

Champs magnétiques dans les processus d'accrétion- éjection, interaction disque- étoile

Christophe SAUTY

Véronique Cayatte (Paris Observatory)

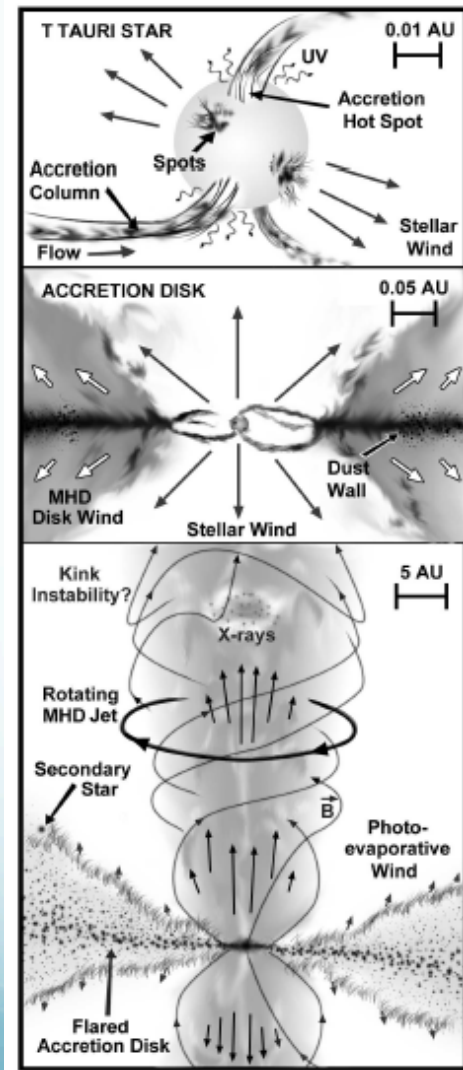
Titos Matsakos (University of Chicago)

Raquel Albuquerque, Joao Lima, Jorge Filipe Gameiro (University of Porto)

Kanaris Tsinganos (University of Athens)



Jets dans les Etoiles T Tauri Classiques CTTS



Frank et al., 2014

Astro Labo 2016 - Sauty et al.

Classical T Tauri Stars

- Etoiles jeunes de Classes II, Masse $\leq 2 M_{\odot}$
- Taux d'accrétion $\approx 10^{-8} M_{\odot}/\text{yr}$
- Taux de Perte de Masse $\leq 10^{-9} M_{\odot}/\text{yr}$
- Période de Rotation 5-10 jours

Vent de
Disque

ET

Jet Stellaire Collimaté
ou Vent Conique
(CTTs/FUOR?)

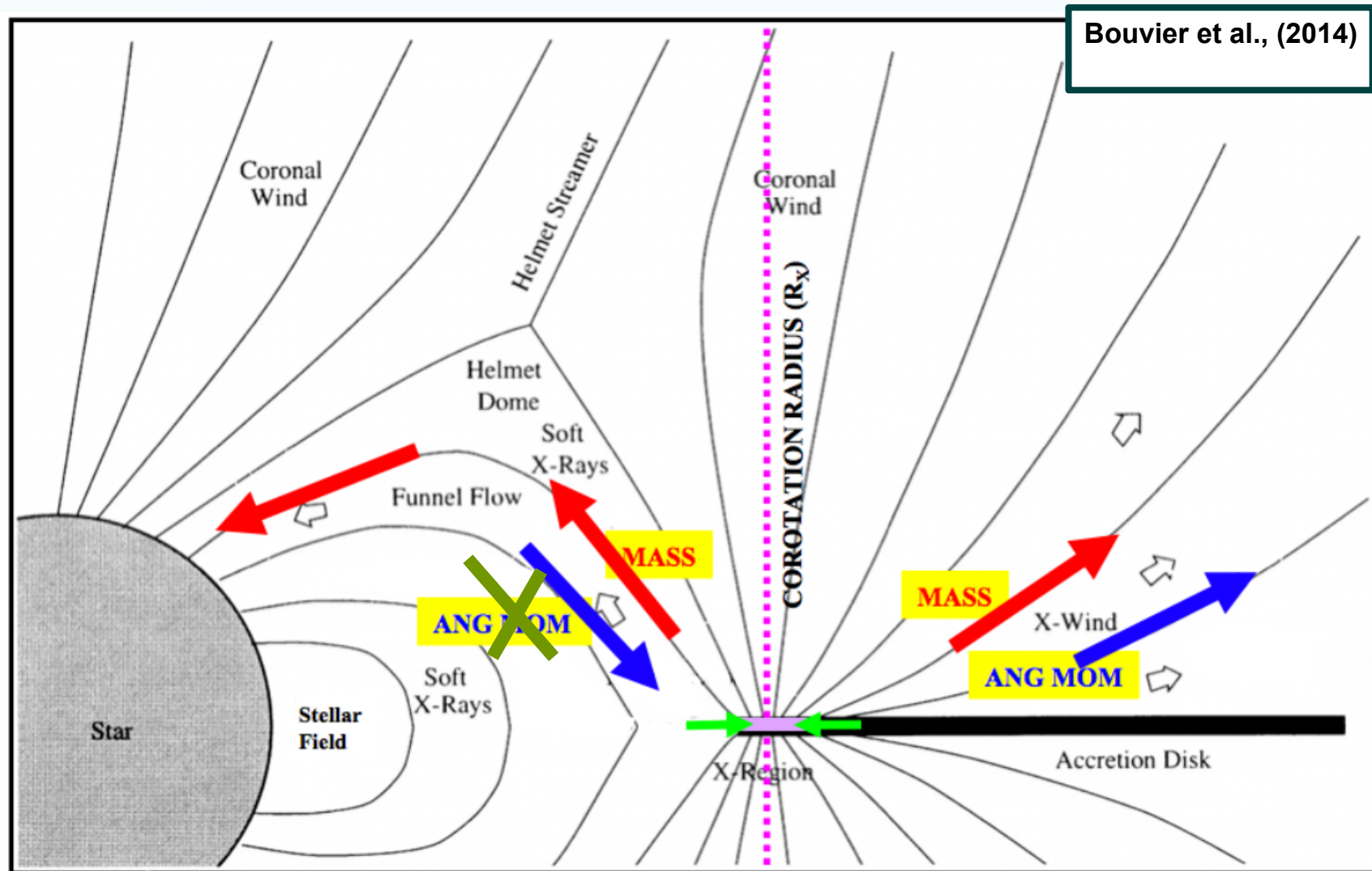
Solutions Auto-Similaires en latitude – Exemple de RY Tau

