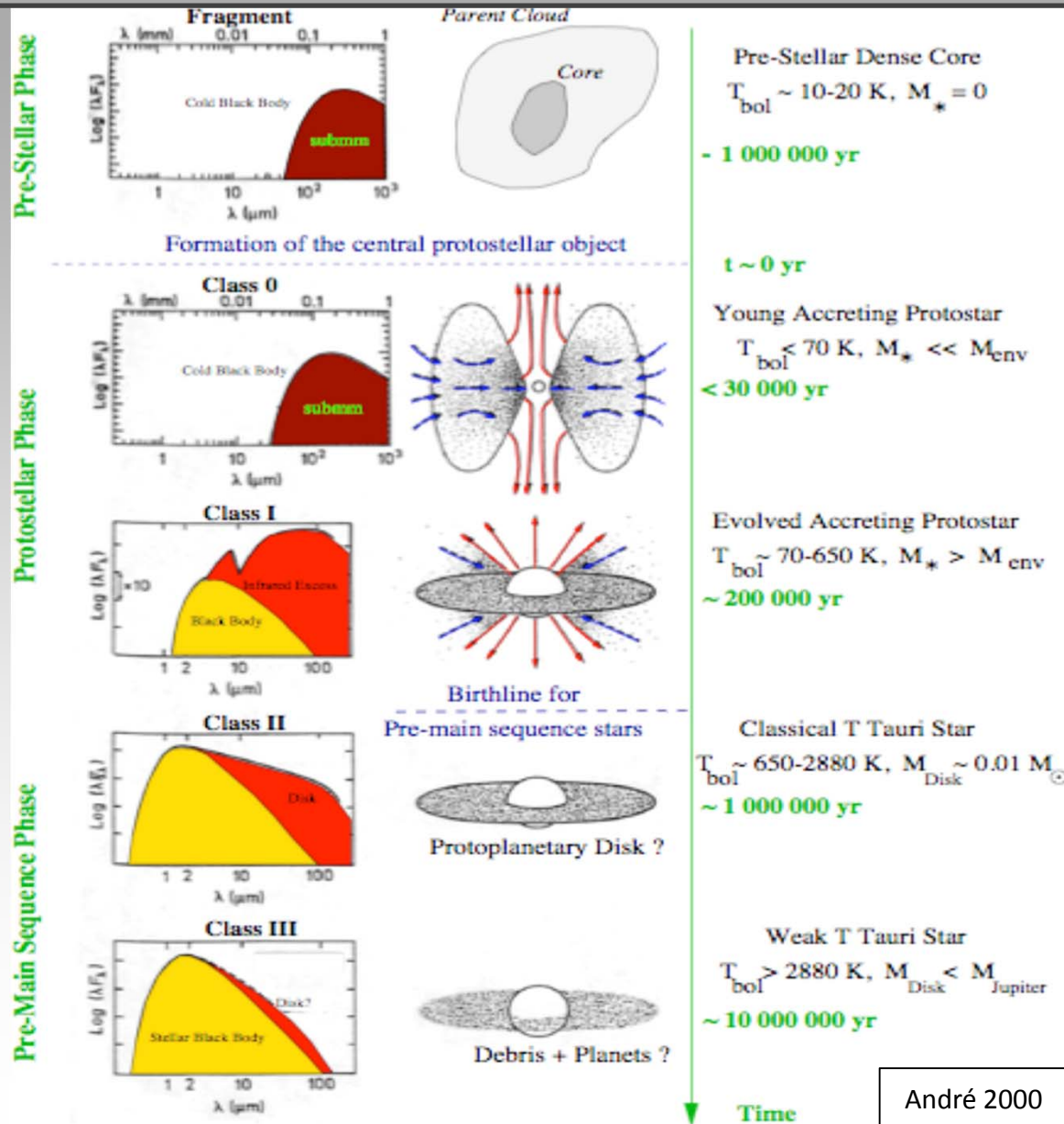
3 POURQUOI ÉTUDIER LES CHOCS ?

- Le milieu interstellaire
- La formation des étoiles
- Le bilan énergétique des galaxies
- Les très hautes énergies

4 Le milieu interstellaire

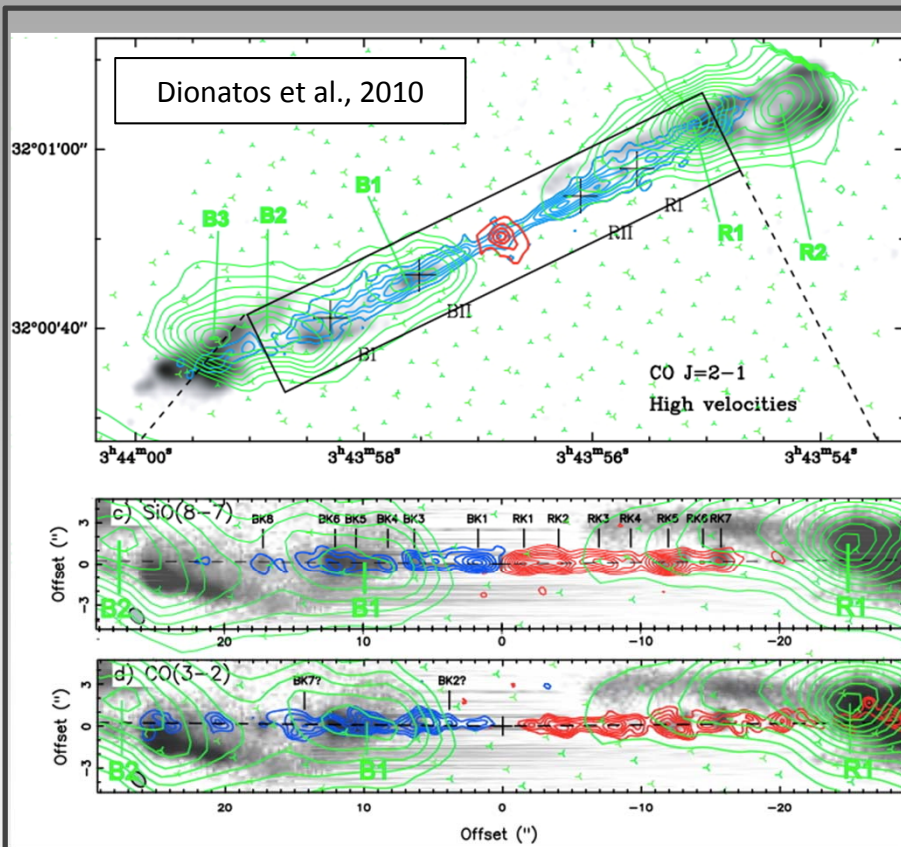
- Le milieu interstellaire est constamment hors équilibre, car perturbé par une injection d'énergie :
 - **Mécanique** : propagation d'ondes de **chocs** qui accompagnent la naissance et la mort des étoiles
 - Rayonnement UV : étoiles massives de la Galaxie
 - Rayonnements énergétiques : X, gamma, 'rayons' cosmiques
- L'étude des **chocs**, notamment depuis *Spitzer*, *Herschel*, ALMA, apporte des éléments de réponse aux questions suivantes :
 - Formation des étoiles
 - Bilan énergétique des galaxies
 - Indirectement, composition et accélération des rayons cosmiques

