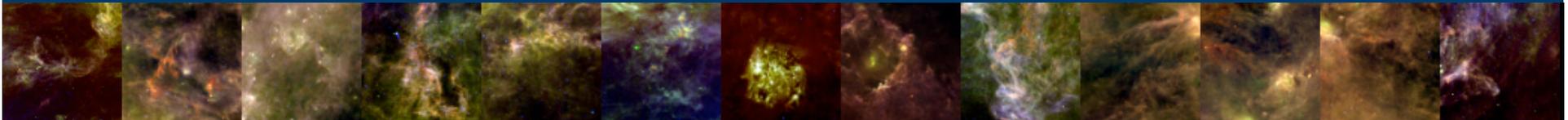


# Nouvelle perspective sur les nuages à haute vitesse



**Marc-Antoine Miville-Deschênes**

Institut d'Astrophysique Spatiale, Orsay, France

## En collaboration avec

François Boulanger (IAS, Orsay)

Peter G. Martin (CITA, Toronto)

Jay Lockman (NRAO, Green Bank)

William T. Reach (IPAC, Pasadena)

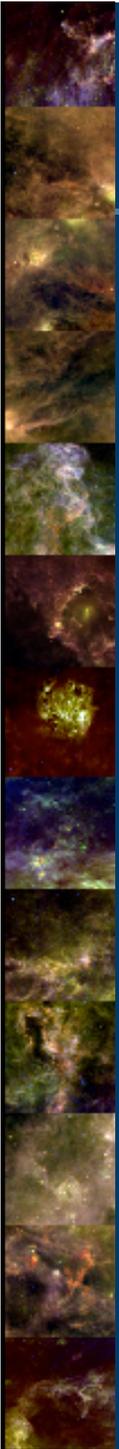
Alberto Noriega-Crespo (IPAC, Pasadena)



Du moins une nouvelle perspective sur l'étude du ciel à haute latitude galactique...

# Plan

- Les nuages à haute vitesse : introduction
  - Historique
  - Observations
  - Modèles
- Détection de l'émission de la poussière d'un nuage à haute vitesse
  - Comment, les implications
- Projets en cours
  - Interaction des HVCs avec le gaz du disque
  - Utilisation de la poussière comme traceur des conditions physiques
- Conclusion et perspectives (... pour Planck)



# Découverte des High-Velocity Clouds

- Observations de quelques raies d'absorption à des vitesses interdites dans les années 40-50 (Munch 1952, Munch & Zirin 1961)
- Ces résultats inspireront la notion de Couronne Galactique à L. Spitzer (1956)
- Première détection des HVCs en émission à 21cm (Leiden) : Muller et al. 1963

Dwingeloo (<sup>1</sup>), Pays-Bas, nous avons observé des profils de la raie 21 cm s'étendant de  $-175$  km/s jusqu'à  $+175$  km/s de vitesse radiale. Ces profils ont été relevés tous les 5 degrés en longitude et aux latitudes de  $-40$  et  $+40^\circ$ . La bande passante utilisée est de 20 kc/s (4,2 km/s).

En quatre endroits, des nuages d'hydrogène neutre ayant des vitesses supérieures à 100 km/s ont été détectés. On trouvera dans le tableau ci-dessous les coordonnées, la vitesse radiale moyenne, la demi-largeur et la température de brillance des maximums observés. Chaque maximum a été déterminé par deux mesures indépendantes. La vitesse radiale est mesurée par rapport au système local de référence, qui est défini par le mouvement moyen du gaz interstellaire dans le voisinage du Soleil. L'unité de température de brillance est approximativement  $1^\circ\text{K}$ . La dernière colonne du tableau donne le nombre d'atomes d'hydrogène présents dans une colonne de  $1\text{ cm}^2$  de section.

| $l^{\text{II}}$<br>(degrés). | $b^{\text{II}}$<br>(degrés). | $l^{\text{I}}$<br>(degrés). | $b^{\text{I}}$<br>(degrés). | $v_r$<br>(km/s). | $W$<br>(km/s). | $T_b$<br>(unités). | $N$<br>( $\text{cm}^{-2}$ ). |
|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------|----------------|--------------------|------------------------------|
| 83,42                        | +40,68                       | 50                          | +40                         | -116             | 27             | 1                  | $5 \cdot 10^{18}$            |
| 88,47                        | +40,56                       | 55                          | +40                         | -116             | 23             | 1                  | 4 »                          |
| 153,20                       | +38,99                       | 120                         | +40                         | -174             | 25             | 4                  | 20 »                         |
| 167,95                       | +38,74                       | 135                         | +40                         | -152             | 25             | 1,5                | 7 »                          |

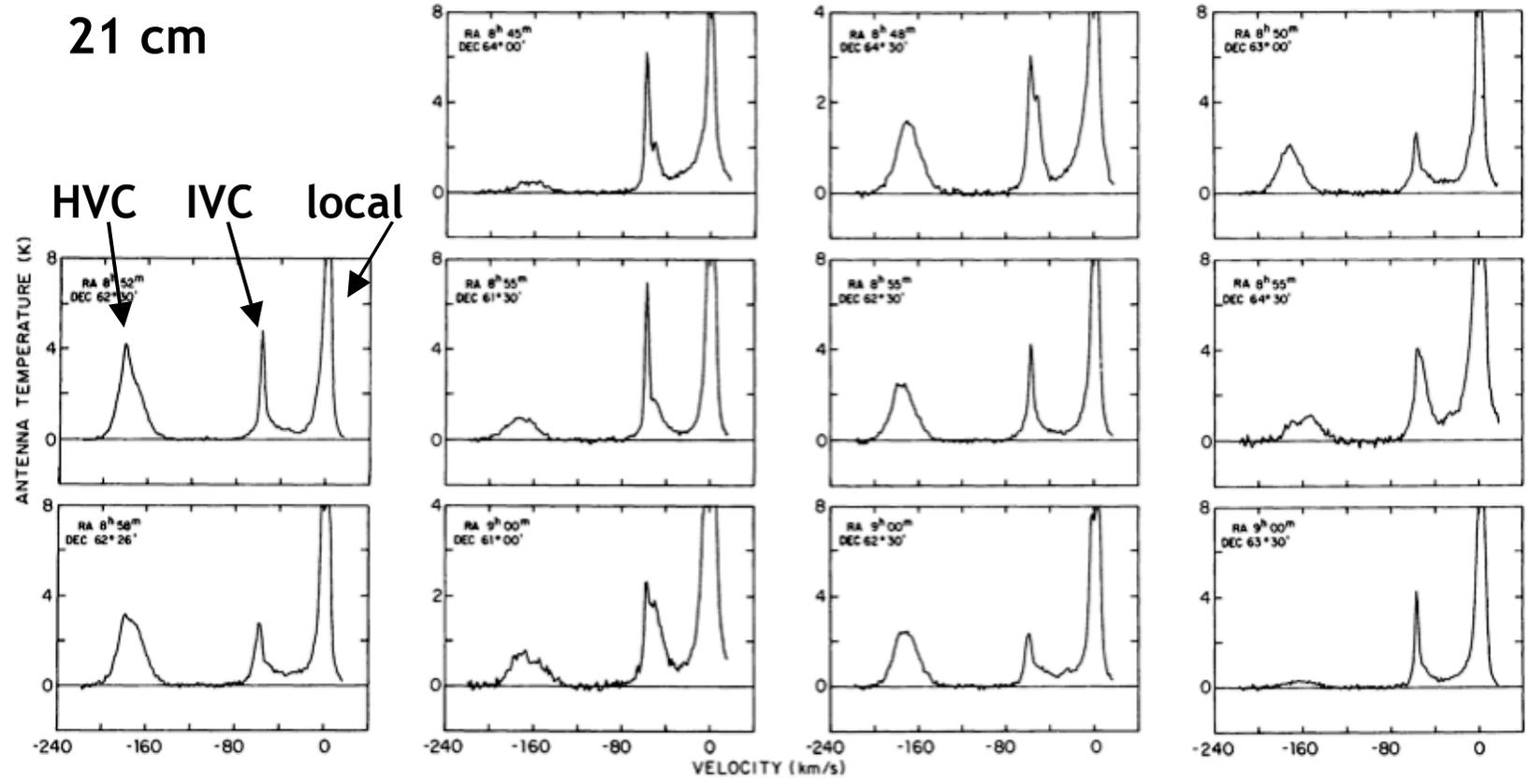


Figure 4b Spectra at selected points in A IV taken with the 140 foot telescope; the velocity resolution is  $1.7 \text{ km s}^{-1}$ . These show the range of velocity profiles found in the HVC and IVC emission.

Davies et al. 1976

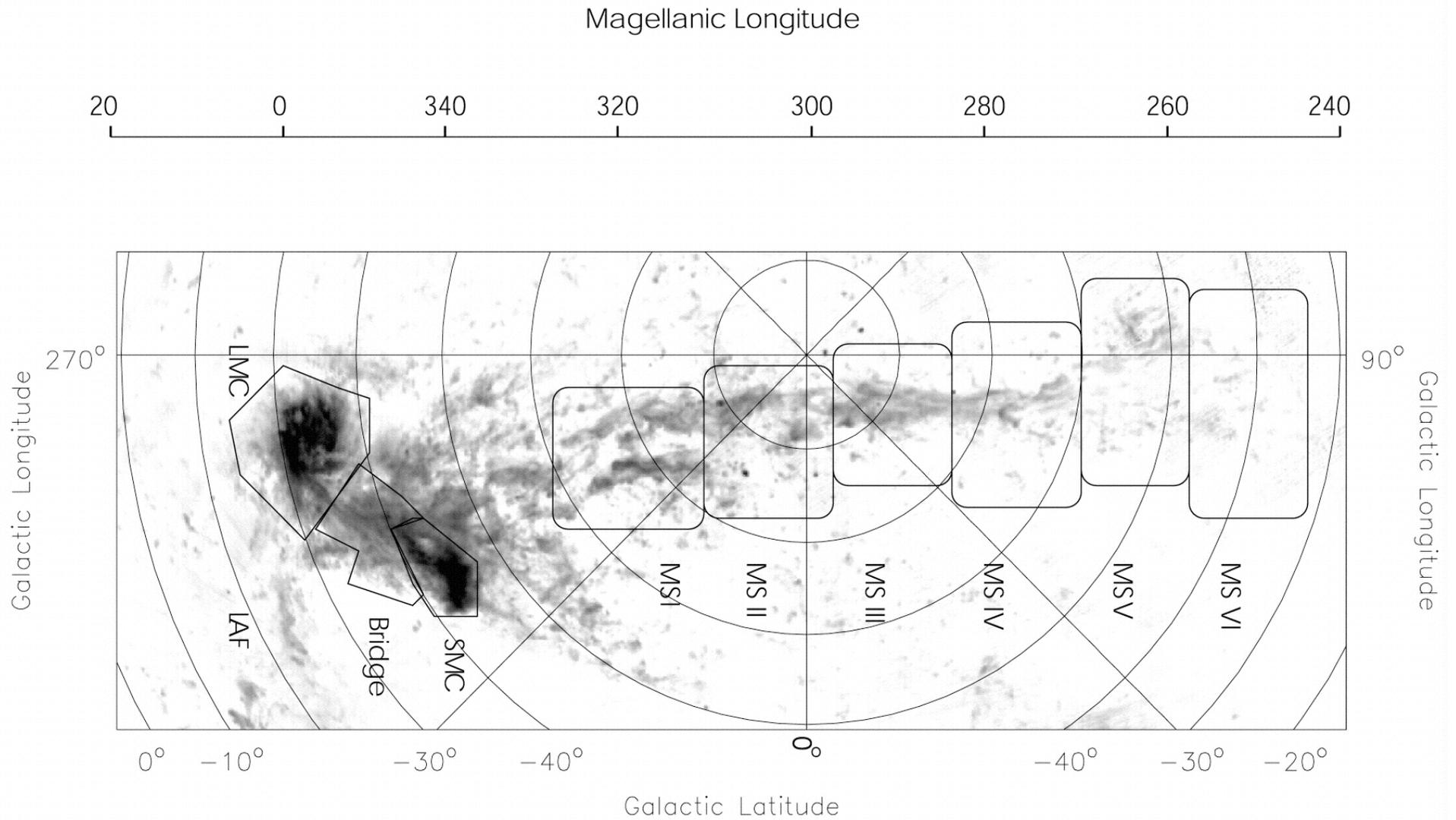
# Origine des HVCs

- Premières pistes explorées par Oort (1966)
  - Supernovae proches
  - Condensations formées dans le gaz coronal
  - Nuages froids éjectés du disque Galactique
  - Gaz intergalactique accrété
  - Galaxies satellites dans le Groupe Local
  - Gaz en interaction de marée avec les Nuages de Magellan
- 40 ans plus tard, cette liste reste un bon résumé des origines possibles des HVCs.