- Solution semi-analytique de jet MHD en rotation avec magnetosphère
- Masse Stellaire $\approx 1.5 M_{\odot}$
- Taux de Perte de Masse $3.5 \cdot 10^{-9} M_{\odot}/\text{yr}$
- Vitesse terminale du jet $\approx 390 \text{ km/s}$
- Période environ 12 jours
- B 600 Gauss

Sauty & Tsinganos, 1994, AA, 287, 893 ; Sauty et al., 2011, AA, 533, 46

Jets dans les Etoiles T Tauri Classiques CTTS

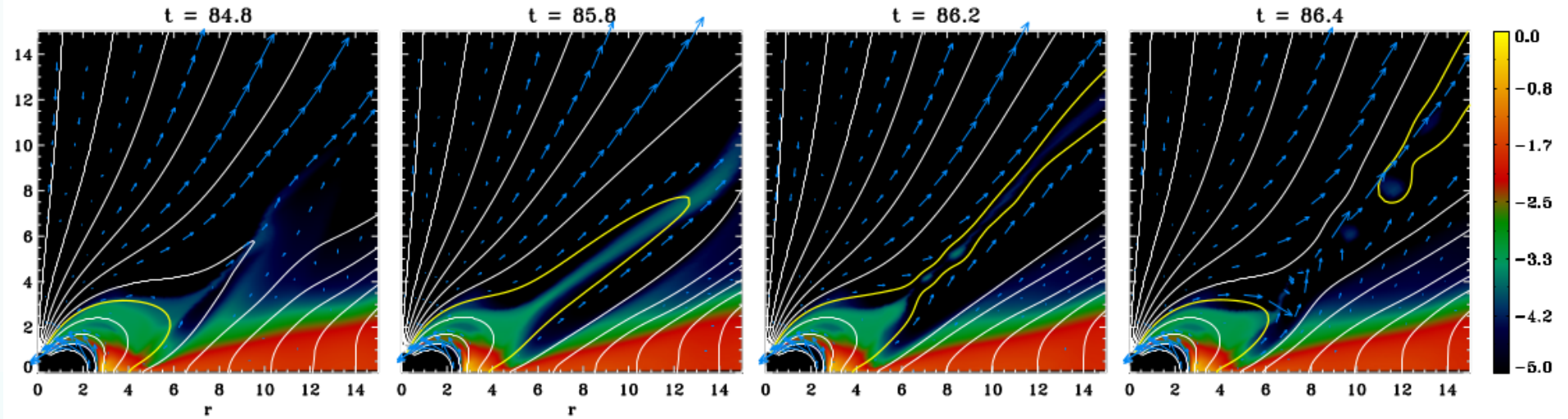
Modèle de X-Wind (Shu et al., 1994)



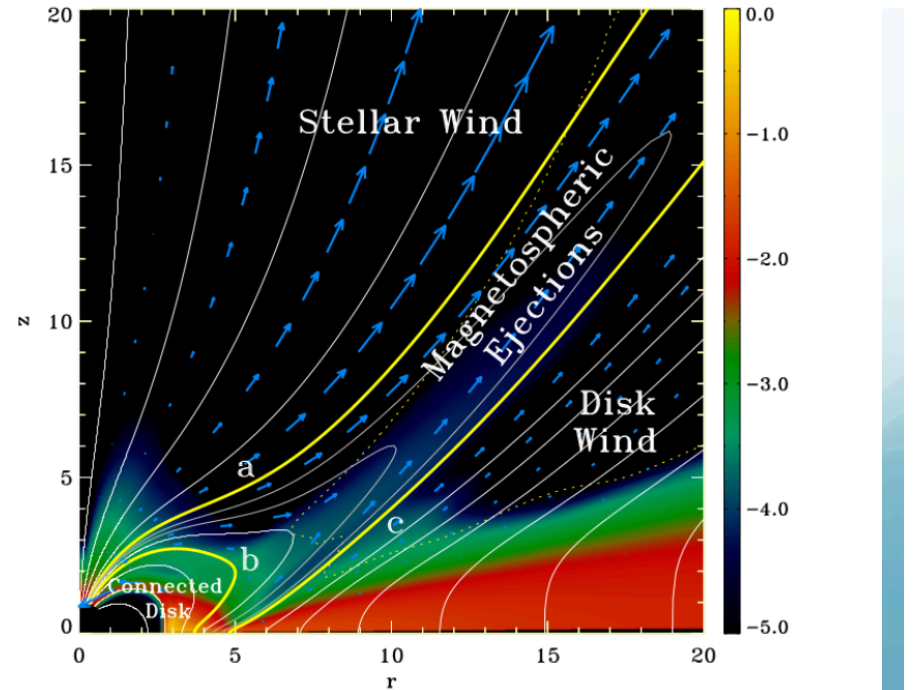
Bouvier et al., (2014)

Extra slides

Ejections Magnétosphériques similaires aux Ejections de Masse Coronale (CMEs)



Zanni and Ferreira (2013)



Ejections Magnétosphériques similaires aux Ejections de Masse Coronale (CMEs)

Dyda et al. (2015)

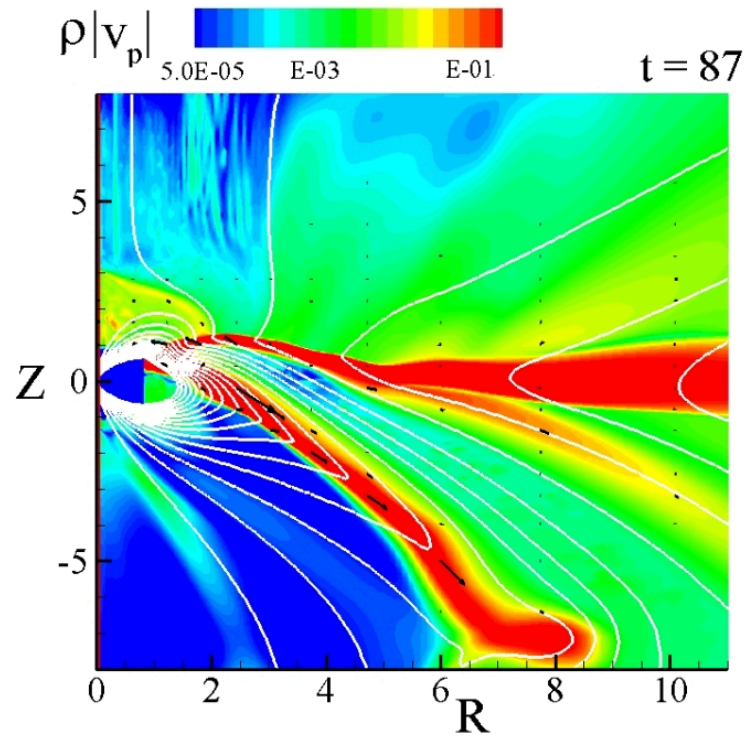


Figure 13. *Stellar Dipole plus Parallel Disc Field:* Poloidal mass flux $\rho|v|$ (color), magnetic field lines (white lines) and coronal poloidal mass flux vectors ρv_p at $t = 87$ for the case of a stellar dipole and a parallel disc field. Note the presence of a magnetospheric and disc wind, though the latter is considerably weaker.