5 La formation stellaire



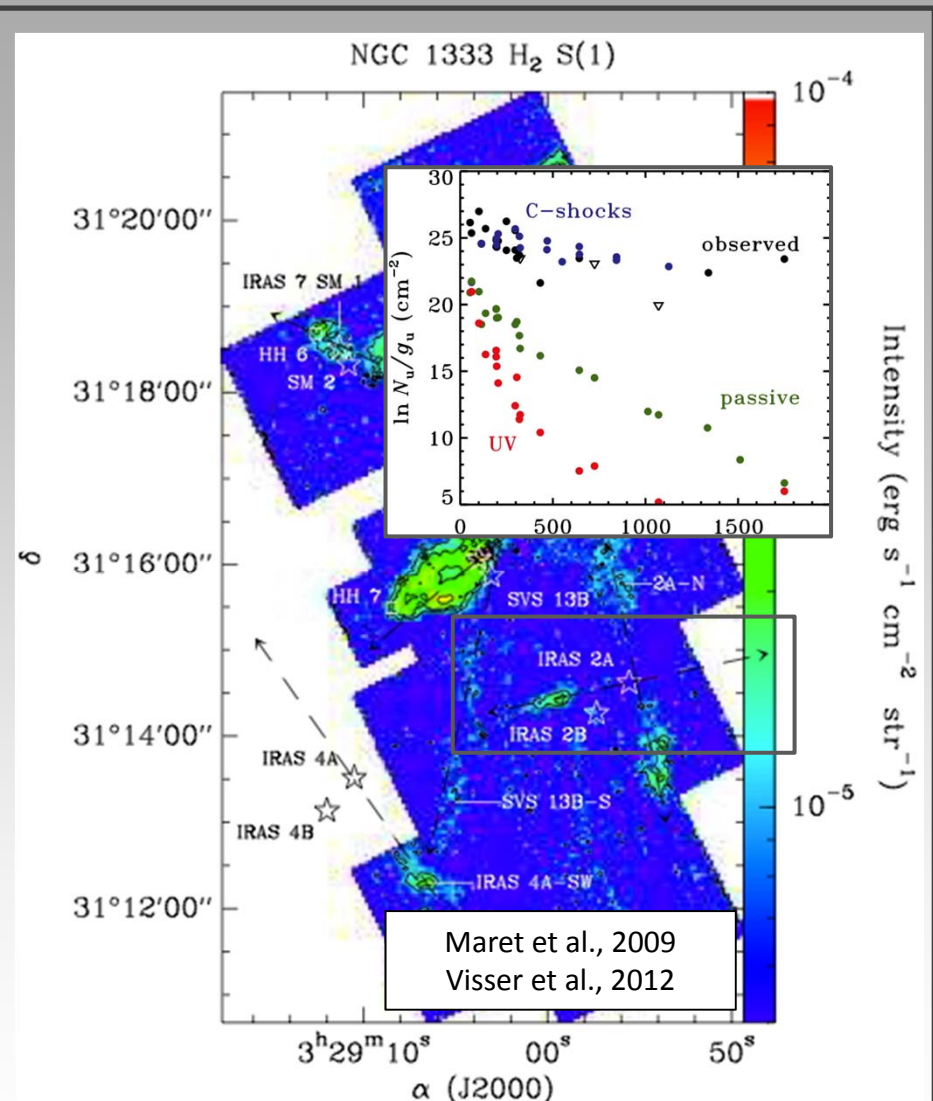
André 2000

6 La formation stellaire



Peak	C-shock ($b = 1$)				J-shock ($b = 0, b_{ff} = 1$)		
	$n_{\text{H}}^{\text{ini}} (\text{cm}^{-3})$	$V_s (\text{km s}^{-1})$	opr_{ini}	b_{ff}	$n_{\text{H}}^{\text{ini}} (\text{cm}^{-3})$	$V_s (\text{km s}^{-1})$	opr_{ini}
R1	$5 \times 10^5 - 10^7$	10-13	3	0.01-0.02	5×10^4	14	3
R2	$5 \times 10^5 - 10^7$	10-11	3	0.02-0.04	5×10^4	14	3
B1	$5 \times 10^5 - 10^7$	10	3	0.02-0.03	10^4	10	3
B2	$5 \times 10^5 - 10^7$	10-11	3	0.01-0.03	10^4	10	3
B3	$5 \times 10^5 - 10^7$	10-11	3	0.02-0.03	10^4	11	3

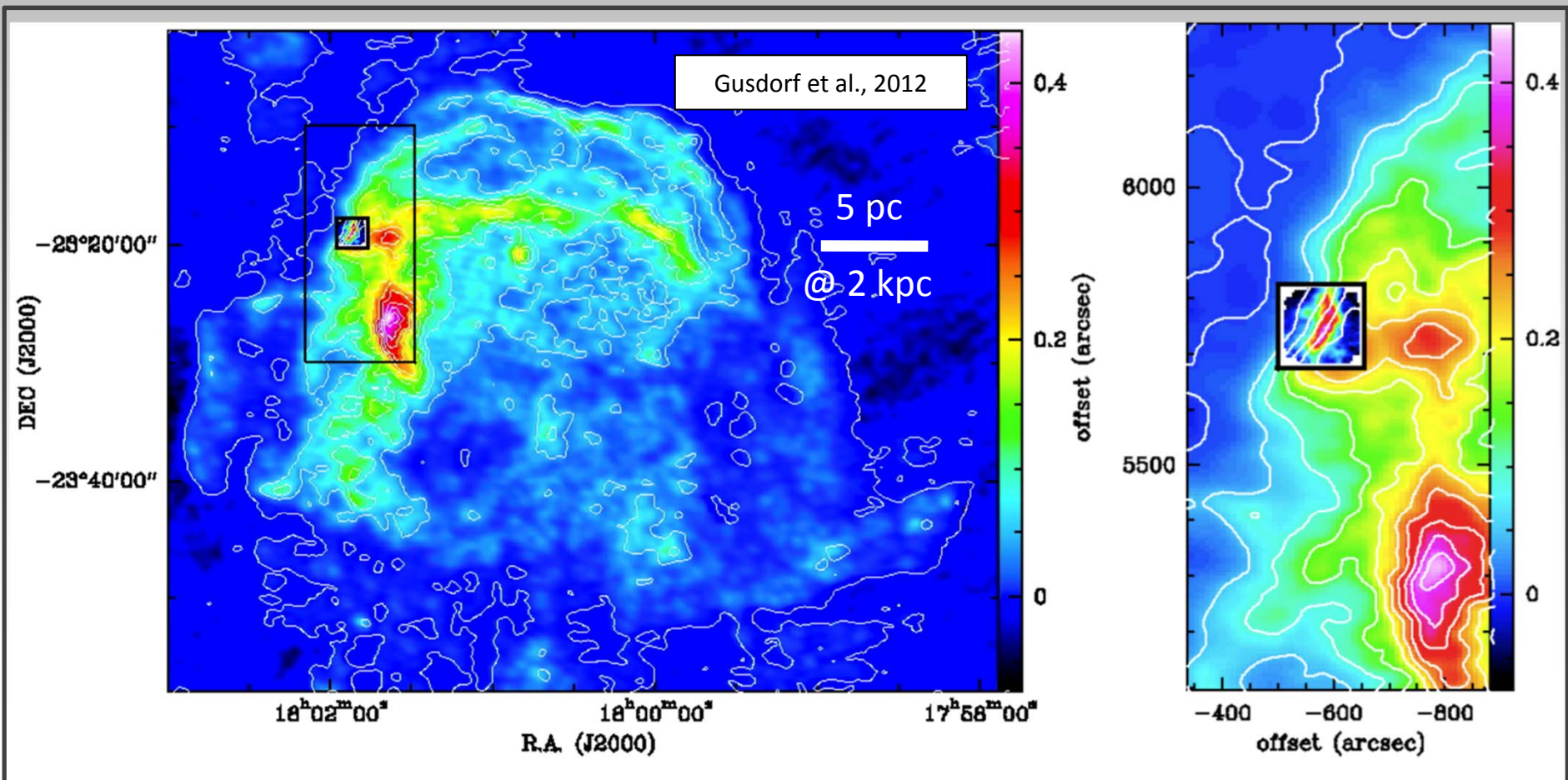
HH211



NGC1333-IRAS 2A

7 La formation stellaire

- Les chocs constituent une source d'injection d'énergie/turbulence dans le MIS, leur contribution est prise en compte dans les simulations à grande échelle de l'évolution des nuages moléculaires :
 - jets et flots bipolaires
 - restes de supernova