# Années 70-80 : la chasse aux HVCs

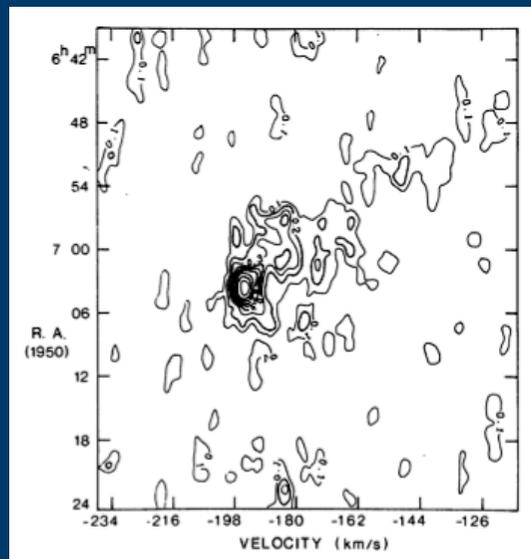
- Utilisation de plusieurs radio-telescopes (dont Leiden et Green Bank) pour cartographier les HVCs (résolutions de qq degrés)
- Découverte du Magellanic Stream à Parkes (Mathewson et al. 1974) : chaîne de nuages connectée aux Nuages de Magellan.
- Découverte des Very High Velocity Clouds (VHVC) à -300 km/s vers l'anticentre (Hulsbosch 1978)
- Les HVCs sont observés entre  $-450 < v < +350$  km/s
- Giovanelli (1981) affirme que la population de VHVC ne peut pas être des galaxies satellites ou dans le disque galactique
  - Il conclue que les VHVC font partie du Magellanic Stream ou sont en orbite autour de la Galaxie

# Magellanic Stream



# Cartographie de nuages individuels

- Cartographie à des résolutions de 10' (Green Bank) et 1' (Westerbork).
  - Structure à petite échelle
  - Structure coeur-halo : indice d'un milieu bi-phasique CNM-WNM qui serait plongé dans le gaz coronal Galactique.
  - Premières indices d'une structure cométaire



Giovanelli & Haynes 1977

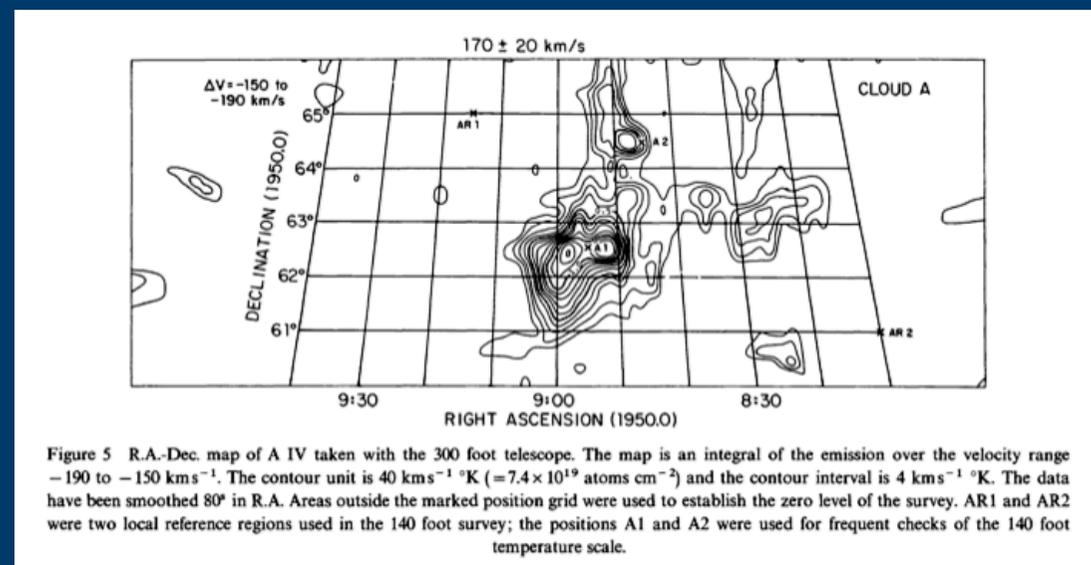


Figure 5 R.A.-Dec. map of A IV taken with the 300 foot telescope. The map is an integral of the emission over the velocity range  $-190$  to  $-150 \text{ km s}^{-1}$ . The contour unit is  $40 \text{ km s}^{-1} \text{ } ^\circ\text{K}$  ( $= 7.4 \times 10^{19} \text{ atoms cm}^{-2}$ ) and the contour interval is  $4 \text{ km s}^{-1} \text{ } ^\circ\text{K}$ . The data have been smoothed  $80''$  in R.A. Areas outside the marked position grid were used to establish the zero level of the survey. AR1 and AR2 were two local reference regions used in the 140 foot survey; the positions A1 and A2 were used for frequent checks of the 140 foot temperature scale.

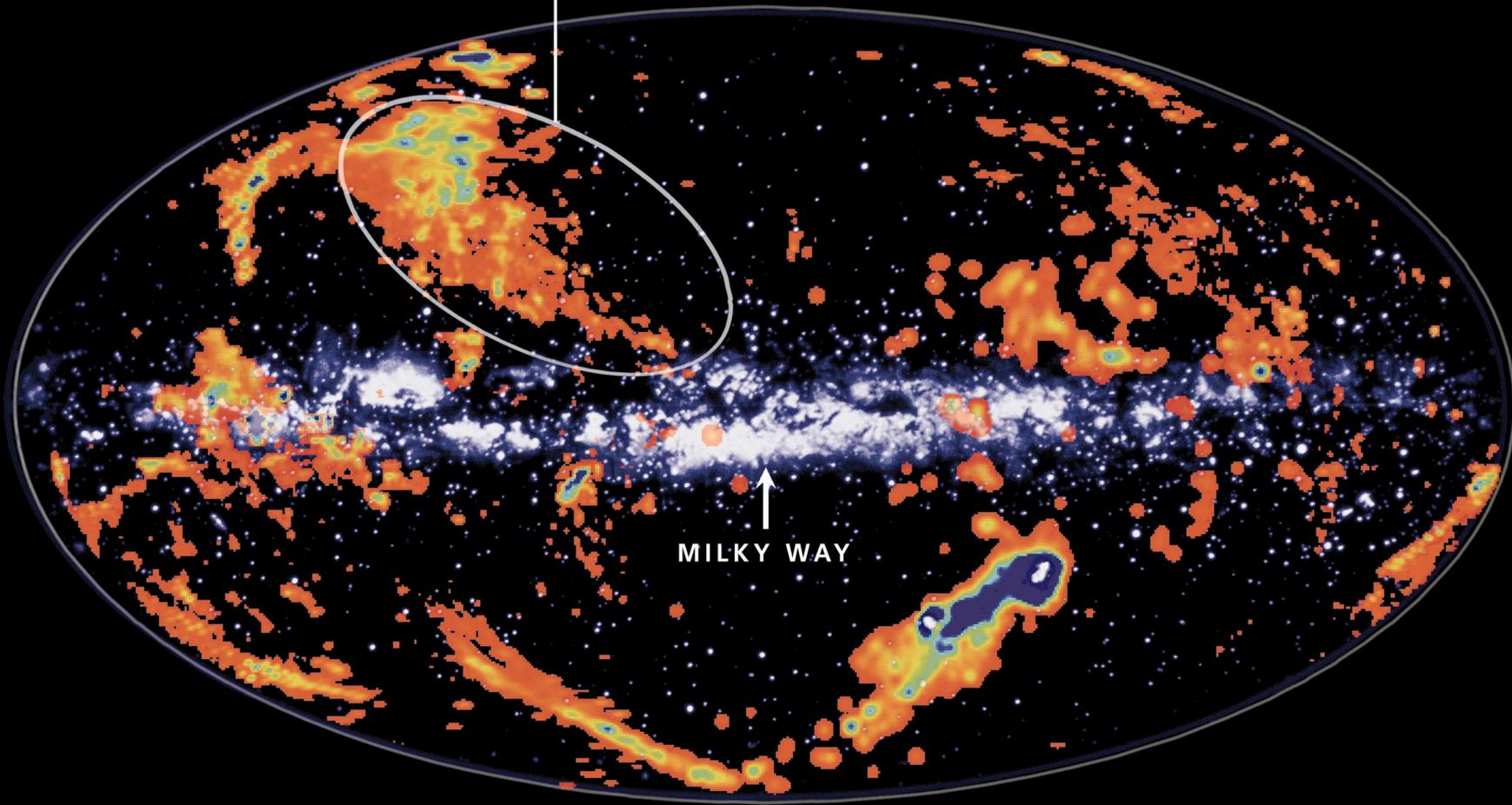
Davies et al. 1976

# Vision globale des HVCs

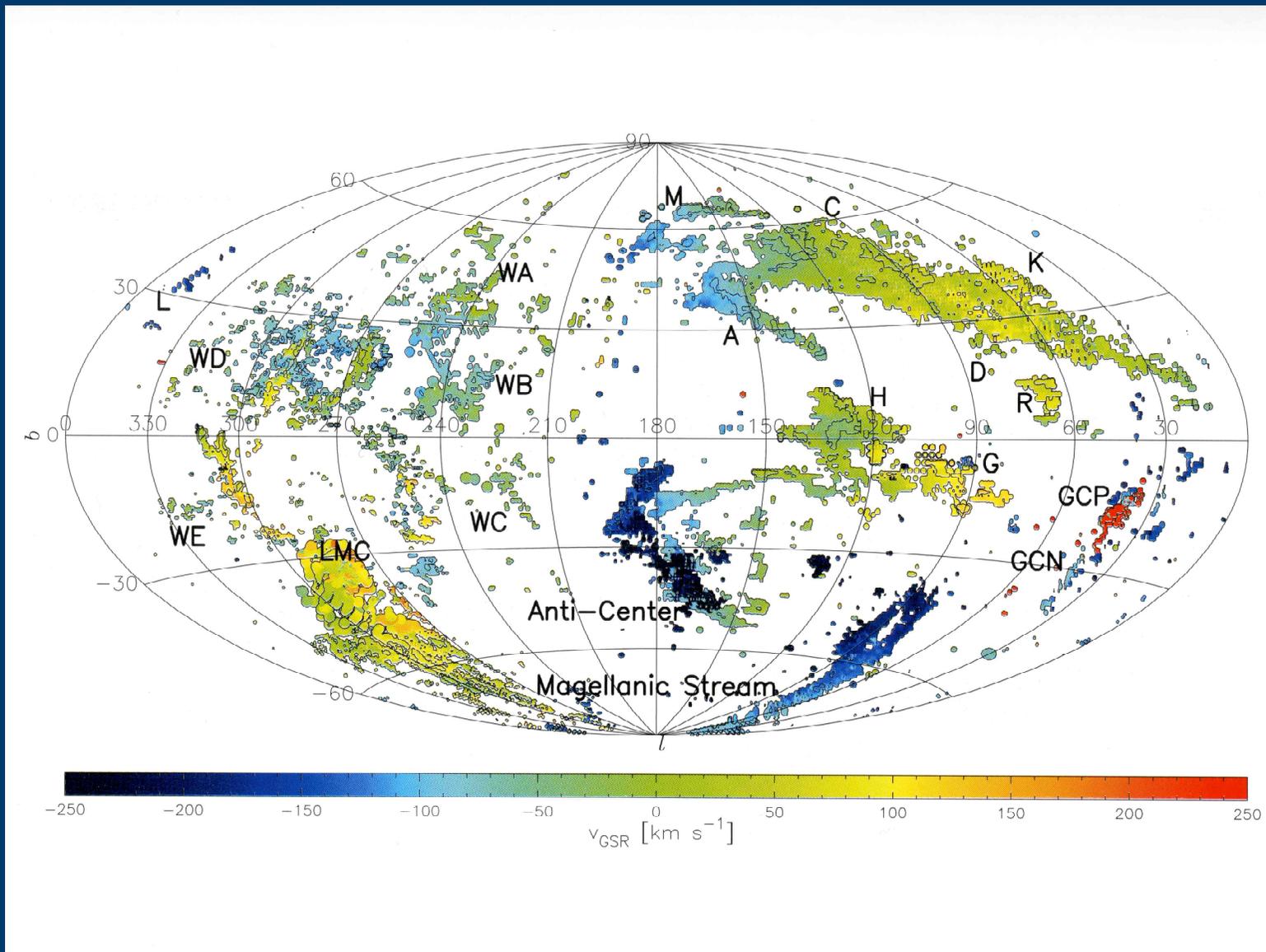
- Premier atlas tout-le-ciel des HVCs par Wakker & van Woerden (1991)
- La vitesse des HVCs est telle qu'ils ne suivent pas la rotation Galactique
- Definition plus stricte d'un HVC:
  - $V_{dev}$  = vitesse en excès de la vitesse de rotation galactique
  - $|V_{dev}| > 70 \text{ km/s}$
- Les HVCs sont observés sur 30% du ciel
- Densité =  $0.05 - 0.25 / (D/1\text{kpc}) \text{ cm}^{-3}$
- Taille des nuages : de 1 à 2000 degrés carrés