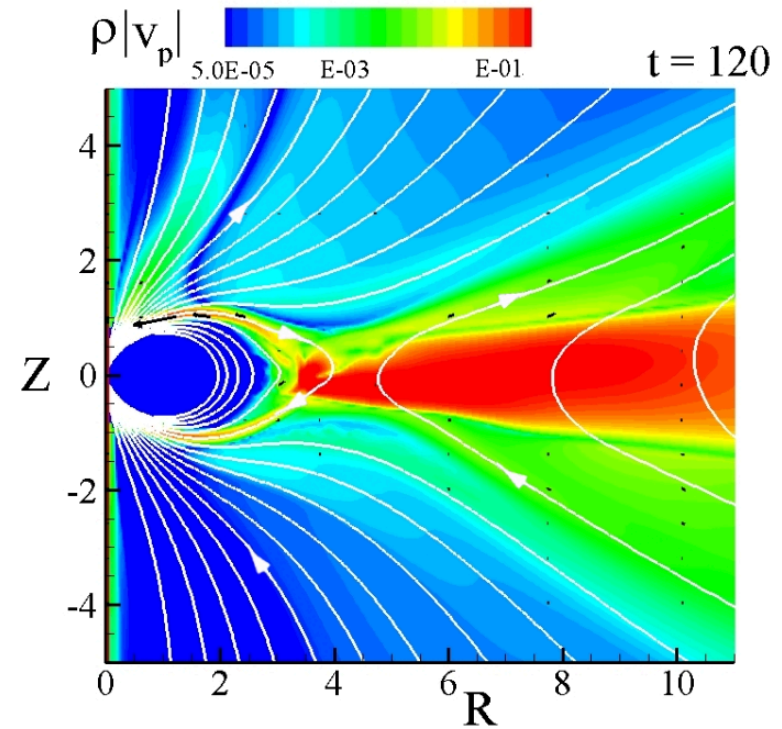
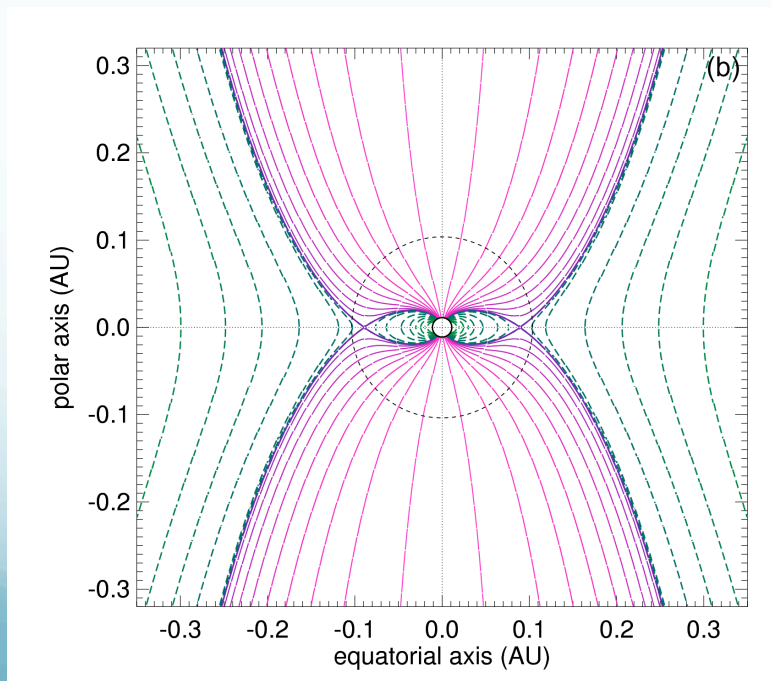
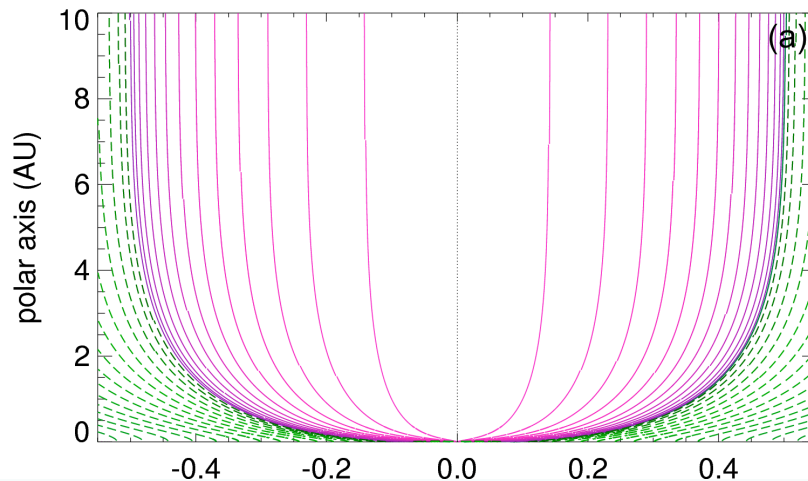


Figure 16. *Stellar Dipole plus Anti-Parallel Disc Field ADIP:* Poloidal mass flux $\rho|v|$ (color), magnetic field lines (white lines) and coronal poloidal mass flux vectors ρv_p at $t = 120$ for the case of a stellar dipole and an anti-parallel disc field. We note the weakness of the disc wind despite the funnel flow accretion onto the star.

Conditions Initiales et Limites



Conditions Initiales

Utilisation de la solution analytique

pour

RY Tau

Sauty et al. 2011

Conditions Limites

ZONE MORTE (statique)

1) Vitesse poloidale nulle, rotation solide
(surface de l'étoile et plan
équatoriale)

OU

2) modèle de Low & Tsinganos 1989 avec
surdensité ρ et continuité de B

MAGNETOSPHERE ACCRETANTE

Inversion du sens de la vitesse dans la
zone d'accrétion

& Adaptation du chauffage

& Augmentation du flux de masse
(facteur multiplicatif de ρ et V_p)