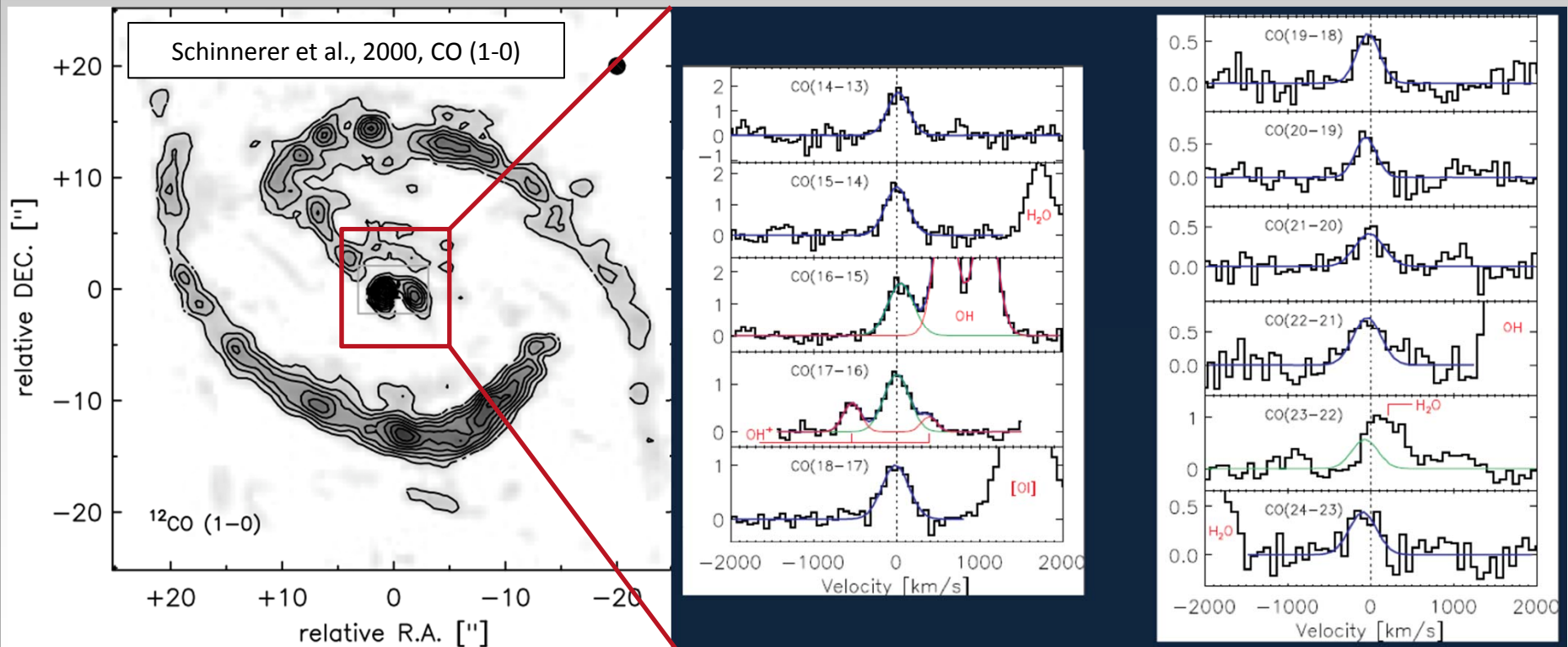
8 Le bilan énergétique des galaxies : NGC 1068

- Observation des échelles de CO dans les galaxies

Contribution des effets à grande échelle : PDR, XDR et chocs

NGC 253 [Hailey-Dunsheath et al. 2008](#) ; M82 [Panuzzo et al. 2010](#) ; NGC 891 [Nikola et al. 2011](#) ; NGC 6240 [Meijerink et al. 2013](#)

- Observations *Herschel*/PACS de NGC1068, [Hailey-Dunsheath et al. 2012](#)

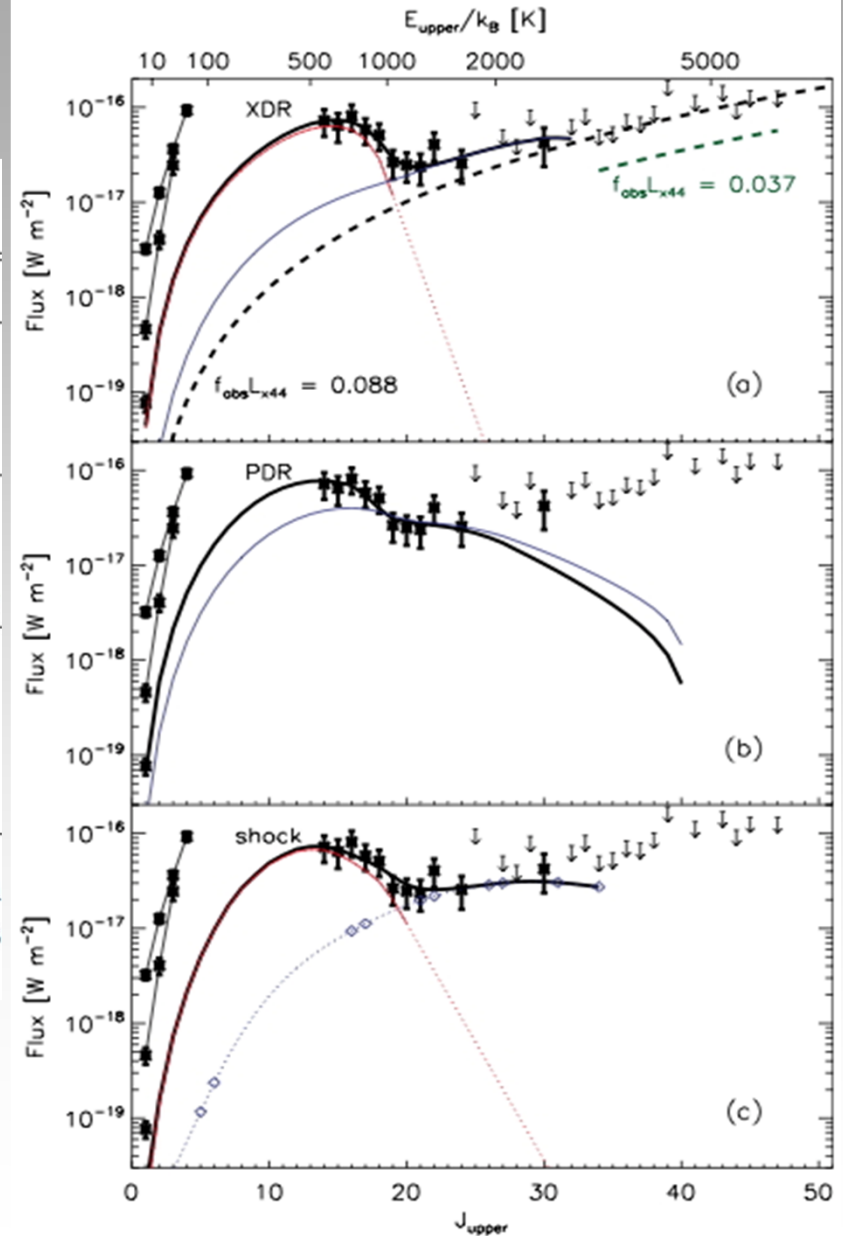


9 Le bilan énergétique des galaxies : NGC 1068

Table 4
Heating Mechanisms

	ME	HE	Full
XDR	$n_H = 10^{5.75} \text{ cm}^{-3}$ $F_X = 9 \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ $A \sim (130 \text{ pc})^2$	$n_H = 10^{5.25} \text{ cm}^{-3}$ $F_X = 160 \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ $A \sim (21 \text{ pc})^2$...
PDR	...	$n_H = 10^{6.5} \text{ cm}^{-3}$ $G_0 = 10^{4.75}$ $L_{\text{FUV}} \sim 2 \times 10^9 L_\odot$	$n_H = 10^6 \text{ cm}^{-3}$ $G_0 = 10^5$ $L_{\text{FUV}} \sim 10^{10} L_\odot$
Shock	C-shock $n_0 = 2 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$ $v = 20 \text{ km s}^{-1}$ $A \sim (150 \text{ pc})^2$	C-shock $n_0 = 10^6 \text{ cm}^{-3}$ $v = 40 \text{ km s}^{-1}$ $A \sim (16 \text{ pc})^2$...

Notes. Details for the models used in Figure 9. XDR and PDR models are from Meijerink et al. (2007), ME C-shock model is from Flower & Pineau Des Forêts (2010), and HE C-shock model is from Kaufman & Neufeld (1996).