# High Velocity Clouds

Accreting Low-Metallicity Gas

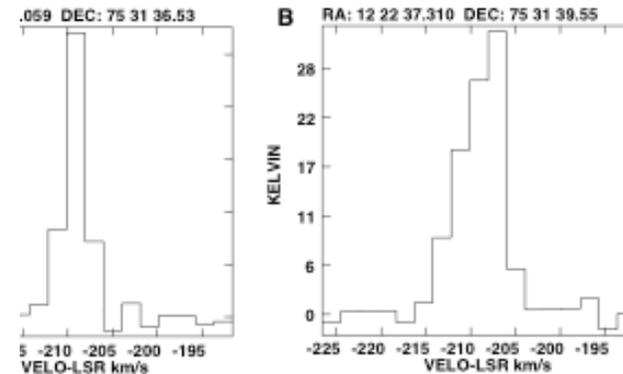
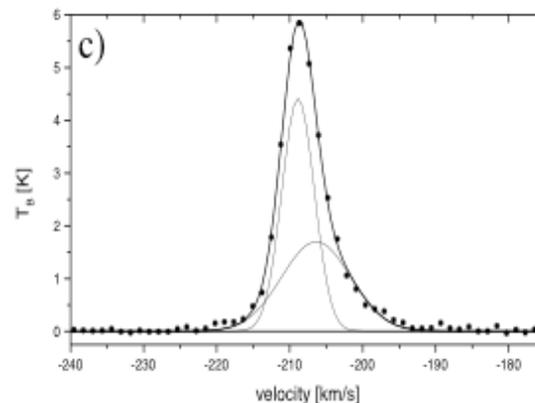
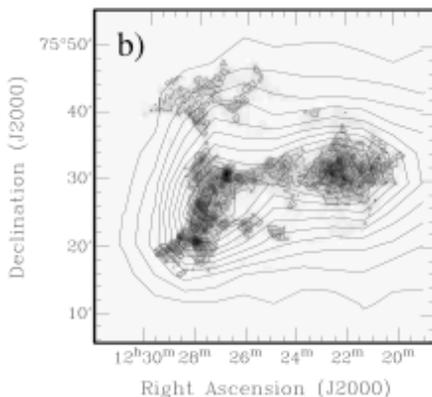
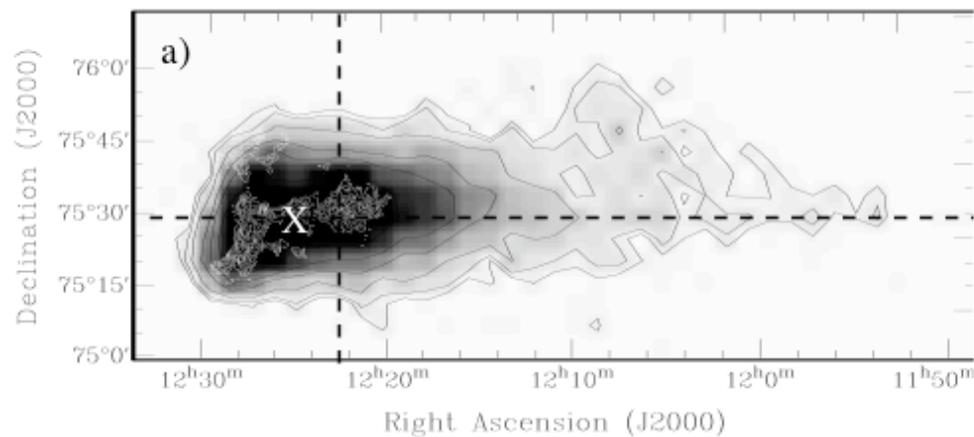


# HVC : $V_{\text{GSR}}$



# Compact High-Velocity Clouds (CHVC)

- 246 CHVCs détectés: de Heij et al. (2002) et Putman et al. (2002)
- Taille angulaire < 2.2 deg (mediane = 0.4 deg)
- Densité de colonne <  $10^{20} \text{ cm}^{-2}$  (mediane =  $10^{19} \text{ cm}^{-2}$ )
- Température du HI lorsque observé en absorption :  $T=45\text{-}150 \text{ K}$ .
- Structure coeur (CNM) - halo (WNM)

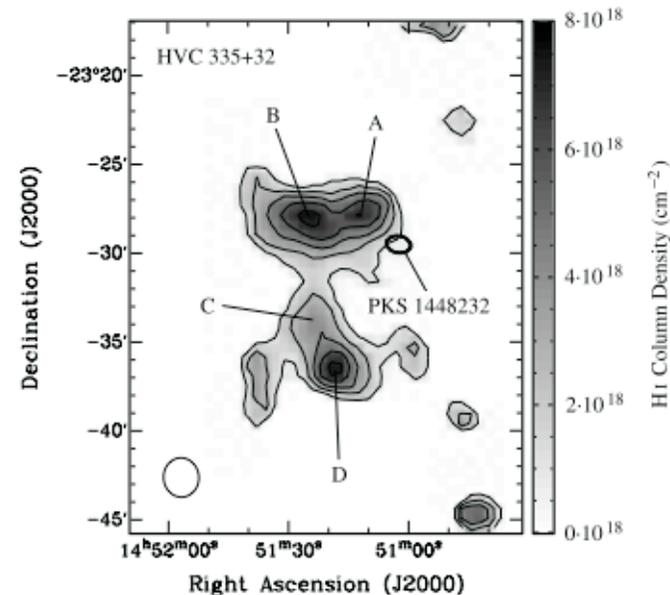


la plus étroite jamais  
observée : gaz très froid et calme.  
Densité 0.1 solaire

Braun & Burton 2000

# Structure à petite échelle

- Observations interférométriques
- Structure à toutes les échelles
- Les condensations froides sont très petites ( $\sim 1$  arcmin)
- Les contrastes de densité semblent être plus élevés dans les HVCs que dans le MIS.



**Fig. 2.** VLA 21 cm column-density map of high-velocity HI gas in the direction of the quasar PKS 1448–232 (velocity range:  $-130$  to  $-170$   $\text{km s}^{-1}$ ). Several small HI clumps with low HI column densities ( $<10^{19}$   $\text{cm}^{-2}$ ) are detected. The line of sight towards PKS 1448–232 passes the outer envelope of clump A. The beam size is indicated in the lower left corner. The contours refer to HI column densities of 1, 2.5, 4, 5.5 and  $7 \times 10^{18}$   $\text{cm}^{-2}$ .

# HVC dans les autres galaxies

- Plusieurs exemples de signatures de gaz HI à des positions/vitesses anormales, semblables aux HVCs
- M31
  - 20 nuages détectés dans un rayon de 60 kpc
  - Masses de  $10^5$  à  $10^7 M_{\odot}$
  - Pour expliquer leur stabilité il faut invoquer 100 fois plus de matière sombre que de HI