Simulations MHD 2.5D avec PLUTO

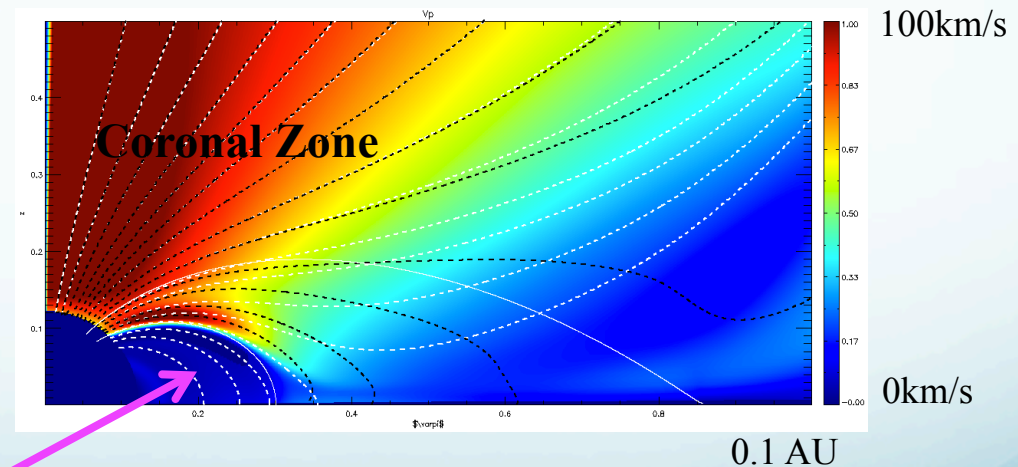
$$q_{AN}(r, \theta) = \left[\rho \mathbf{V} \cdot \left[\frac{\Gamma}{\Gamma - 1} \nabla \left(\frac{P}{\rho} \right) - \frac{\nabla P}{\rho} \right] \right]_{AN}$$

Taux de chauffage volumétrique initial

$$q(r, \theta) = \frac{\mathbf{V}_P \cdot \mathbf{V}_{AN}}{\mathbf{V}_{AN} \cdot \mathbf{V}_{AN}} q_{AN}(r, \theta)$$

Taux de chauffage évolutif

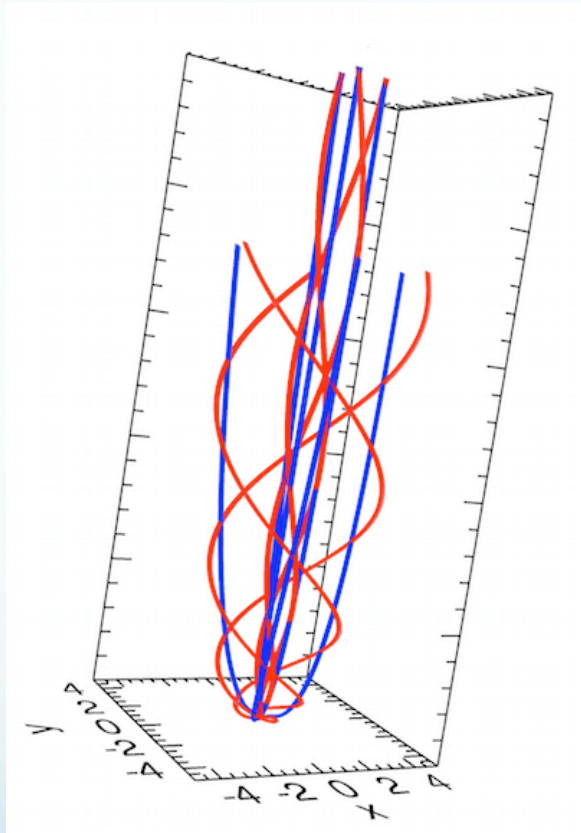
Jet Stellaire et Zone Morte Statique



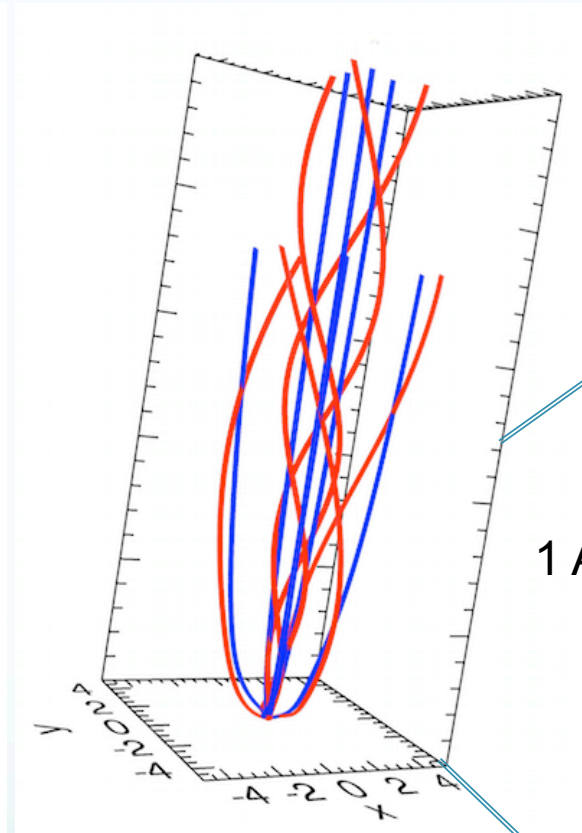
« Dead Zone »
en rotation avec
l'étoile

V_p Isocontours et Lignes d'Ecoulement en noir
 B_p Lignes de Champ Magnétique en blanc