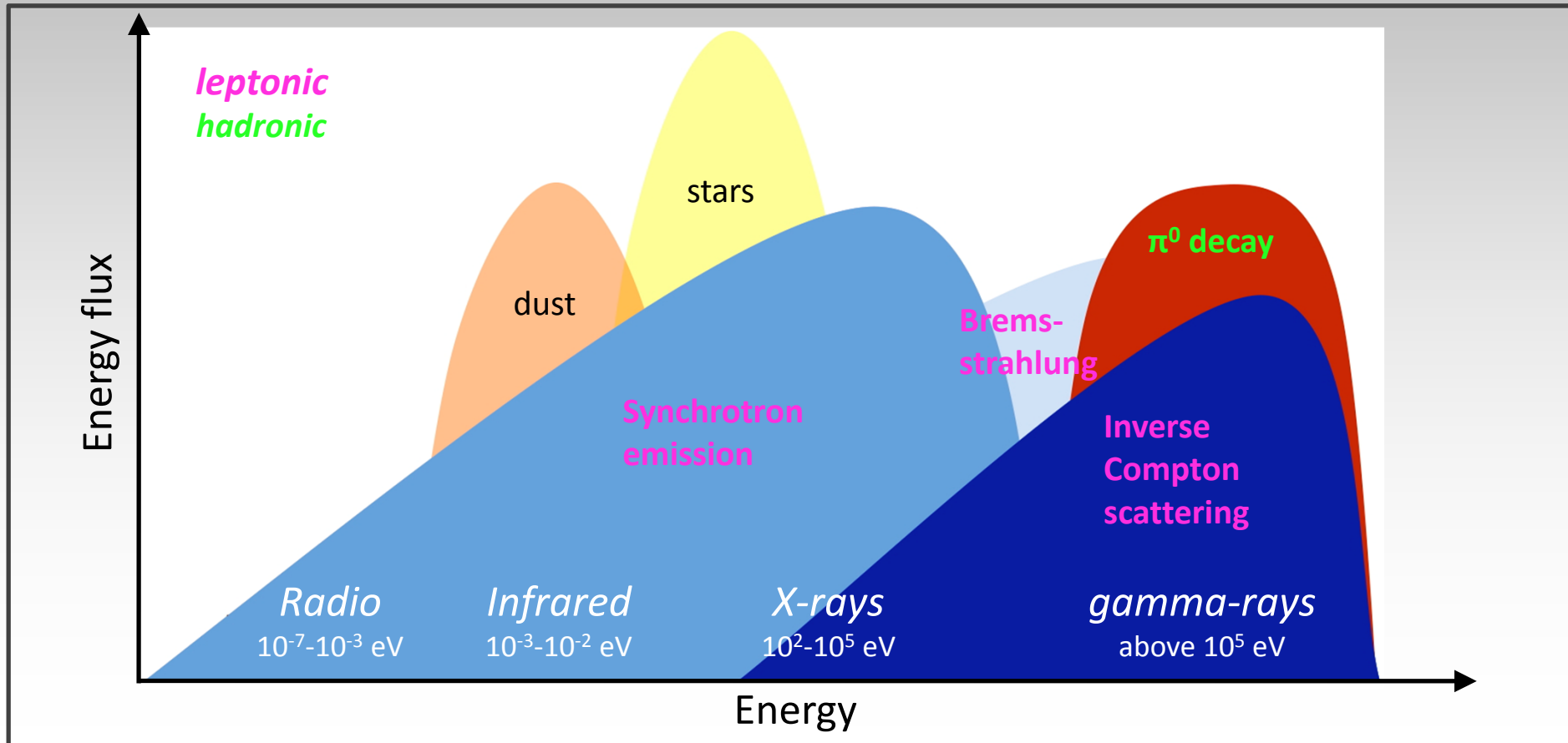


10 Les très hautes énergies

- Depuis leur découverte, les rayons cosmiques ont soulevé principalement deux questions :
 - Quelle est leur composition : hadronique-leptonique ?
 - Où et comment sont ils accélérés : dans les chocs de SNRs.
- Observations du rayonnement non thermique du domaine radio jusqu'aux X : **électrons relativistes**,
(émission synchrotron par interaction avec le champ magnétique)
- Pas de telle preuve directe pour les **hadrons**, mais :
par collision avec le gaz ambiant : hadrons $\rightarrow \pi^0 \rightarrow$ rayons γ détectables

11 Les très hautes énergies

- Malheureusement :
 - Effet Compton inverse **e^- relativistes** – photons basse énergie
 - Bremsstrahlung des **e^- relativistes** sur les e^- et noyaux interstellaires
 - Contamination possible des PWN
- ⇒ Autant de contamination possible des spectres de rayons γ



12 LE SERVICE DE MODELES DE CHOC

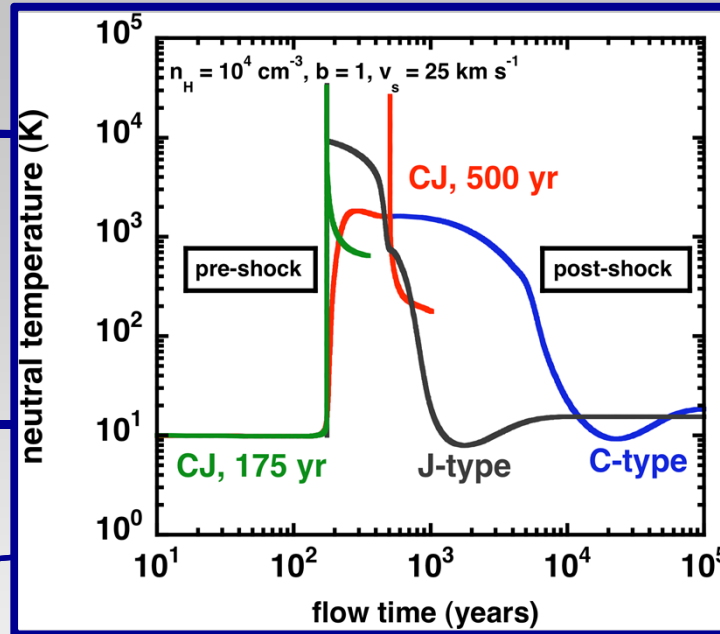
- Le modèle de chocs
- Mise en ligne de la source
- Lancement à distance
- Grilles de modèles et ressources de calcul

13 Le modèle de chocs

Code chocs MHD

- 1D stationnaire (C,J)
- 1D non stationnaire approximation(CJ)

Entrées : type, b , n_H , v_s ,
(age if CJ)



Sorties : structure
physique et chimique

Transfert de
rayonnement LVG :
émissivités, population
des niveaux à chaque
point du choc

macro physique:
Équations de conservation
Termes source, ρ , v , T

micro physique:
 H_2 , chimie,
grains (physique & chimie)

Comparaisons cohérentes avec les observations :

- diagrammes d'excitation pour H_2
- diagrammes d'intensité intégrée pour CO

14 Mise en ligne de la source

<http://ism.obspm.fr/>

The screenshot shows a Safari browser window displaying the website <http://ism.obspm.fr/>. The browser's address bar shows the URL and the page title "Plateform MIS | Plateform of numerical services of the interstellar and extragalactic medium". The website features a green "BETA" banner in the top left corner. The main navigation bar includes the "ISM Services" logo and the tagline "Plateform of numerical services of the interstellar and extragalactic medium". Navigation links for "CODES & DATABASES", "DOCUMENTATION", and "LOG IN" are present. A large image of a colorful nebula is displayed below the navigation. The main content area is divided into four columns: "PDR Code", "Starformat", "Shock", and "TDR Code", each with a description. A "COMMUNITY NEWS" section is visible at the bottom, with a "PDR code update" link highlighted.

15 Lancement à distance

Via la grammaire PDL

The screenshot displays a software interface with three main windows:

- Paris-Durham shock code**: A window showing a list of input categories: `inputs`, `shockParameters` (highlighted in blue), `environment`, `numericalParameters`, and `outputSpecifications`.
- Summary and server communication**: A window with a `Launch computation` button and a list of input categories: `shockParameters`, `environment`, `numericalParameters`, and `outputSpecifications` (all highlighted in green). The word `Valid` is visible on the left.
- Group detail**: A window showing parameter settings for a shock code group. The parameters and their values are:
 - `shockType` (no unit; STRING ; 1): C
 - `Nfluids` (no unit; INTEGER ; 1): 3
 - `Bbeta` (micro Gauss cm^(3/2); REAL ; 1): 1
 - `Vs` (km/s; REAL ; 1): 25
 - `Vdi` (km/s; REAL ; 1): 1e3
 - `OpH2` (None; REAL ; 1): 3
 - `Ti` (K; REAL ; 1): 10
 - `nHi` (cm⁽⁻³⁾; REAL ; 1): 1e4
 - `Tg` (K; REAL ; 1): 15A green highlighted area contains validation rules:
 - Shock type must be C, J or S
 - Number of fluid must be equal to 1, 2 or 3
 - vs must be strictly positive
 - vdi must be positive (not strictly)
 - OpH2 must be positive (not strictly)
 - Ti must be positive (not strictly)
 - nHi must be strictly positive
 - Tg must be positive (not strictly)
 - if shock type equal to C, than Nfluids must be 2 or 3
 - if shock type equal to C, than MaxTimeN-TimeJ>0At the bottom of this window is a `validate` button.