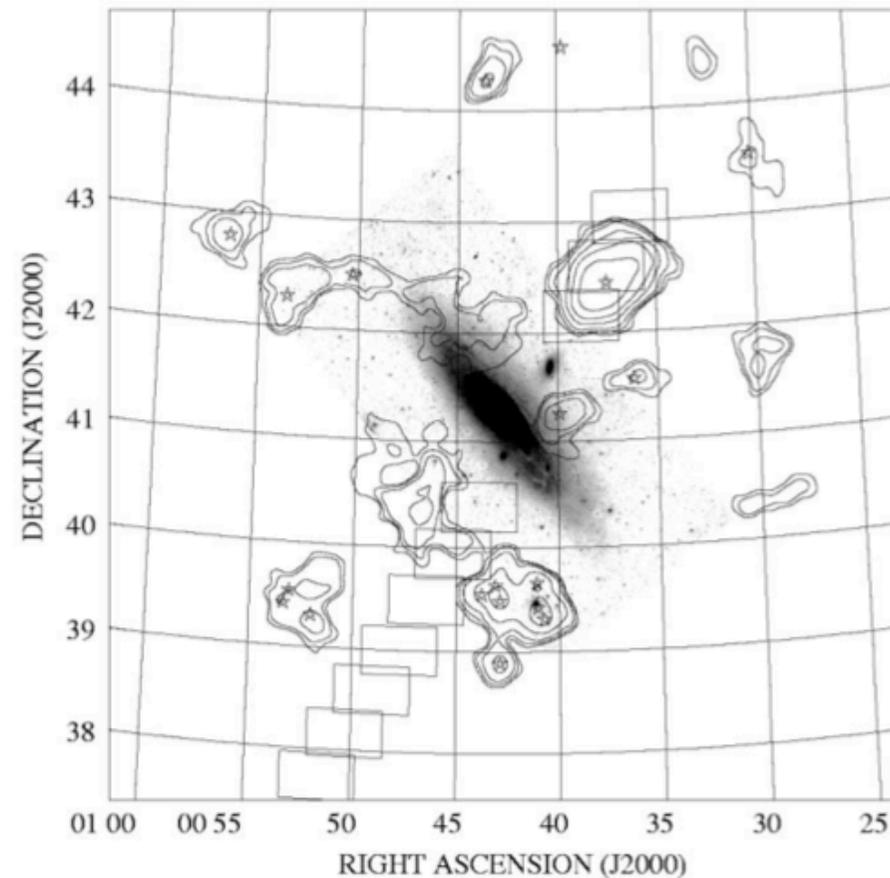
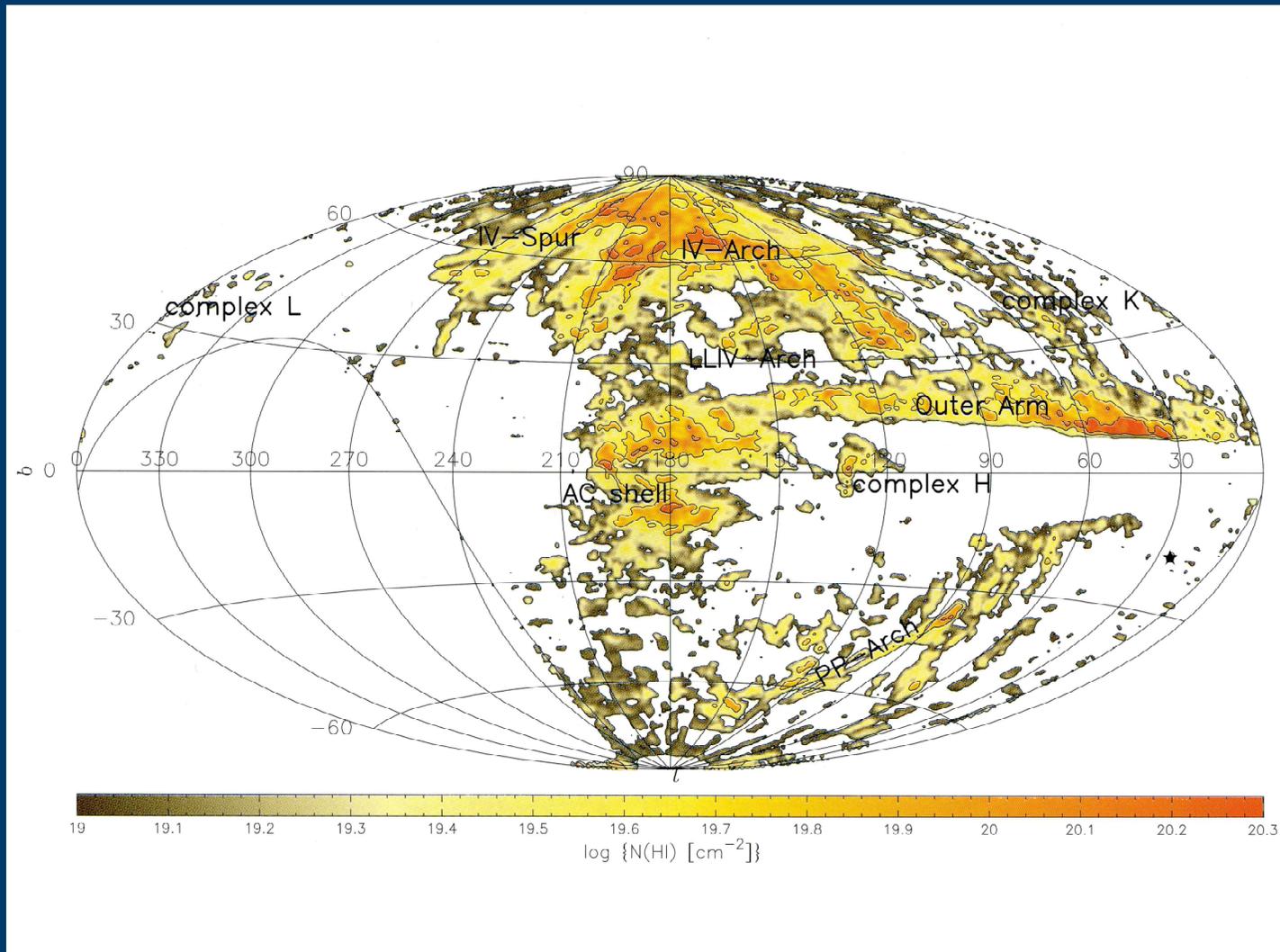


FIG. 2.—Total column density for discrete and diffuse high-velocity H I in the M31 GBT field, after masking emission from Andromeda's inclined, rotating disk. Contours were evaluated at (3 kpc,  $72 \text{ km s}^{-1}$ ) resolution and rendered at  $0.5, 1, 2, 10,$  and  $20 \times 10^{18} \text{ cm}^{-2}$ , then overlaid on a V-band image of M31. The position of each discrete cloud (or distinct substructure) is marked using a star symbol. We indicate the location of the metal-rich stellar stream analyzed by Ferguson et al. (2002) by plotting the imaging fields of McConnachie et al. (2003). H I emission from NGC 205 has been masked.

# Intermediate Velocity Clouds

- $30 < |V_{dev}| < 70$  km/s
- Ils sont situés dans le halo Galactique
- De grands nuages et des nuages plus compactes sont observés
- La majorité des IVCs ont des vitesses compatibles avec une chute vers le plan
- Conditions physiques variées mais on observe régulièrement des indices de destruction de grains et une abondance non-primordiale.
- Origines
  - Formation d'étoiles
    - Processus énergétiques locaux (vents, SN)
    - Fontaine Galactique
  - Chute d'UVC (accrétion de matière extra-galactique)
  - Accélération de gaz local par l'arrivée d'un HVC
- Mesures d'abondance trop peu nombreuses pour conclure.
- Il n'est pas impossible qu'il y est un mélange efficace lors de l'entrée d'un HVC dans le Galaxie qui augmenterait la métallicité observée.

# Intermediate Velocity Clouds

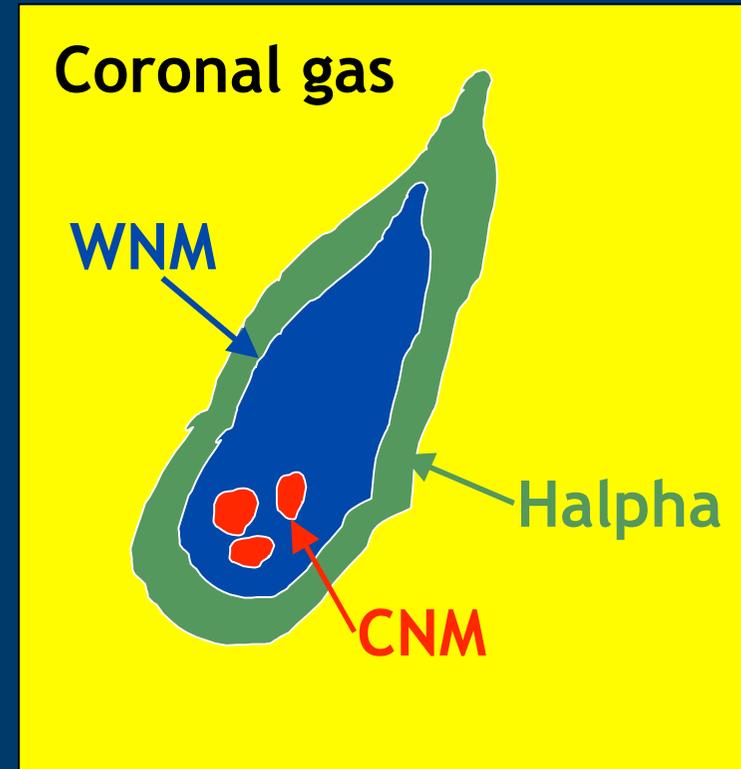


# Molécules

- CO en émission
  - Détecté dans des IVCs près du plan ( $z < 0.5$  kpc)
    - Weiss et al. 1999, Desert et al. 1990
  - Jamais détecté dans les HVCs : difficile dans des environnements à faible  $N_H$  ( $< 3 \times 10^{20} \text{ cm}^{-2}$ ) et faible  $Z$ .
- H<sub>2</sub> en absorption
  - Plusieurs détections dans le Magellanic Stream (Richter et al. 1999, 2001, 2003)
    - $N_{\text{H}_2} < 10^{17} \text{ cm}^{-2}$
    - Les modèles de formation de H<sub>2</sub> montrent qu'il doit être confiné dans des régions très petites (100 UA).
  - Détection dans plusieurs IVCs (e.g. Richter et al. 2003)
- HCO<sup>+</sup> en absorption dans un HVC (Combes et Charmandaris 2000)

# Gaz ionisé dans les HVCs

- Détection de H $\alpha$ 
  - Grands complexes (Tufte et al. 1998, Putman et al. 2003)
  - Quelques CHVCs (Tufte et al. 2002)
- Origines ?
  - Photo-ionisation par le flux UV Galactique : espoir de déterminer la distance des HVCs
  - Excitation collisionnelle - friction avec le halo.
- HI et H $\alpha$  pas corrélés spatialement
  - En faveur d'une excitation collisionnelle - interaction avec le halo



# Distance et métallicité

- C'est le nerf de la guerre : permet de faire le tri dans les modèles proposés.
- Méthodes pour déterminer la distance
  - H $\alpha$  + modèle du flux ionisant galactique (Bland-Hawthorn & Maloney 1999)
  - Equilibre de pression avec le gaz du halo
  - Utilisation de mesures en absorption devant des étoiles dont les distances sont connues : la plus utilisée
- Contrainte de distance sur une dizaine de lignes de visée
  - $1 < D < 50$  kpc
  - Masse typique des HVCs :  $1E5 - 1E6 M_{\odot}$
- Métallicité mesurée en absorption devant des sources extragalactiques (Wakker 2001)
  - Variations de  $Z = 0.1$  à  $1.0$
  - Mesures très difficile à faire
    - Abondance de l'hydrogène (beam HI différent, H $_2$  ?, HII ?)
    - Depletion sur les grains (s'il y en a)

# Origine des HVCs: modèles actuels

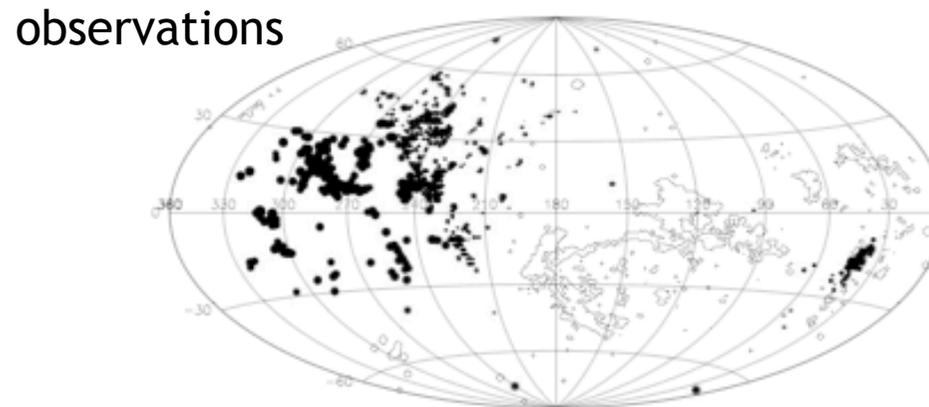
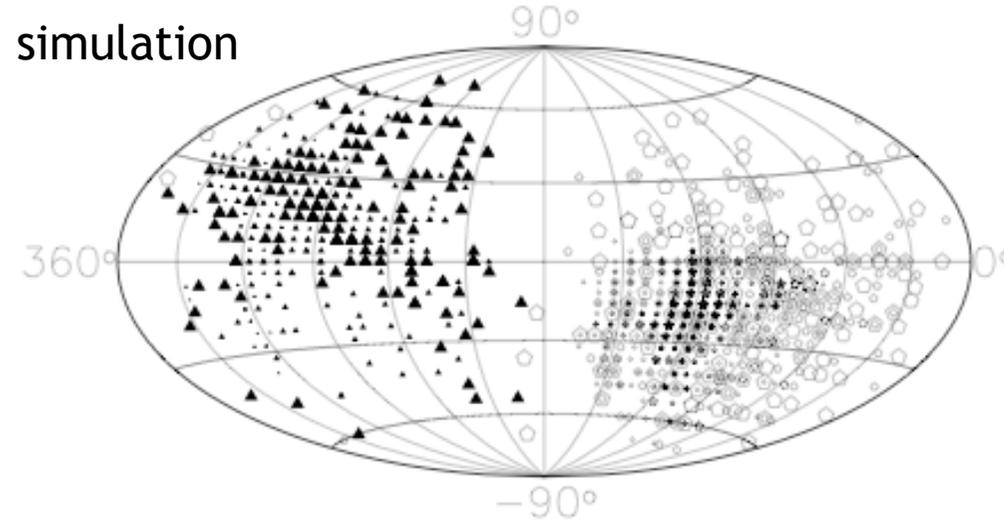
- Gaz arraché à des galaxies naines (e.g. Magellanic stream)
  - Les HVCs seraient majoritairement attribués à des interactions successives avec les nuages de Magellan (les autres galaxies naines proches étant trop peu massives)
  - Distance des HVCs ~ 100 kpc
  - Problème : certaines métallicités observées sont trop faibles.
- Fontaine Galactique
  - Dépend du taux d'explosions de Supernovae et de la morphologie du MIS
  - Distance des HVCs ~ 10 kpc
  - Problème : ne peut pas produire les grandes vitesses (200 km/s) et les grandes structures (qq kpc) observées.
  - Explique bien les IVCs
- Résidu de la formation du Groupe Local