Jet Stellaire



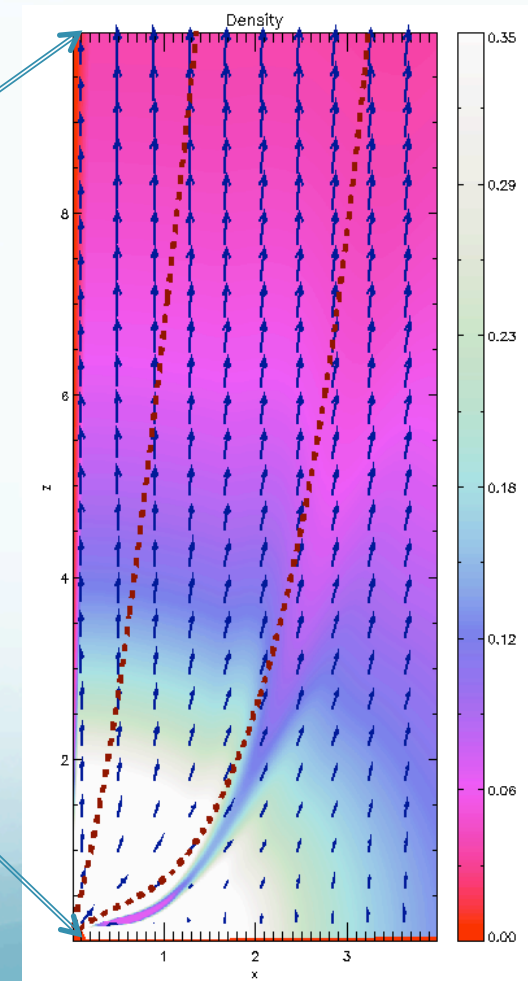
Conditions Initiales



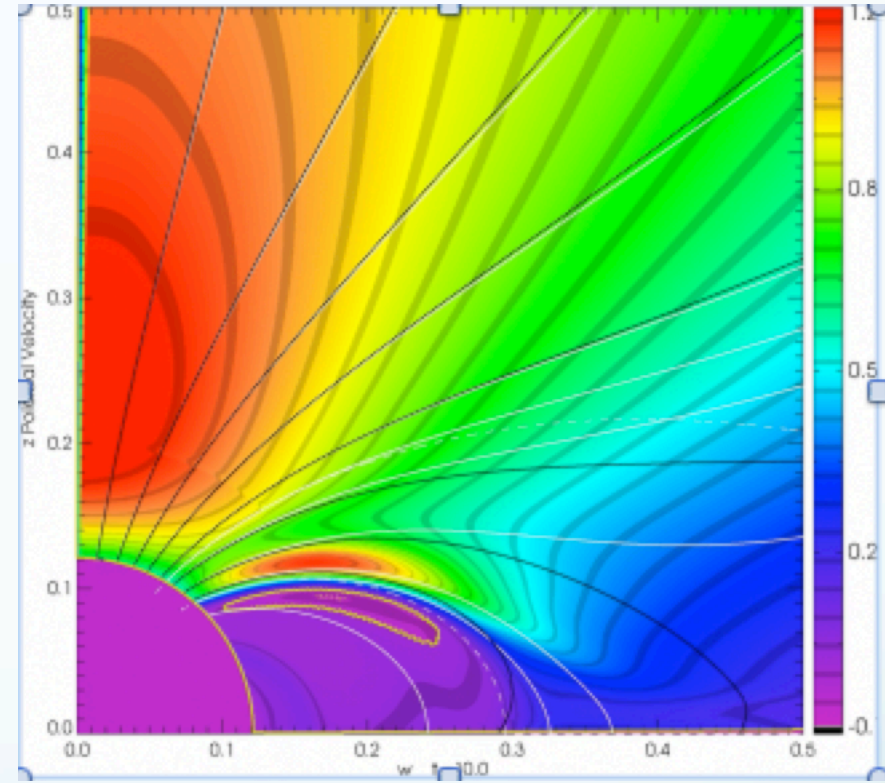
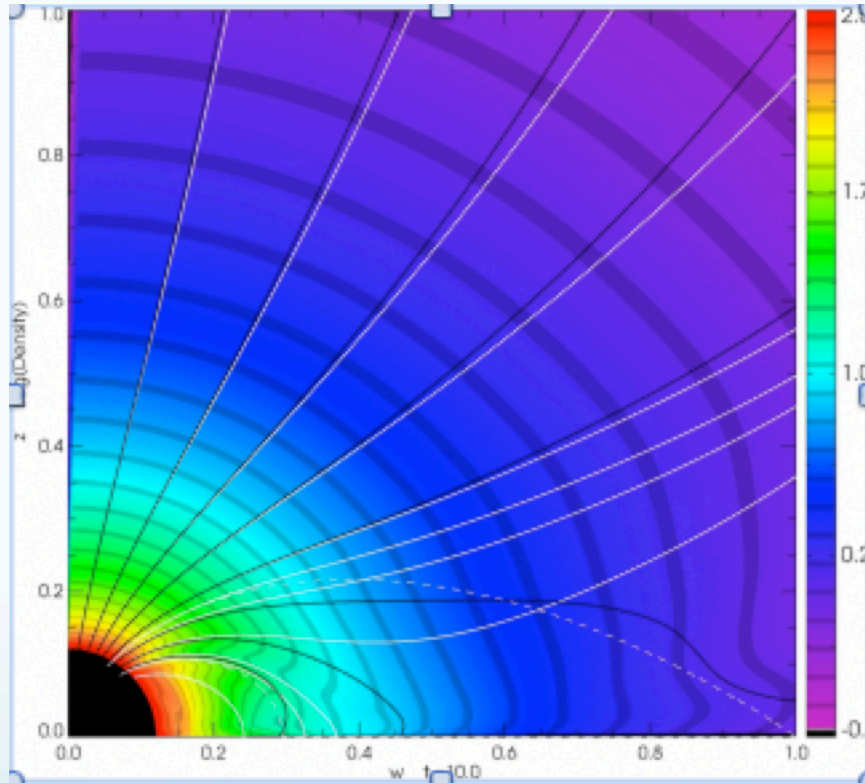
Après 5 Rotations Stellaires

Champ Magnétique déroulé (decoiling)

Isocontours de $\text{Log}(\rho)$
Lignes de Champ Magnétique B_p



Simulations MHD avec Zone Morte et Jet (sans accrétion)



Jet Stellaire et Zone Morte Statique

Stationnarité

Rétrécissement de la zone morte

A GAUCHE : isocontours de densité

A DROITE : isocontours de vitesse

lignes bleue : écoulement,

lignes blanches : champ B

Simulations avec "colonnes" d'Accrétion et Jet Stellaire

Rapport du taux de perte de masse sur le taux d'accrétion

Simulation	Multiplying factors		$\frac{\dot{M}_{ejec}}{\dot{M}_{acc}}$
	V_r	ρ	
Test010	1.0	1	0.79
Test011	1.5	1	0.46
Test012	1.5	5	0.15
Test013	2.0	10	0.04