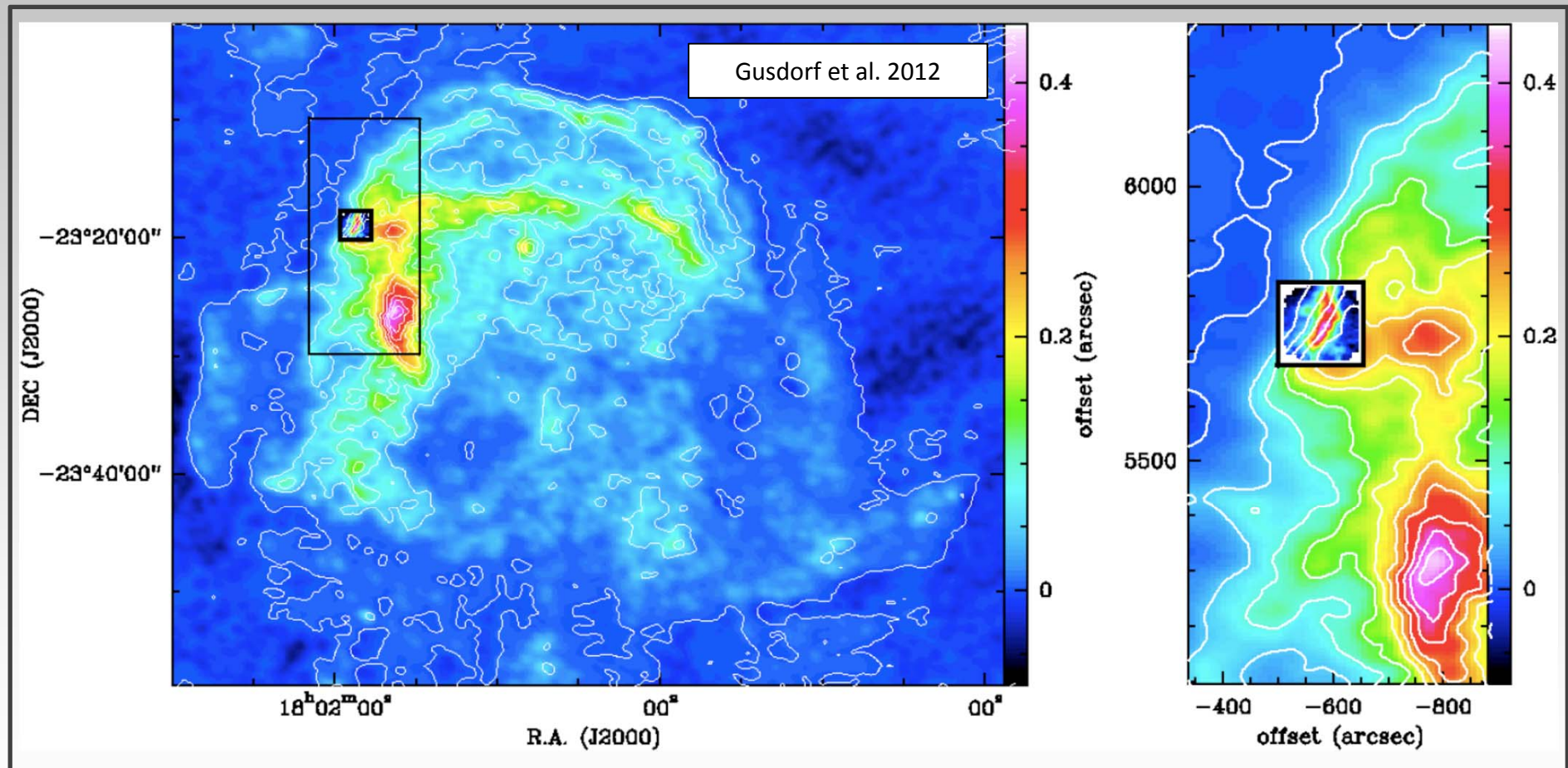
16 Grilles de modèles et ressources de calcul

- Reste à faire :
 - Mise en ligne de grille de modèles
 - Mise en ligne des ressources de calcul : serveurs de calcul
 - Mise en ligne des ressources de calcul : outils de visualisation
 - Mise en ligne des ressources de calcul : outils de fouille de grilles
 - Interopérabilité avec VAMDC, autres codes

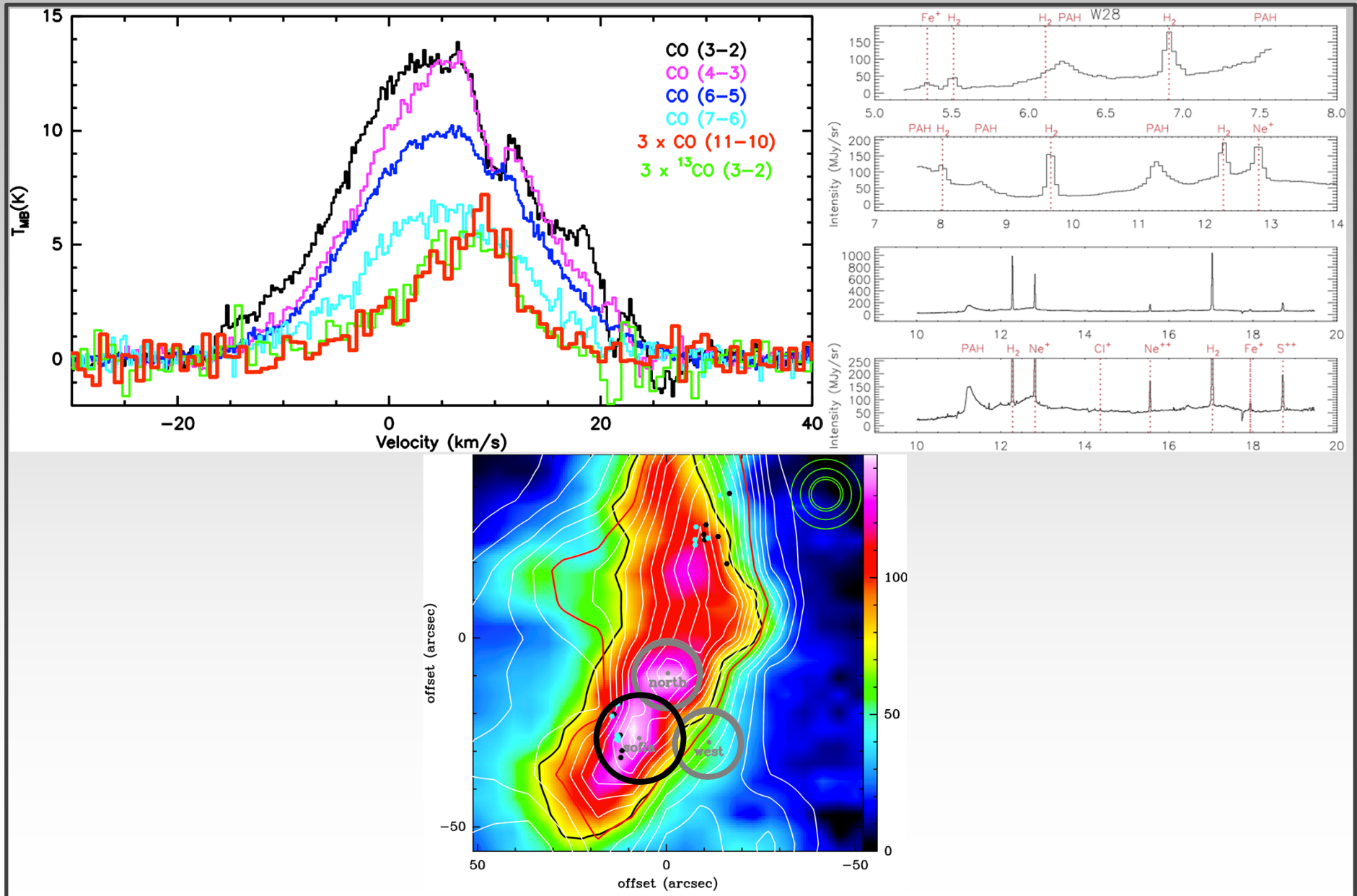
17 UN EXEMPLE D'APPLICATION : LE SNR W28