# Résidu de la formation galactique

- Hypothèse : les HVC (mais surtout les CHVC) seraient des galaxies de faible masse, faible  $\Delta V$ , sans étoile et qui sont prédites par les modèles de formation de structures (mini dark halos).
- Dans ce model, proposé par Blitz et al. 1999 :
  - Les HVCs sont à des distances de  $\sim 100$  kpc à 1 Mpc (et donc beaucoup plus massifs)
  - Ils dominant la masse du Groupe Local ( $M_{\text{HVC}} = 10^{11} M_{\odot}$ )
  - Ils sont stabilisés par la gravité (90% de dark matter)
  - Les grands complexes HVCs sont ceux qui tombent sur la Galaxie

# Simulation Blitz et al 1999

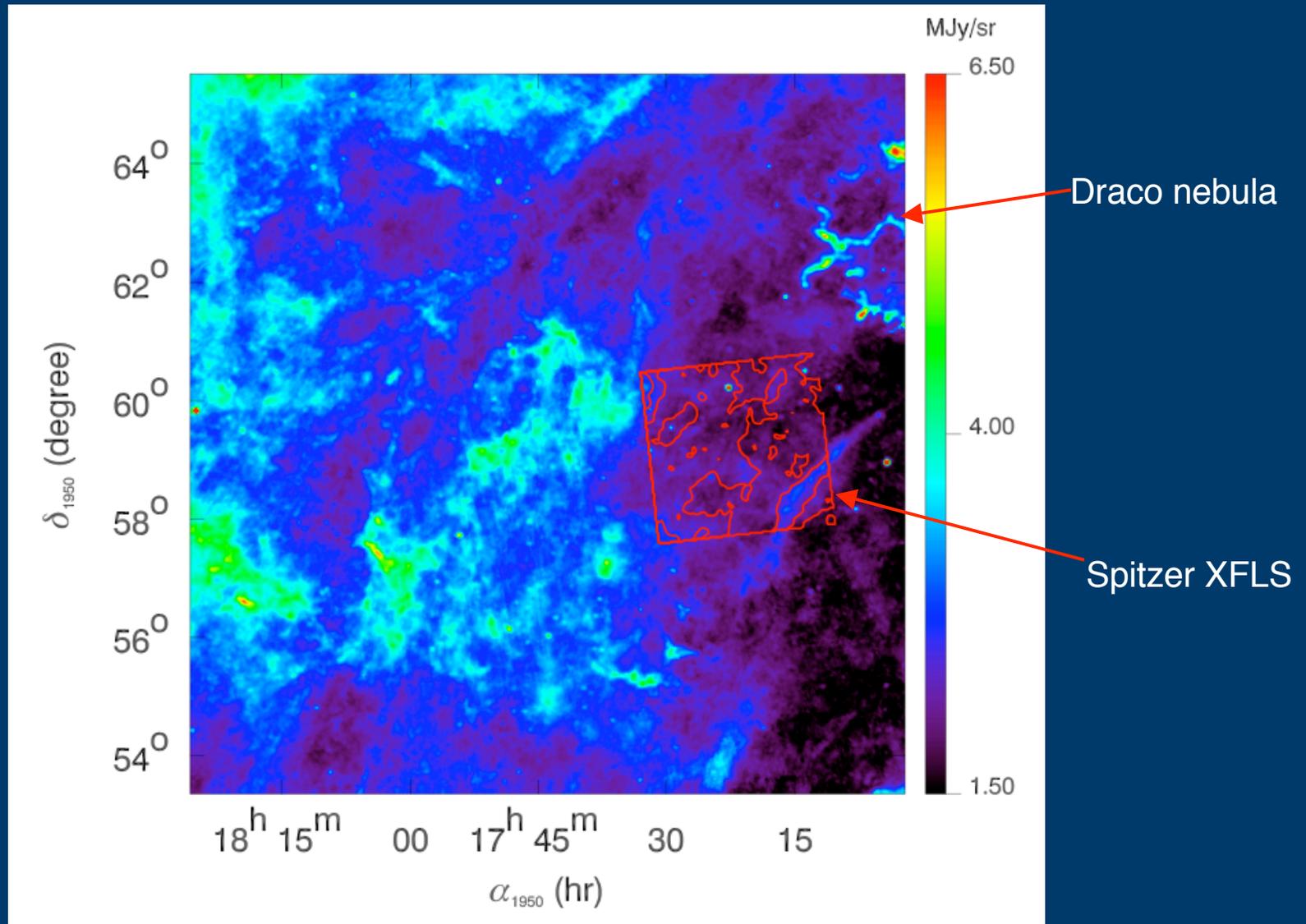
- HVCs sont des particules réagissant au puit de potentiel de la Galaxie et de M31 (les autres galaxies étant négligeables en masse)
- Reproduit bien les vitesse et la distribution spatiale des HVCs sur le ciel (assymetrie nord-sud) en excluant les grands complexes.
- Reproduit le taux d'accrétion Galactique de  $1 M_{\odot}/\text{an}$



# Résidu de la formation galactique

- Hypothèse : les HVC (mais surtout les CHVC) seraient des galaxies de faible masse, faible  $\Delta V$ , sans étoile et qui sont prédites par les modèles de formation de structures (mini dark halos).
- Dans ce model, proposé par Blitz et al. 1999 :
  - Les HVCs sont à des distances de  $\sim 100$  kpc à 1 Mpc (et donc beaucoup plus massifs)
  - Ils dominent la masse du Groupe Local ( $M_{\text{HVC}} = 10^{11} M_{\odot}$ )
  - Ils sont stabilisés par la gravité (90% de dark matter)
  - Les grands complexes HVCs sont ceux qui tombent sur la Galaxie
- Arguments en faveur
  - Faible métallicité des HVCs
  - Vitesses des HVCs compatibles avec le puit de potentiel du Groupe Local
- Arguments en défaveur
  - Pas de détection de nuages HI à grande distance autour de galaxies analogues à la Voie Lactée (Pisano et al. 2004).
  - Émission H $\alpha$  associée à certains CHVCs : distance proche car le flux ionisant et la densité dans le milieu intergalactique sont insuffisants. Par contre on note plusieurs non-détections.

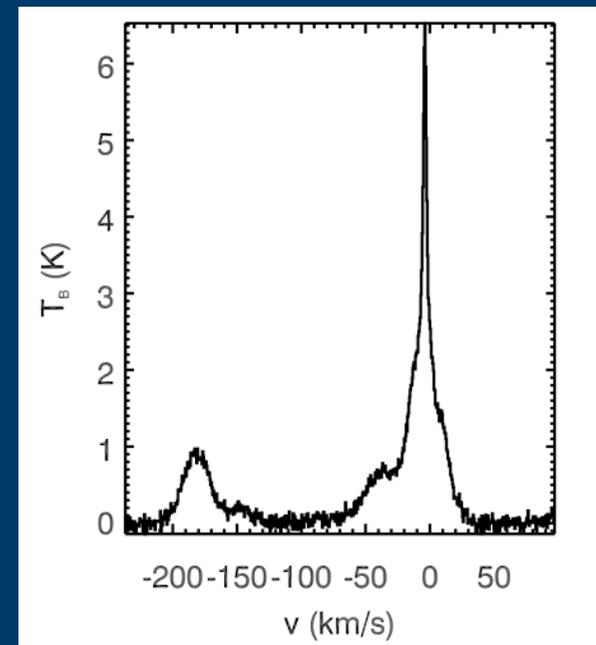
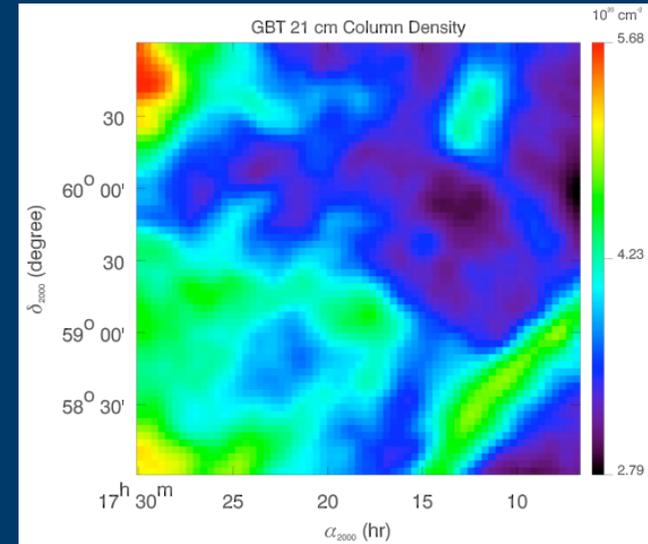
# Première détection de la poussière dans un HVC



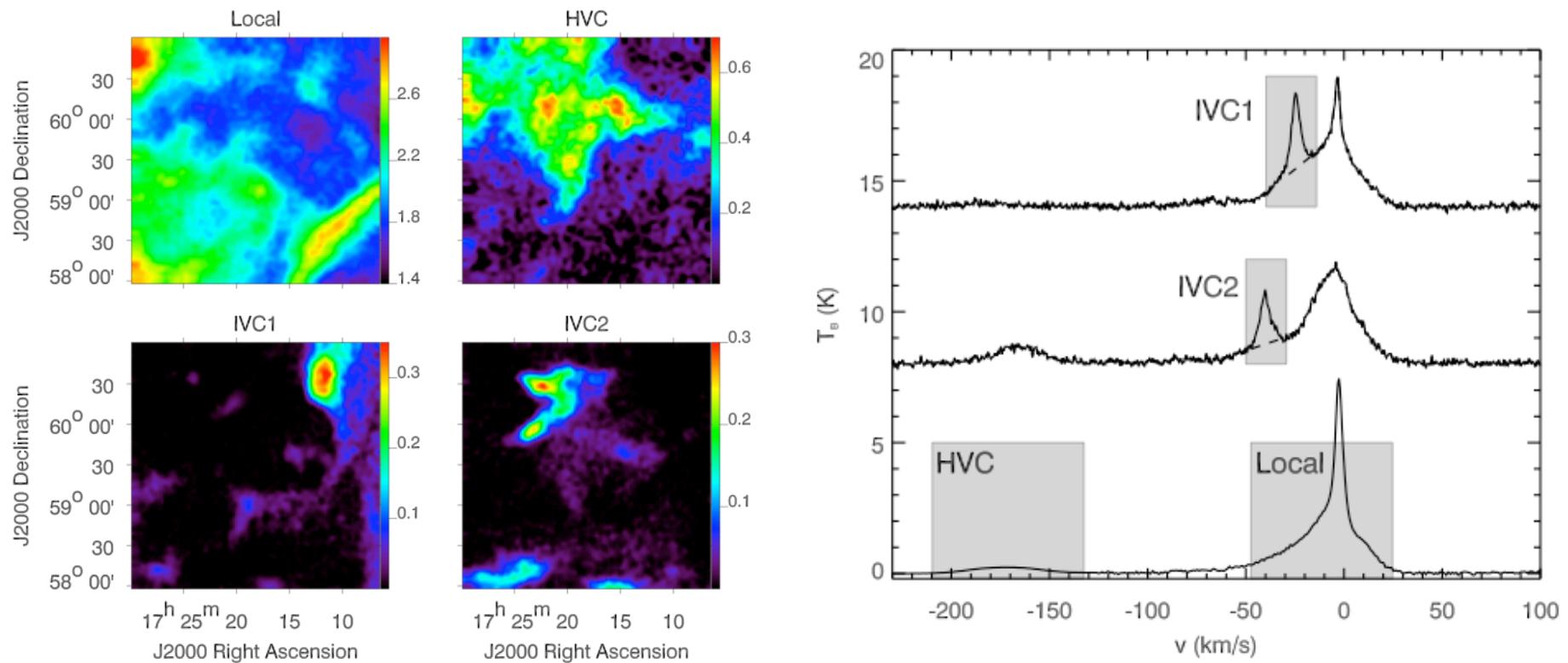
IRAS 100 micron and GBT-HI overlay

# The eXtra-galactic First Look Survey

- 4 deg<sup>2</sup> near north ecliptic pole
- Main scientific goal: galaxies evolution and CIB
- Low HI column-density field
  - $N(\text{HI}) < 3 \times 10^{20} \text{ cm}^{-2}$
  - Fairly simple HI spectrum
- High-quality HI data
  - Green Bank Telescope
  - 9' and 0.5 km/s resolutions
- Compare to infrared
  - IRAS (IRIS) and Spitzer
- Goal: estimate dust properties in CNM, WNM, IVC and HVC
- Miville-Deschênes et al., 2005, ApJ, 631, L57-L60