R.
Albuquerque
Univ. Porto

Master

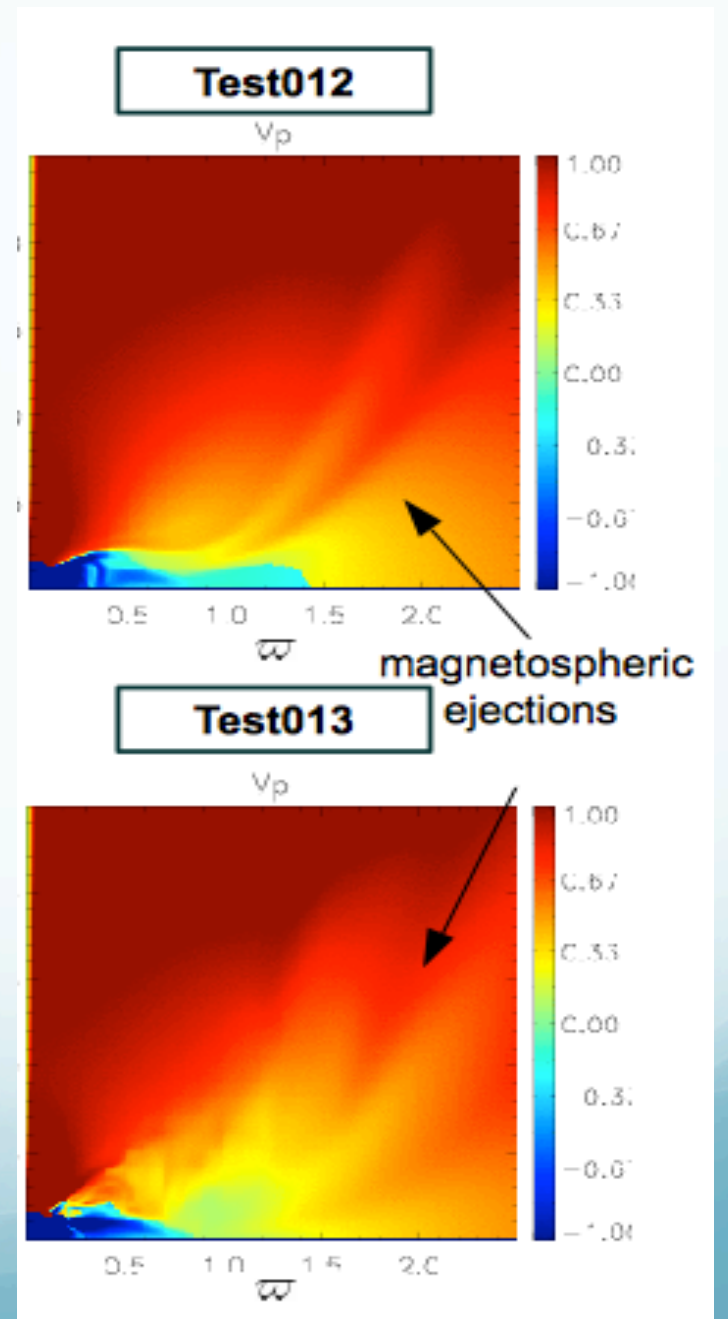
Accrétion : H α Profil P Cygni

-> Taux d'accrétion de Masse

-> Vitesse Max d'accrétion

Jet : Raies Interdites (SII, OI, ...)

-> Vitesse du jet



Simulations avec "colonnes" d'Accrétion et Jet Stellaire

Simulation	Multiplying factors		$\frac{\dot{M}_{eject}}{\dot{M}_{acc}}$
	V_r	ρ	
Test010	1.0	1	0.79
Test011	1.5	1	0.46
Test012	1.5	5	0.15
Test013	2.0	10	0.04

Rapport du taux de perte de masse sur le taux d'accrétion

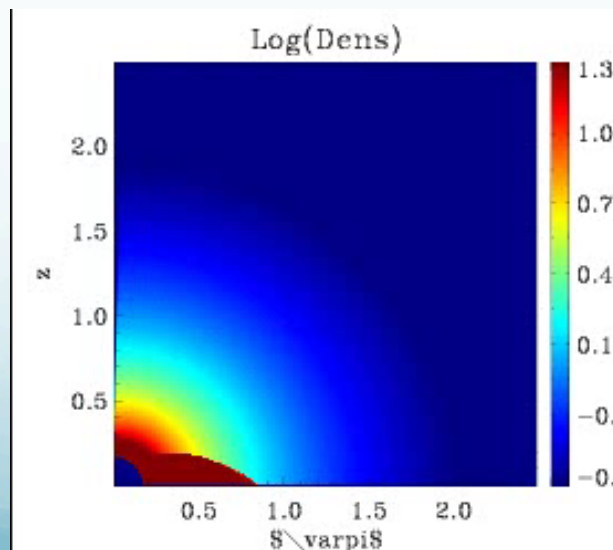
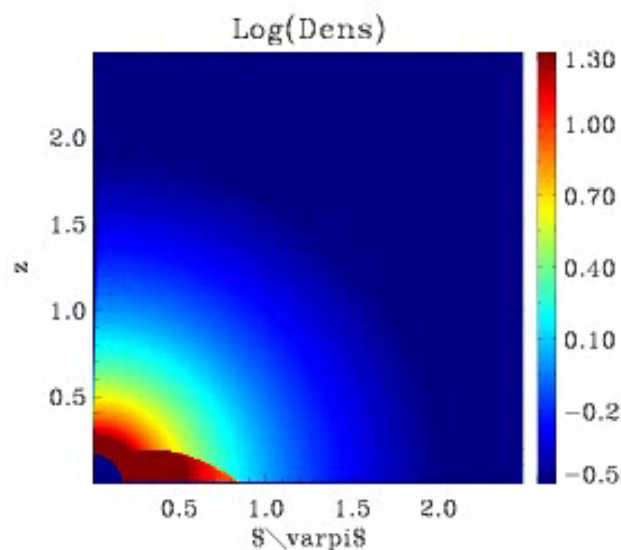
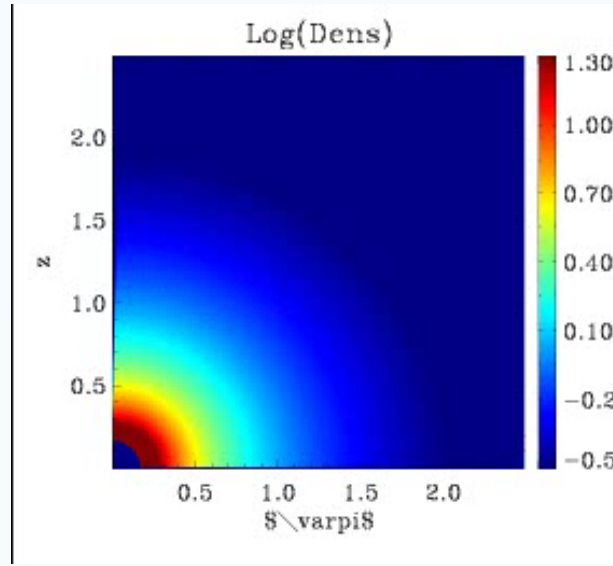
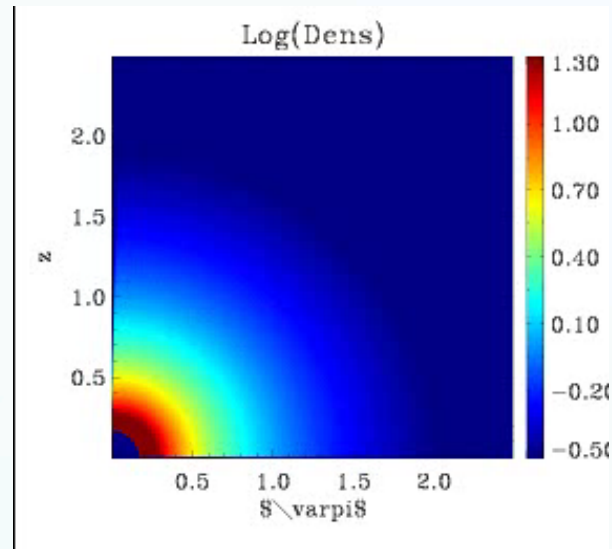
0 days