- Les observations
- Les résultats...
- ...et leurs applications

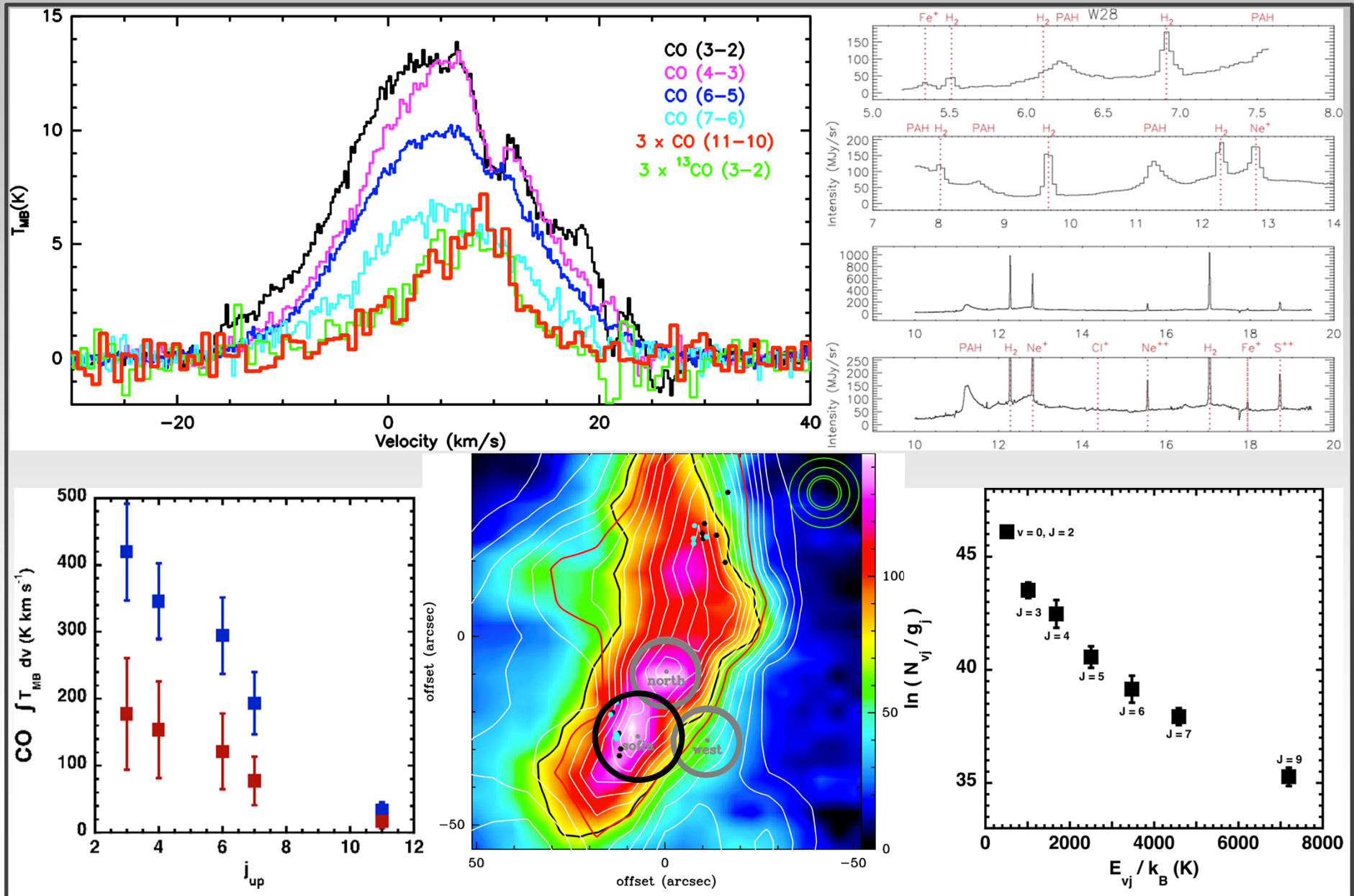
18 Les observations



19 Les observations



19 Les observations



20 Les résultats...

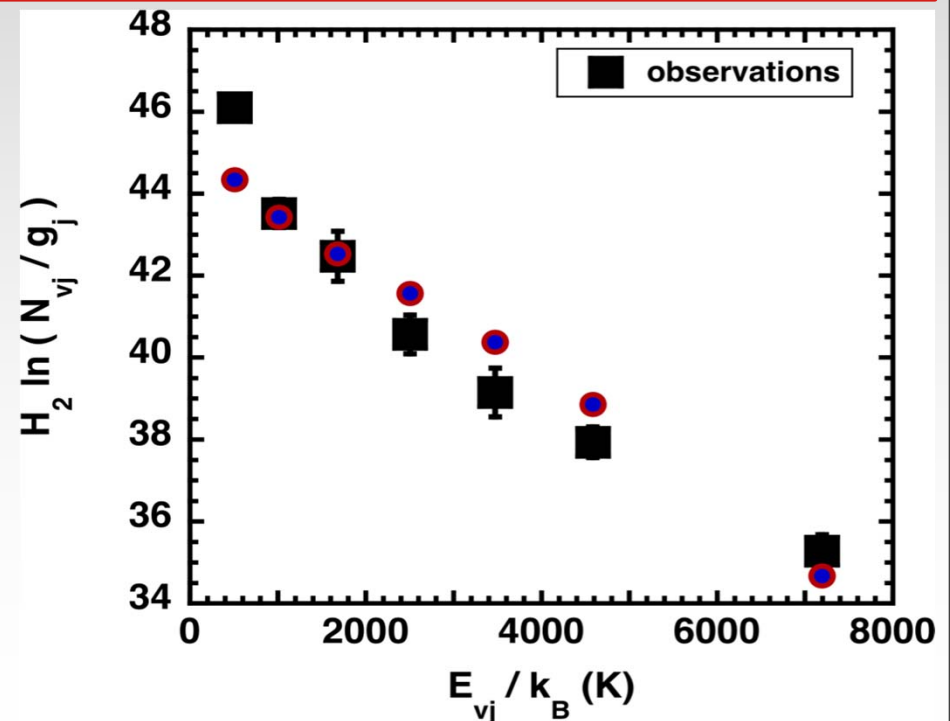
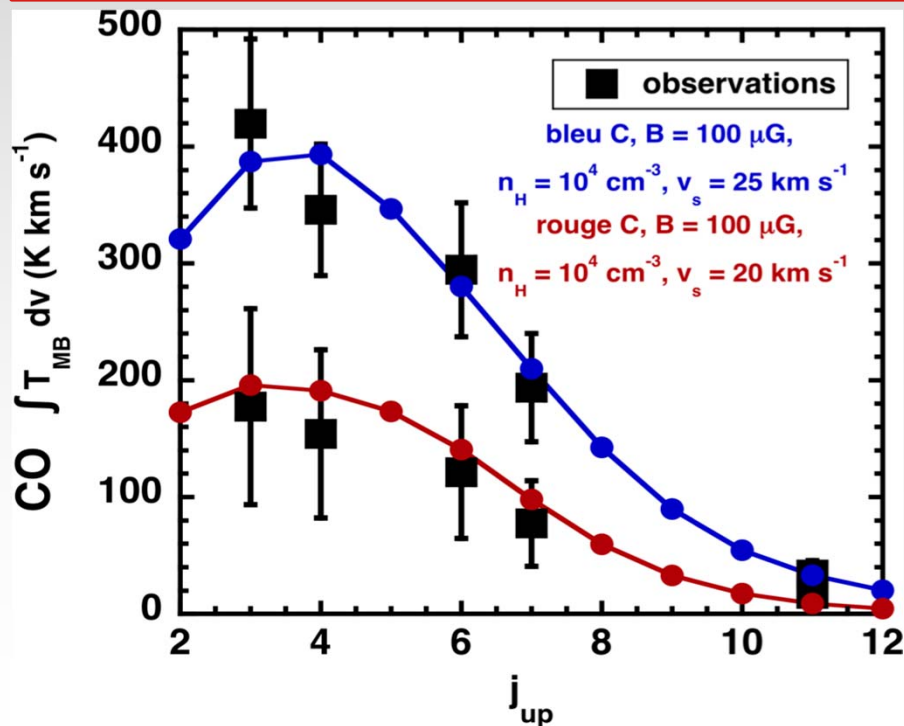
- Grille de modèles : 1500 modèles

$$n_H = 10^3 - 10^6 \text{ cm}^{-3}, v_s = 10 - v_{\text{crit}} \text{ km/s}, b = 0.3 - 2$$

- routines de lancement et de recherche (choc & LVG)
- routine de comparaison χ^2 modèles-observations CO & H₂

Filling factor assumption: emission region 25''

- 2 chocs C (bleu-rouge), $n_H = 10^4 \text{ cm}^{-3}$, $v_s = 20 - 25 \text{ km/s}$, $b = 0.45 - 1$