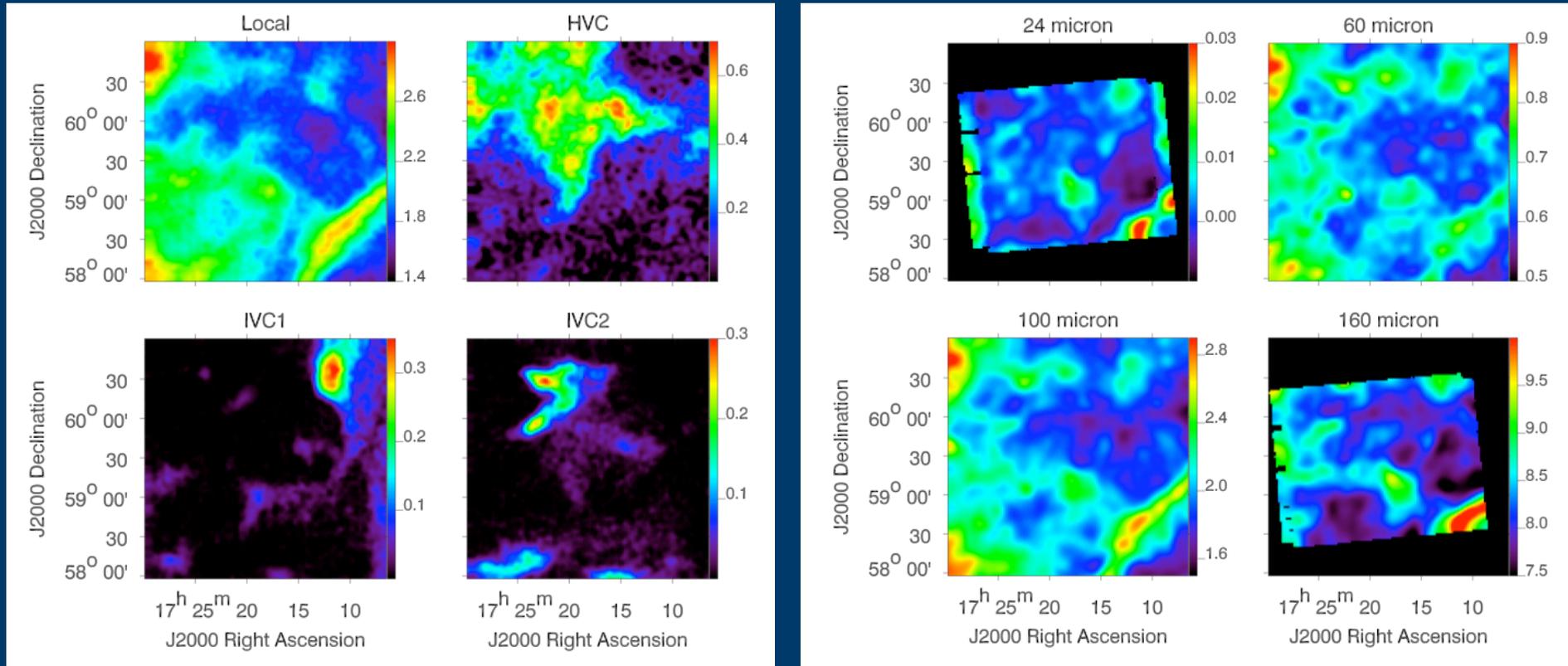


# The eXtra-galactic First Look Survey



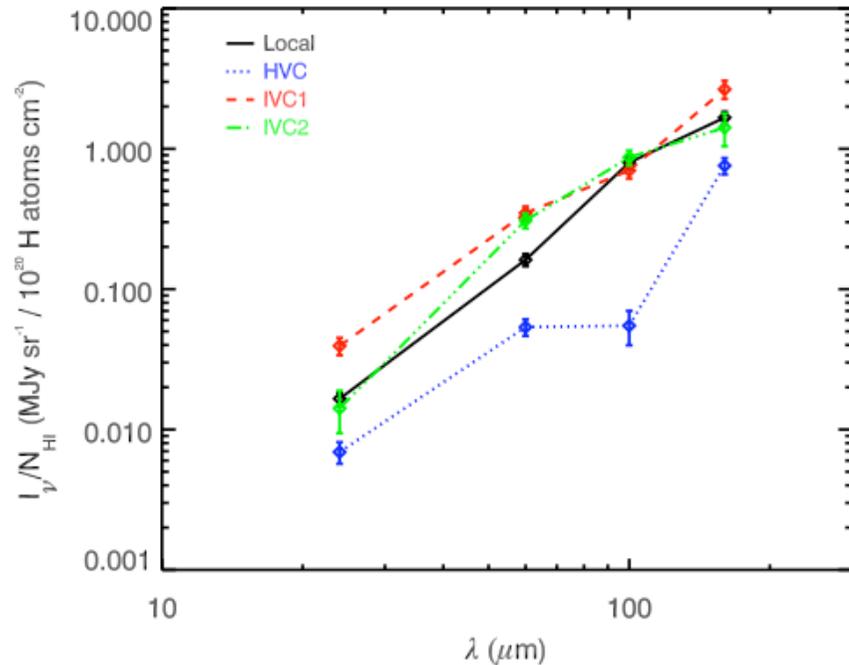
- HI Components extraction (local, IVCs, HVC)

# The eXtra-galactic First Look Survey

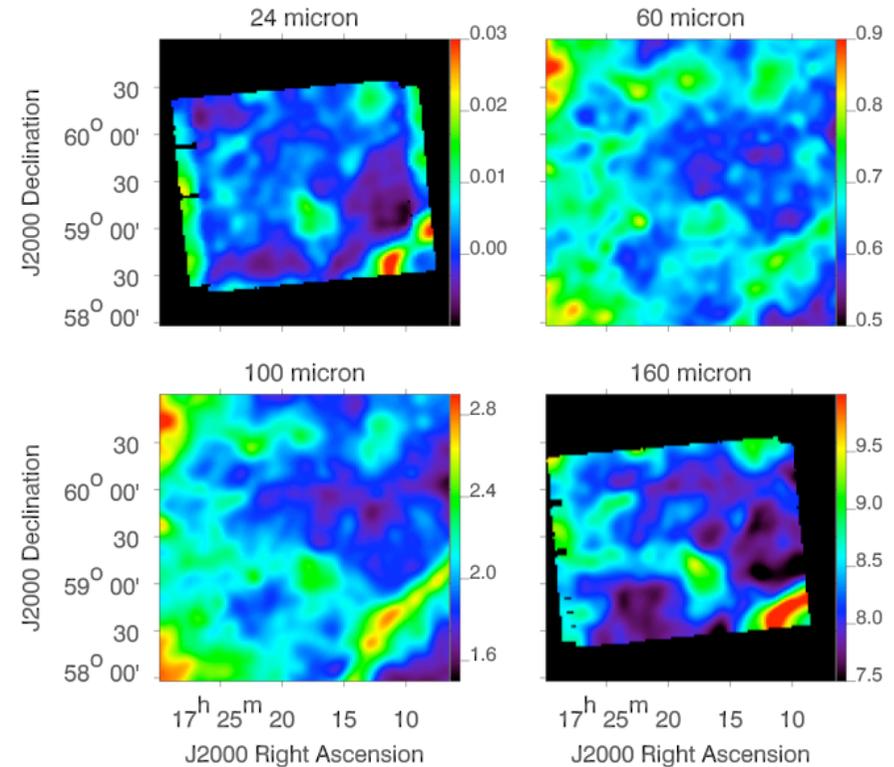


- Infrared maps
  - IRAS (IRIS) : 60 and 100 micron
  - Spitzer : 24 and 160 micron

# The eXtra-galactic First Look Survey



$$I_\lambda(x, y) = \sum_i \alpha_\lambda^i N_{\text{HI}}^i(x, y) + C_\lambda(x, y)$$



- HI-IR correlation
- Detection of dust emission from HVC - Complex C

# Detection of dust in Complex C

- Big grain emission :  $I_{\lambda} = \epsilon_0 \nu^{-2} N_H B_{\nu}(T)$
- Big Grain temperature :
  - $T_{\text{local}} = 17.4 \pm 1.4 \text{ K}$ 
    - In accordance with COBE values
  - $T_{\text{HVC}} = 10.7 \pm 3.0 \text{ K}$ 
    - in accordance with its great distance from the Galactic plane
- Big Grain emissivity
  - $\epsilon_0(\text{HVC}) / \epsilon_0(\text{local}) > 1.6$
  - If the amount of dust per gas H is proportional to the metallicity:  $\epsilon_0(\text{HVC}) / \epsilon_0(\text{local}) \sim 0.2-0.3$
- Implication : there is > 5 times more gas than traced by HI