Dans la zone d'accrétion

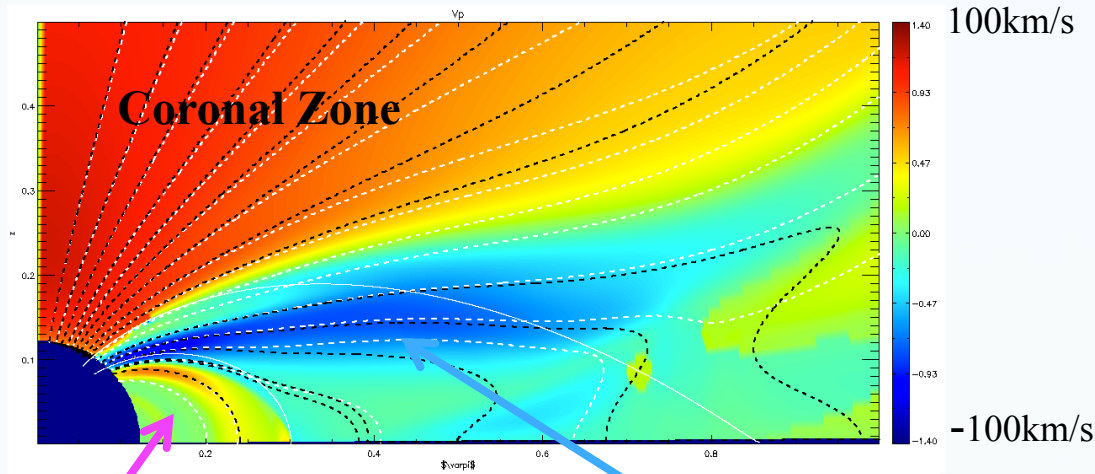
Pour un ρ

->

un intervalle de V_p STABLES



Simulations avec colonnes d'accrétion, jet et zone morte

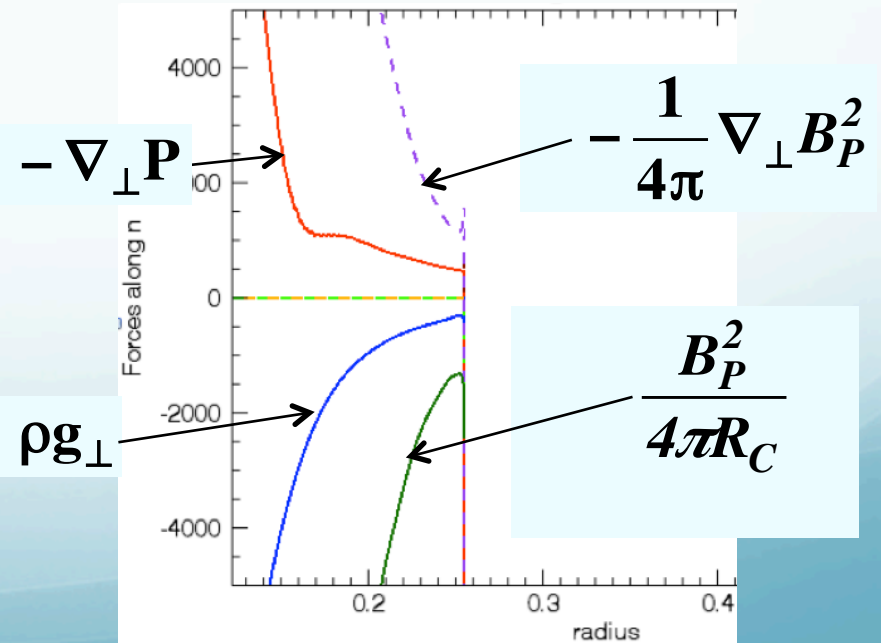


« Zone Morte »

Colonne d'Accretion

Dans la « Zone Morte Statique »
 "Force Free"
 Forces \perp Lignes de B

Zone Morte Statique et "Force-Free"



**En variant le Taux d'accrétion (= 2,25x 15x & 27 x Taux de Perte de Masse)
 $M_{\text{jet}}/M_{\text{accr}} = 0.44, 0.066, 0.037$**