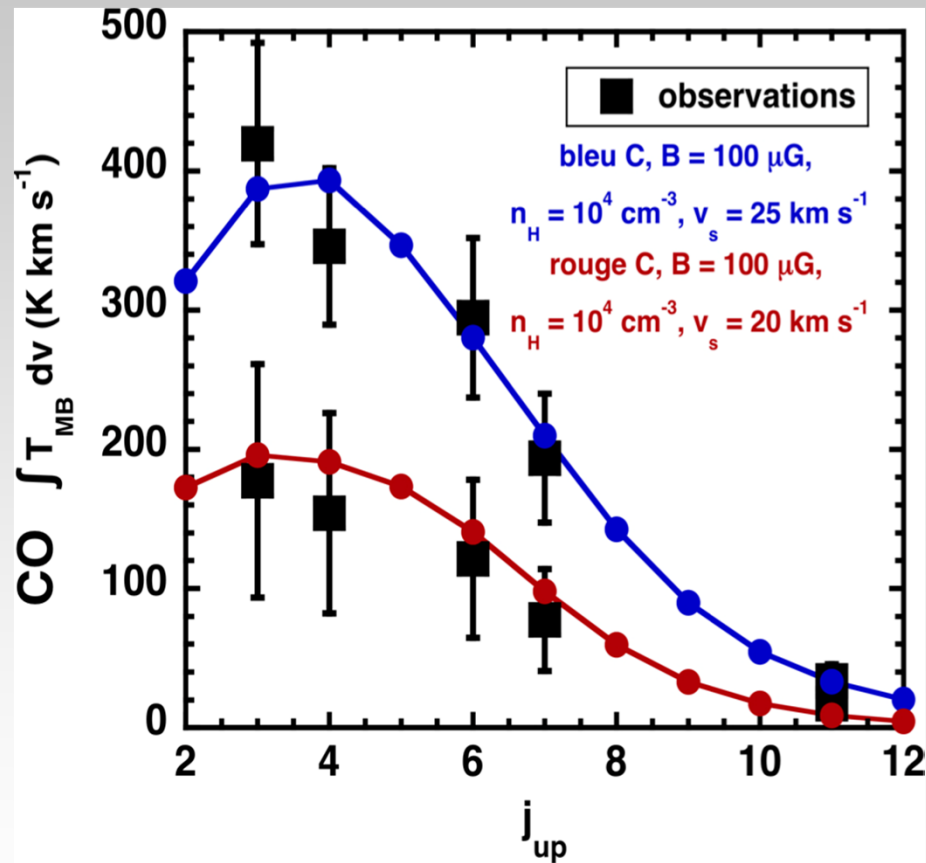


21 ...et leurs applications : paramètres énergétiques

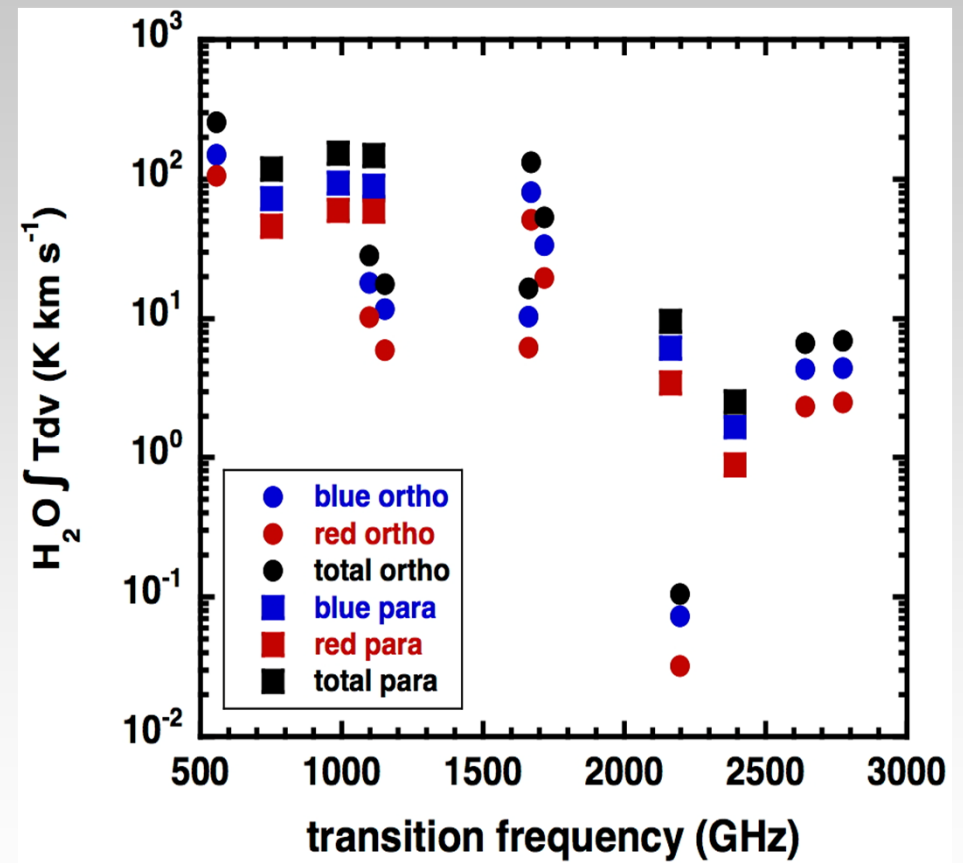
- 2 chocs C, $n_H = 10^4 \text{ cm}^{-3}$, $v_s = 20\text{-}25 \text{ km/s}$, $b = 0.45\text{-}1$, satisfont à :
 - âge typique 3.5×10^4 ans (Giuliani et al., 2010)
 - mesures de champ magnétiques (par effet Zeeman, Claussen et al., 1999, et maser OH, Hoffman et al. 2005)
 - densités post-choc et densités de colonne de OH prédites compatibles avec les conditions recensées par Lockett et al. 1999 pour exciter les masers à 1720 MHz
- 2 chocs C, $n_H = 10^4 \text{ cm}^{-3}$, $v_s = 20\text{-}25 \text{ km/s}$, $b = 1$ contraignent selon l'âge considéré (10 000 – 30 000 ans) :
 - la masse **choquée** dans le beam : $6.2 - 18.5 M_\odot$
 - le **moment** injecté dans le MIS : $0.9 - 2.7 \cdot 10^{33} \text{ g cm s}^{-1}$
 - l'**énergie** injectée via le choc : $2.1 - 5.8 \cdot 10^{38} \text{ erg}$

22 ...et leurs applications : chimie de l'eau

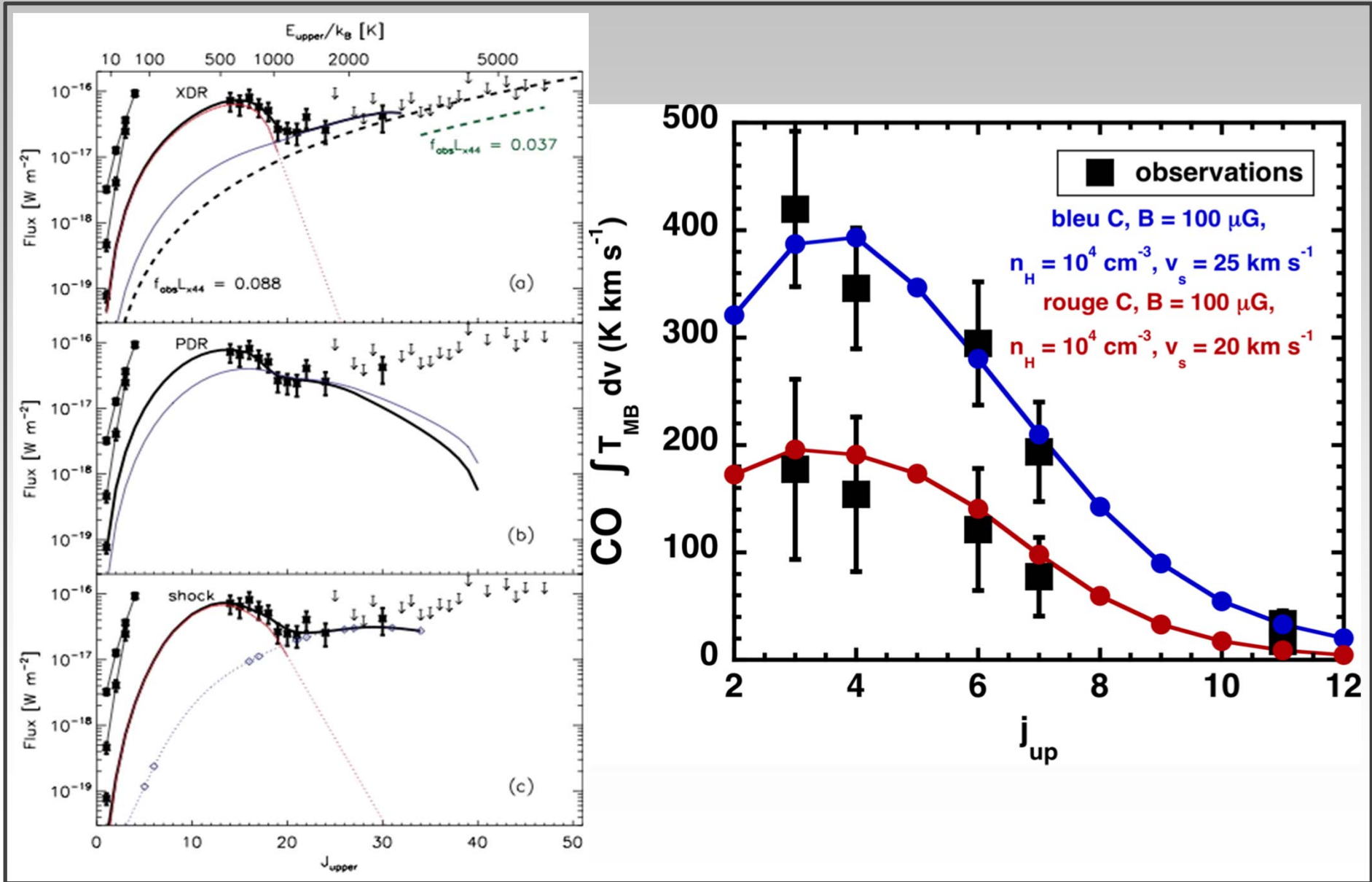
Des observations de CO...