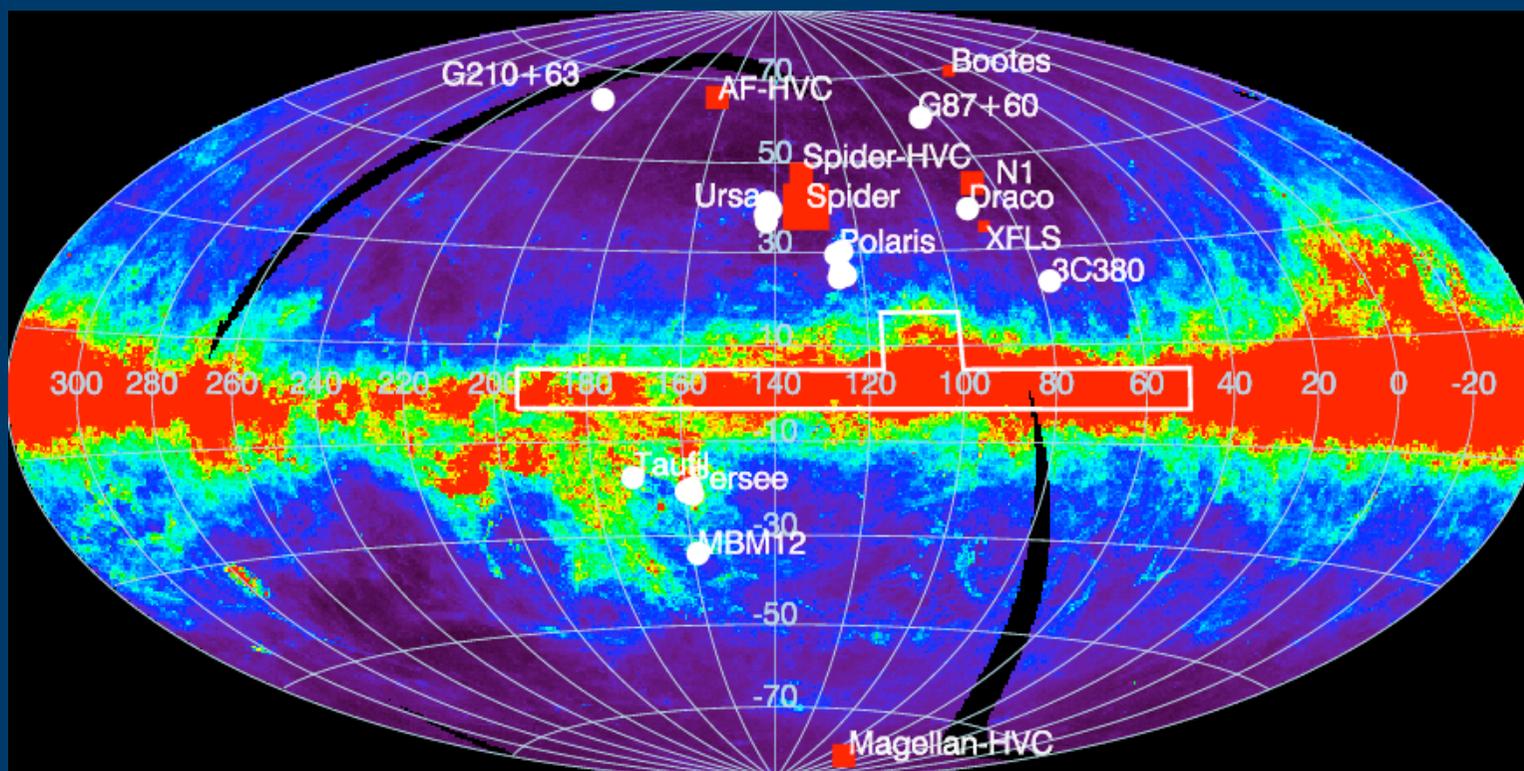
# Detection of dust in Complex C

- Could it be ionised gas ?
  - Not enough column in ionised layer
  - Would have to correlate spatially with HI
- Could it be molecular gas ?
  - H<sub>2</sub> detected in absorption by FUSE but at too low level.
- But if HVC are multiphase including small and dense molecular clumps ?
  - Infrared emission detected here would come from molecular clumps (low filling factor) spatially correlated with HI
  - Such clumps were detected in cirrus (Heithausen 2004) and in the Magellanic Stream (Sembach et al. 2001)
- Implication for Galactic ecology
  - HVC are much more massive than previously expected and most of their mass is in an dense phase.
  - An infall of  $1 M_{\odot}$ /year on the MW is needed to explain:
    - Star formation rate, the bar and constant metallicity of G stars
    - Current picture: infalling gas is cooling of gas from very hot halo gas
  - **Our findings imply that most of the infalling mass is in a dense and cold phase.**

# Poussière dans le halo Galactique

- Pourquoi la poussière n'a pas été détectée avant ?
  - Sensibilité limitée d'IRAS et des données HI
  - Peu de poussière (Z faible)
  - Chauffage limité (distance au plan Galactique)
  - Le fond infrarouge extra-galactique est plus fort que l'émission recherchée.
- De manière générale l'émission de la poussière dans les HVCs apporte de l'information
  - sur la quantité de métaux présents et donc sur l'origine des HVCs
  - sur le champ de radiation et sur la quantité de matière (molécules).
- Observation de poussière (extinction) dans le visible dans le halo de galaxies vues par la tranche (Howk & Savage 1999)
  - Densités de colonne de gaz déduites supérieure à ce qui est observé en HI.
- Observation d'émission infrarouge dans les halos de galaxies (Montier & Giard, 2005)

# Projets en cours



- Observations à 21 cm (GBT et DRAO) de plusieurs nuages à haute latitude
- Objectifs scientifiques
  - Properties and evolution of the HI (CNM and WNM) and dust
  - Dust emission in IVCs and HVCs
  - Determine properties of the foreground emission for Planck

- **The Planck deep field project**
- HI - 21 cm observations
- DRAO : 40" at 1' and 1 km/s resolutions
- GBT : 100" at 9' and 0.25 km/s resolutions
- Column density:  $10^{19} - 10^{21} \text{ cm}^{-2}$
- We proposed to map the same region with PACS and SPIRE

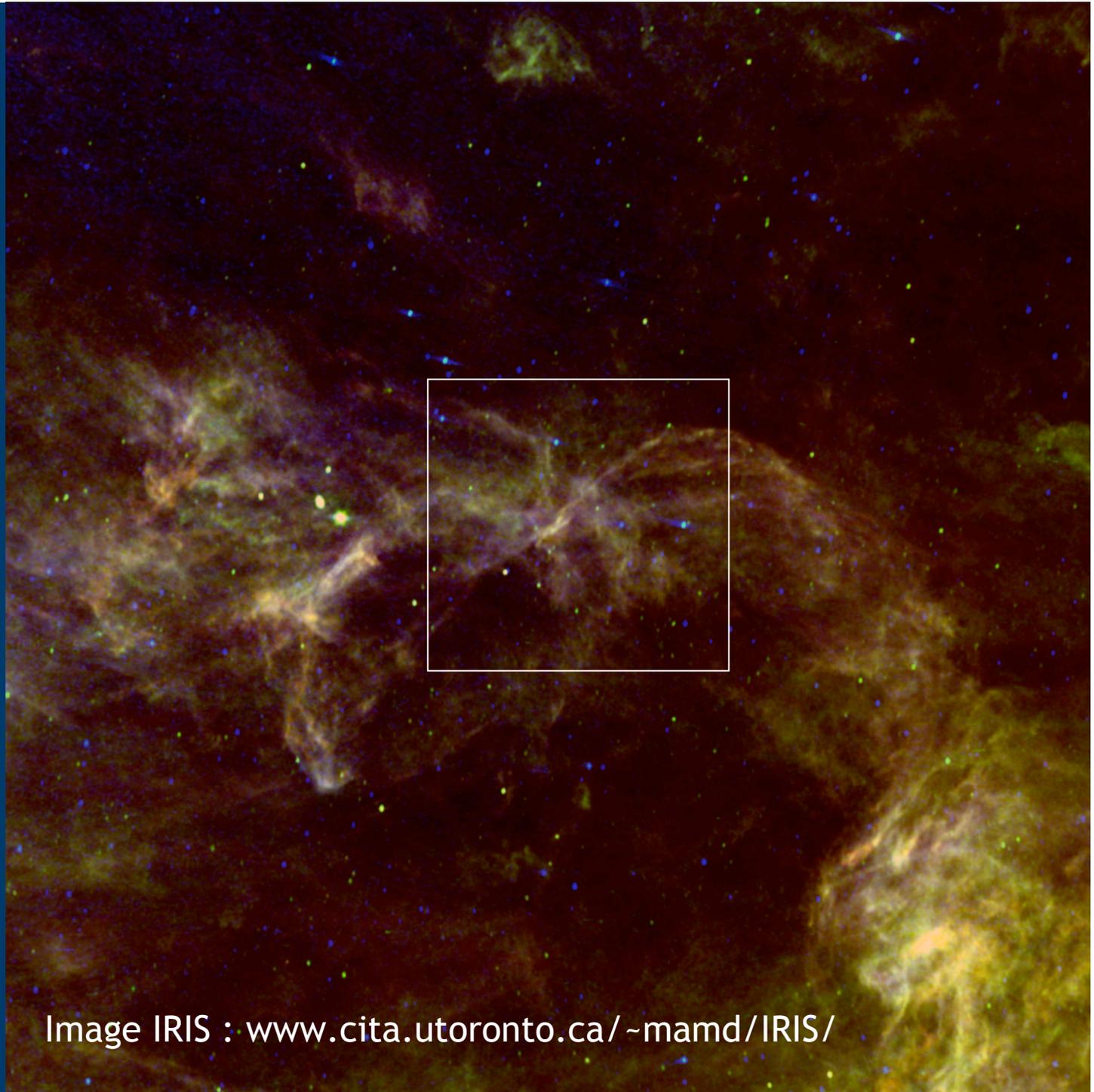
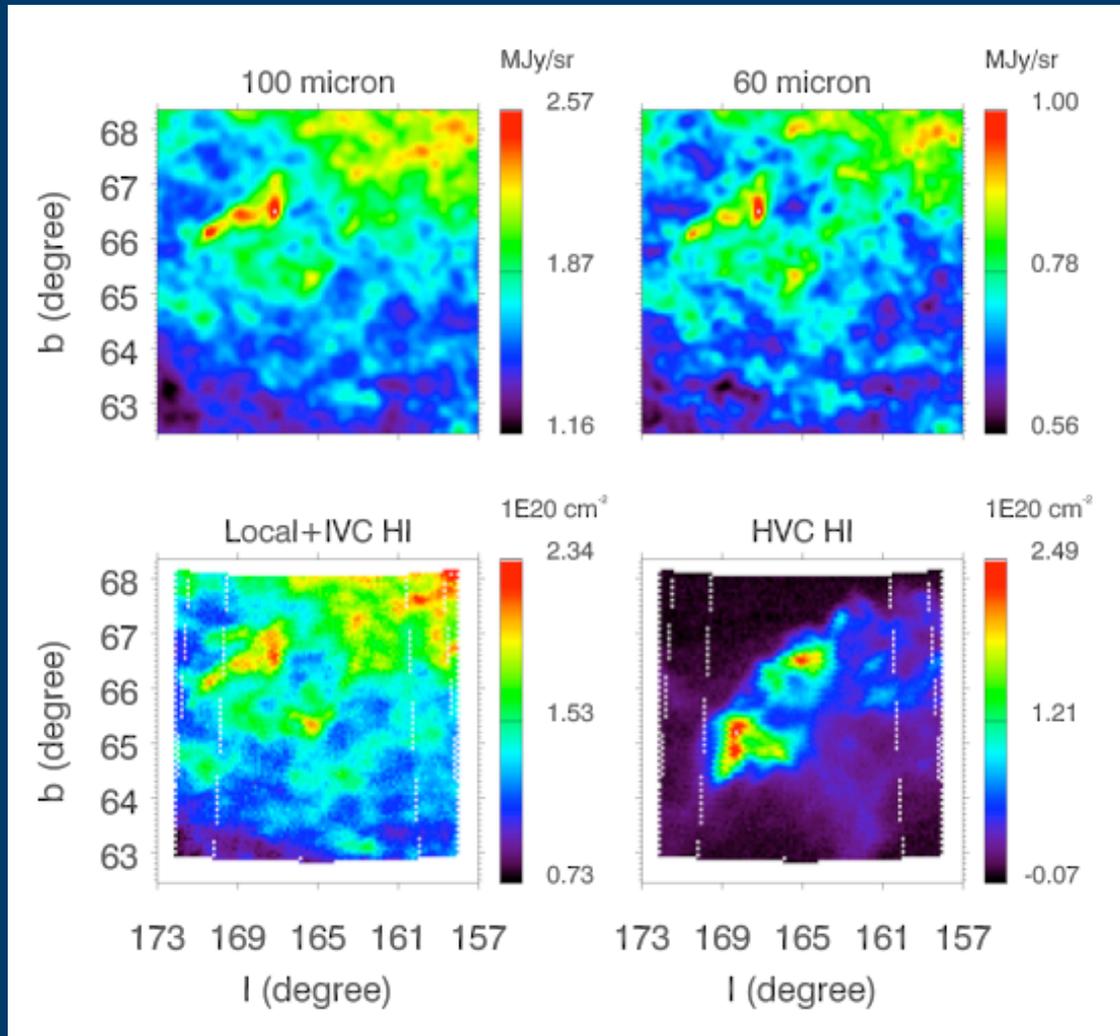


Image IRIS : [www.cita.utoronto.ca/~mamd/IRIS/](http://www.cita.utoronto.ca/~mamd/IRIS/)

# Confirmation de la détection ?

- Programme d'observation de 7 HVCs au Green Bank Telescope à la recherche d'une confirmation de la détection
  - Données obtenues en décembre 2005
  - Traitement toujours en cours
- Premières analyses encourageantes
  - Détection du Complex M à 100 micron au même niveau que dans le Complex C.