propriétés dépendent du taux d'accrétion et de la force du vent stellaire

Isocontours de $\text{Log}(\rho)$

Traits Pleins : Lignes de B_p

Flèches : Vitesse

a) Faible Accrétion →

$\rho_{\text{acc}} = 1.5 \rho_{\text{jet}}$

$V_{\text{acc}} = -1.5 V_{\text{jet}}$

Pas de CMEs/Xwind

b) Accrétion Moyenne →

$\rho_{\text{acc}} = 10 \rho_{\text{jet}}$

$V_{\text{acc}} = -1.5 V_{\text{jet}}$

Pas de CMEs/Xwind

c) Forte Accrétion →

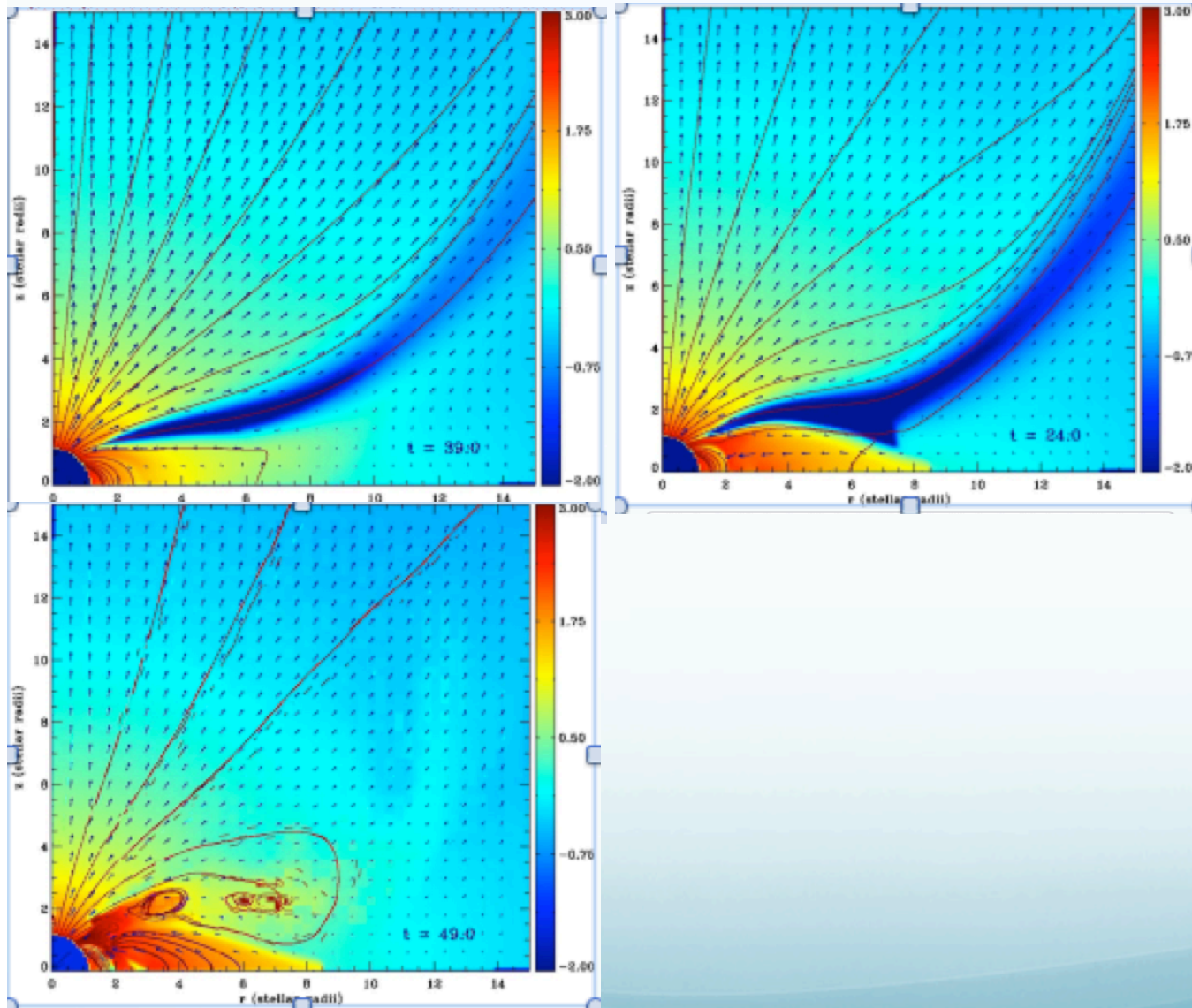
$\rho_{\text{acc}} = 15 \rho_{\text{jet}}$

$V_{\text{acc}} = -1.8 V_{\text{jet}}$

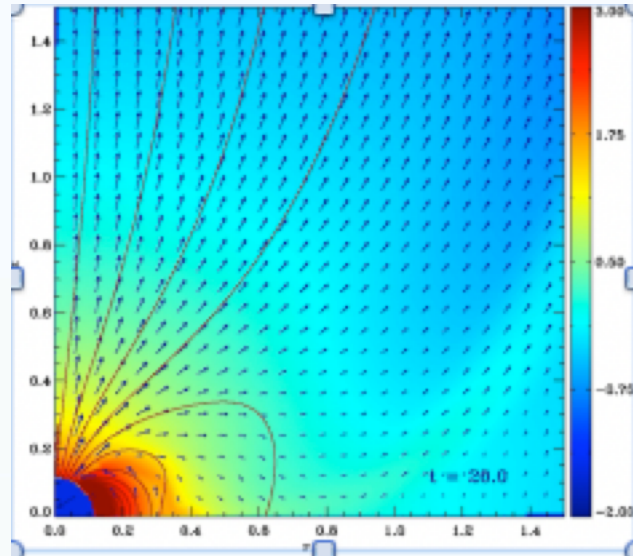
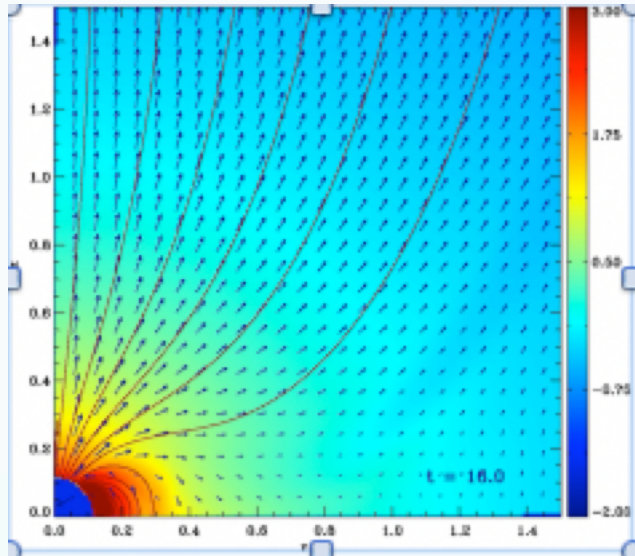
Fort CMEs/X-wind

→ allée de vortex

→ zone morte pulsante



Construire la zone morte autrement



Isocontours de $\text{Log}(\rho)$

Traits Pleins : Lignes de B_p

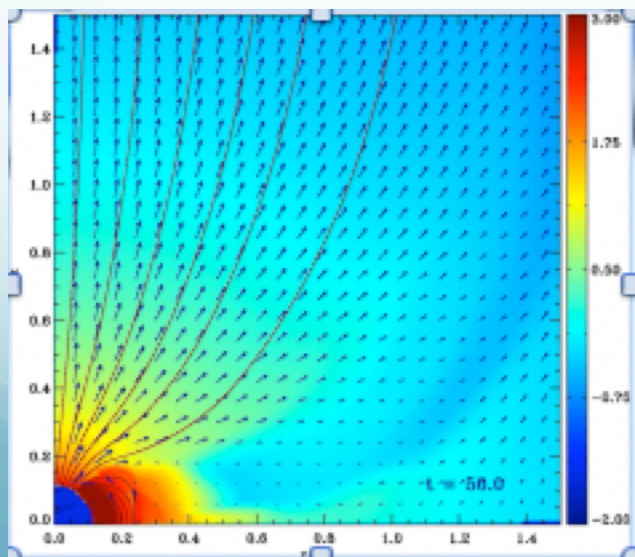
Flèches : Vitesse V_p

Pas d'accrétion

a) dead zone petite

b) dead zone intermédiaire

c) dead zone grande



Conclusions

Solutions Auto-Similaires Analytiques comme conditions initiales pour les Simulations avec PLUTO

⇒ **Modèles cohérents de la zone de lancement du jet avec une magnétosphère statique ou et "zone morte".**

Inclusion des colonnes d'accrétion dans la magnétosphère autour de la "zone morte"

⇒ **Accrétion et Ejection stationnaire après quelques dizaine de rotation stellaires**

⇒ **Ejection Magnétosphérique ou Vent-X stationnaire ou sporadique suivant le taux d'accrétion ou la taille de la zone morte**

⇒

Variation de la vitesse et de la densité d'accrétion

⇒ **Taux d'accrétion/éjection en accord avec observations**

⇒ **Il y a une transition magnétosphère stationnaire / éjection épisodique**

Variation de la taille de la zone morte

⇒ **Il y a une limite de taille pour la stationnarité**