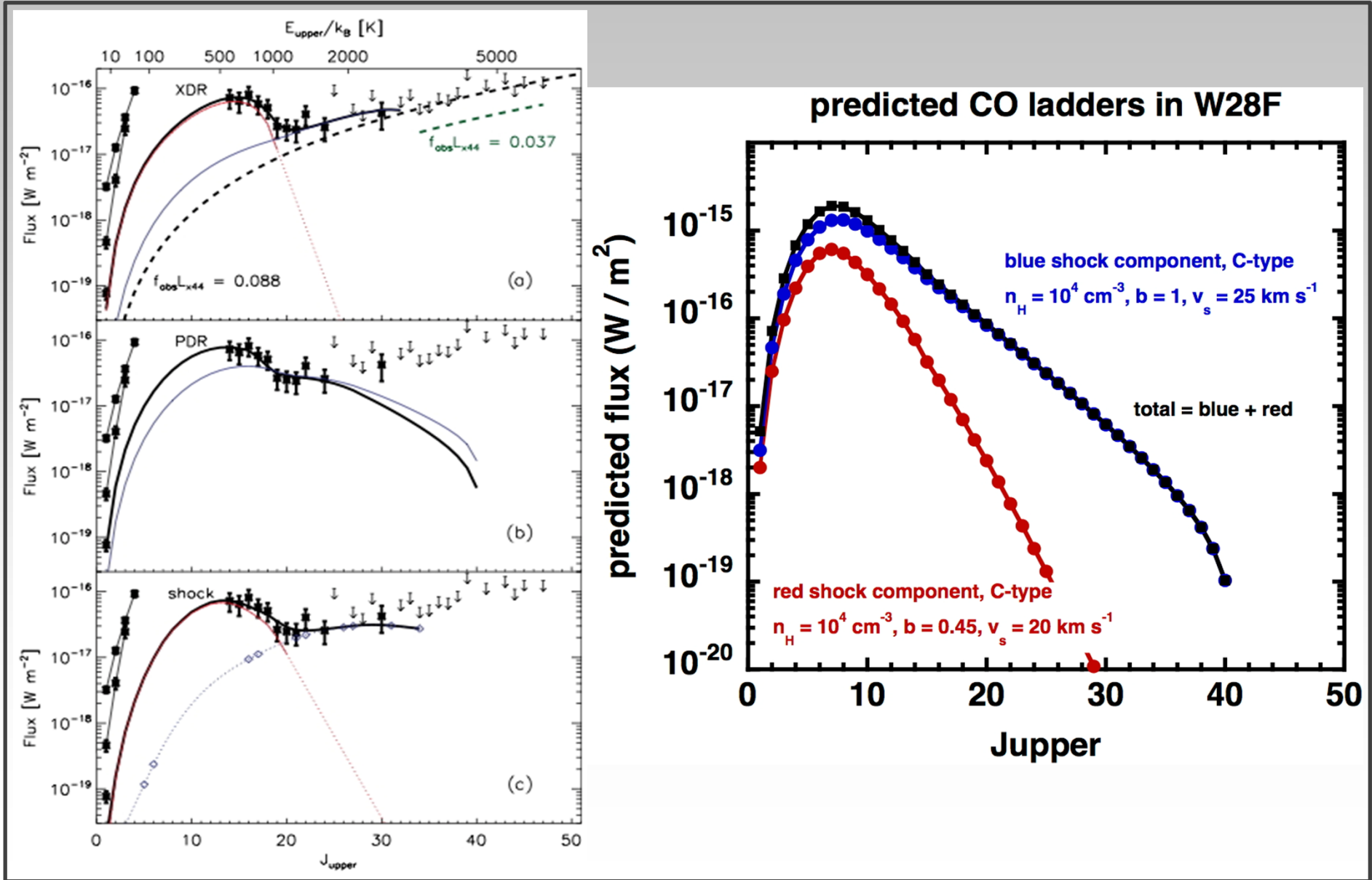
Aux prédictions pour H₂O



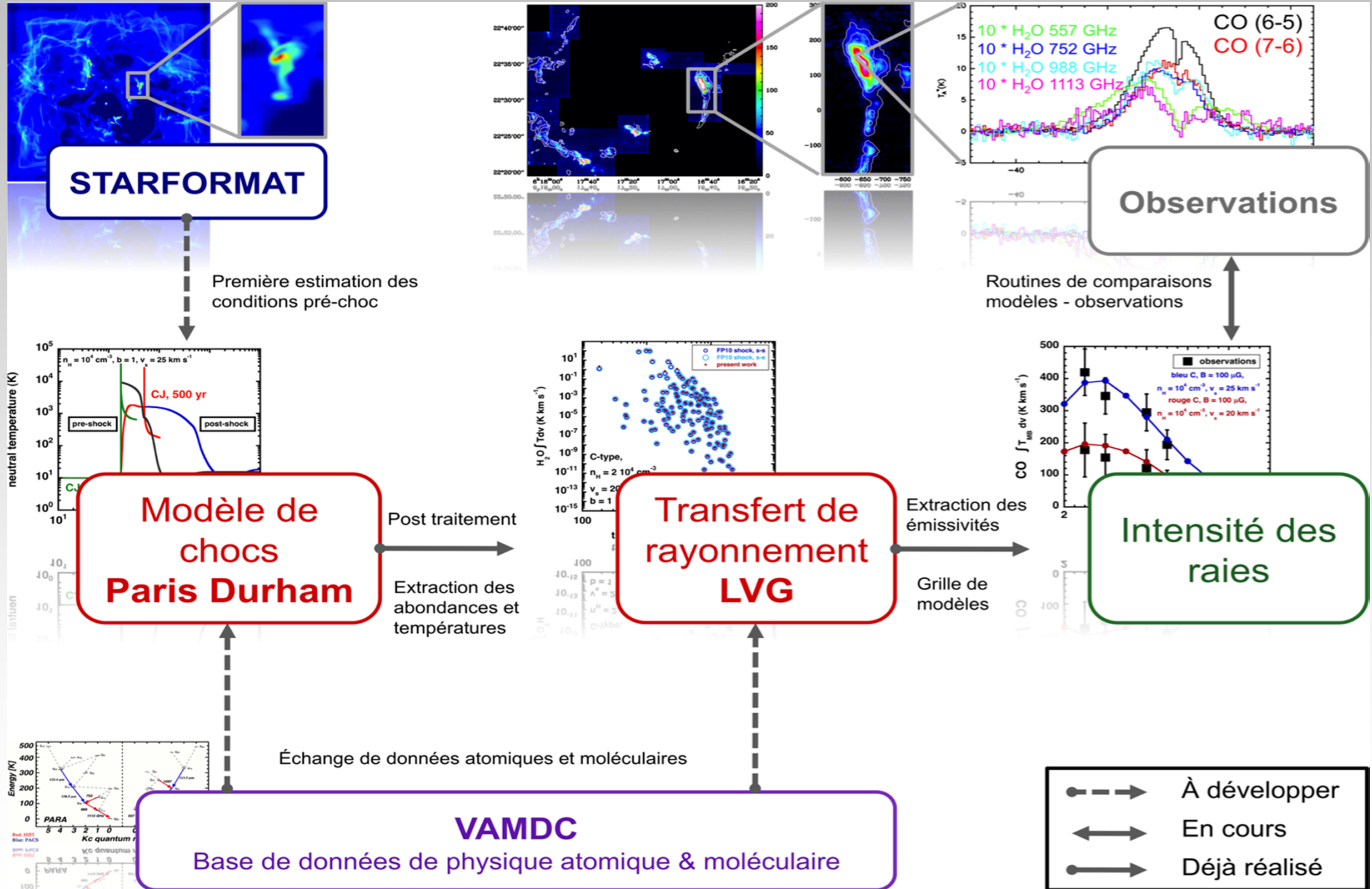
23 ...et leurs applications : contribution galactique



24 ...et leurs applications : contribution galactique



25 Perspectives



Merci de votre attention !