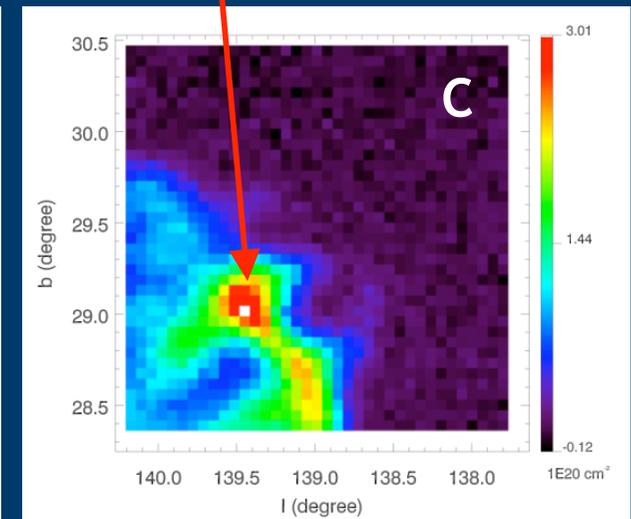
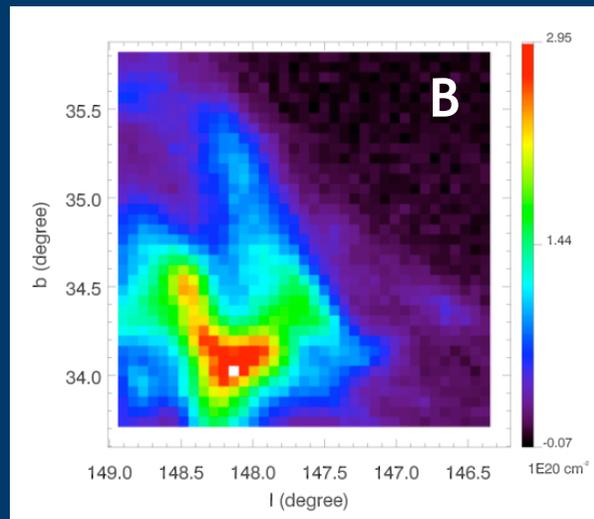
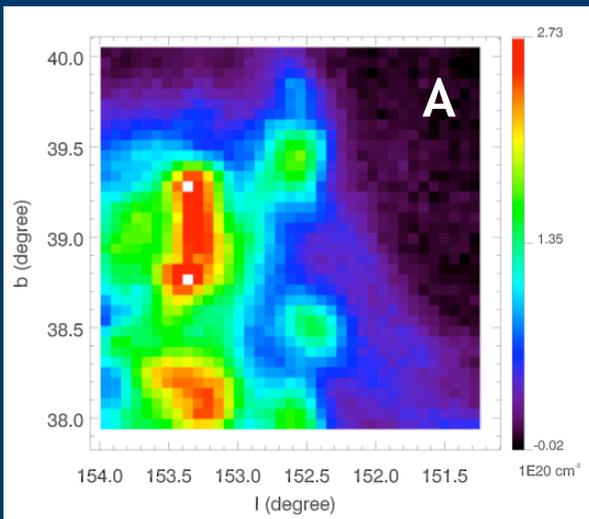
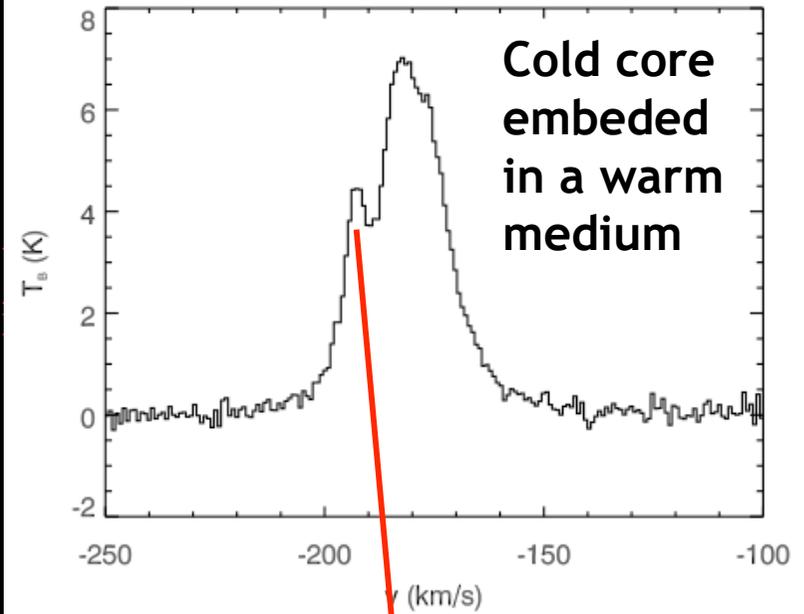
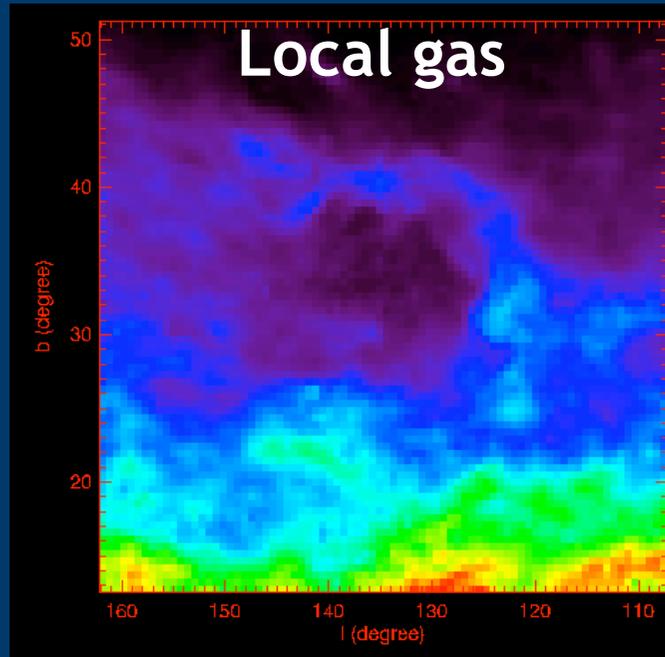


# Complex A : bullets falling from above

Leiden 36'



GBT 9'



# Interaction des HVC avec le disque

- Si il y a un constant apport de matière extra-galactique ( $1 M_{\odot}/\text{an}$ )
  - Signatures observationnelles ?
  - Structure du gaz (clump) ?
  - Metallicité, émission de poussière ?
- Des ponts en vitesse sont observés entre certains HVC et IVC.
- Les IVCs pourraient être
  - des HVCs freinés en entrant dans le disque Galactique.
  - du gaz Galactique réagissant à l'entrée d'un HVC
- Les mesures de metallicité sont trop peu nombreuses pour conclure

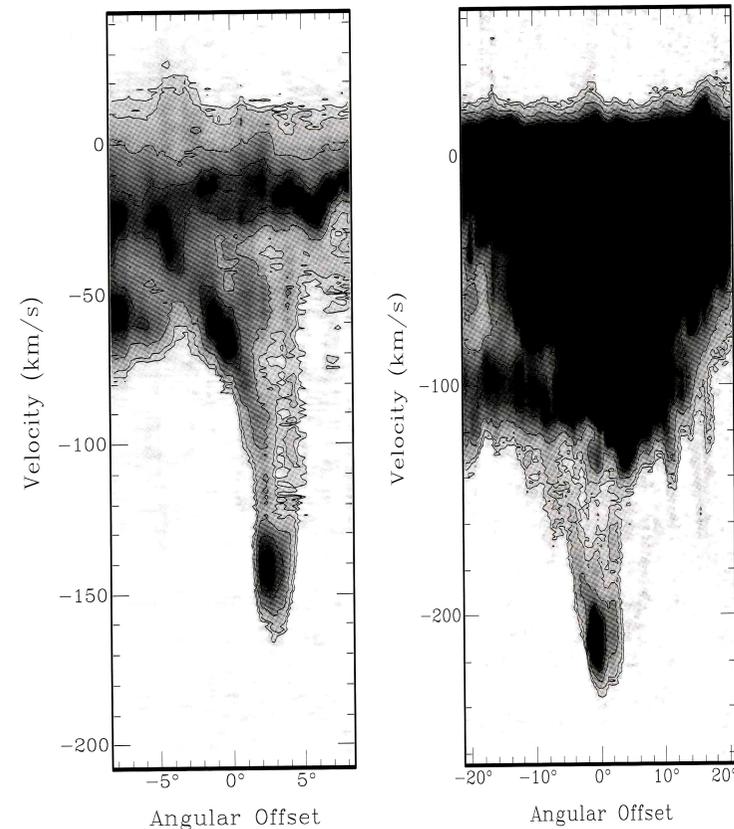
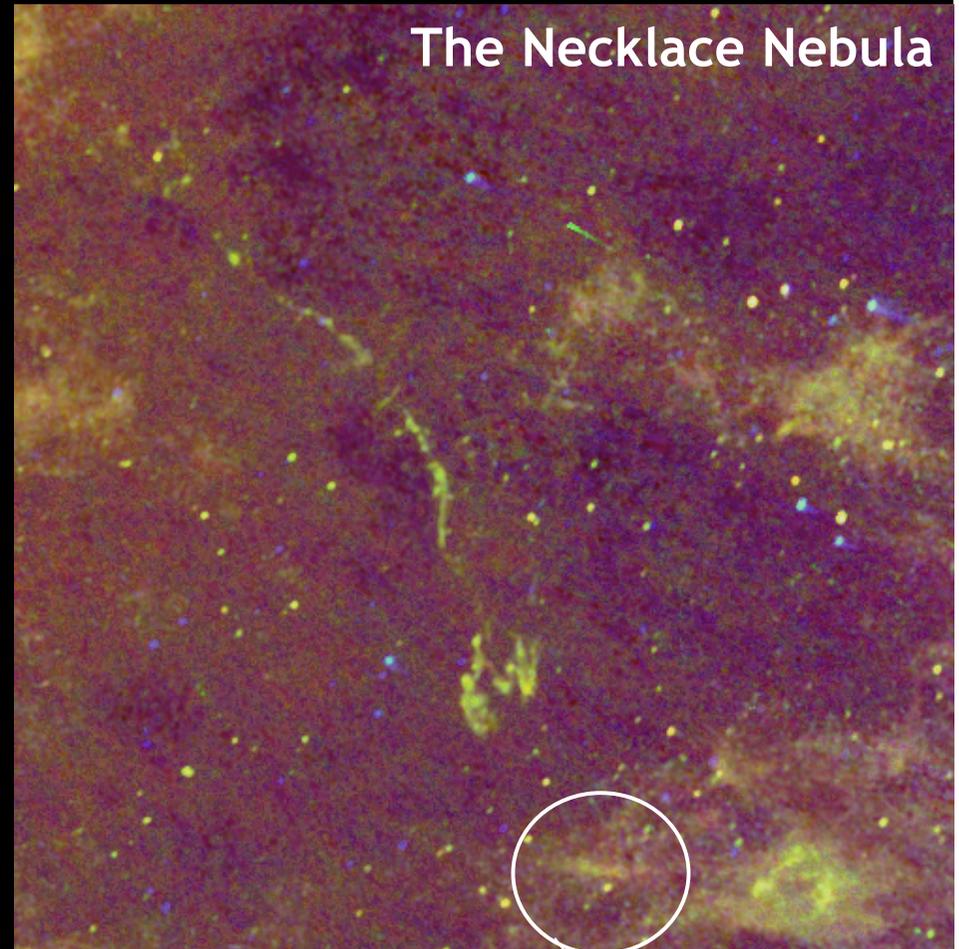
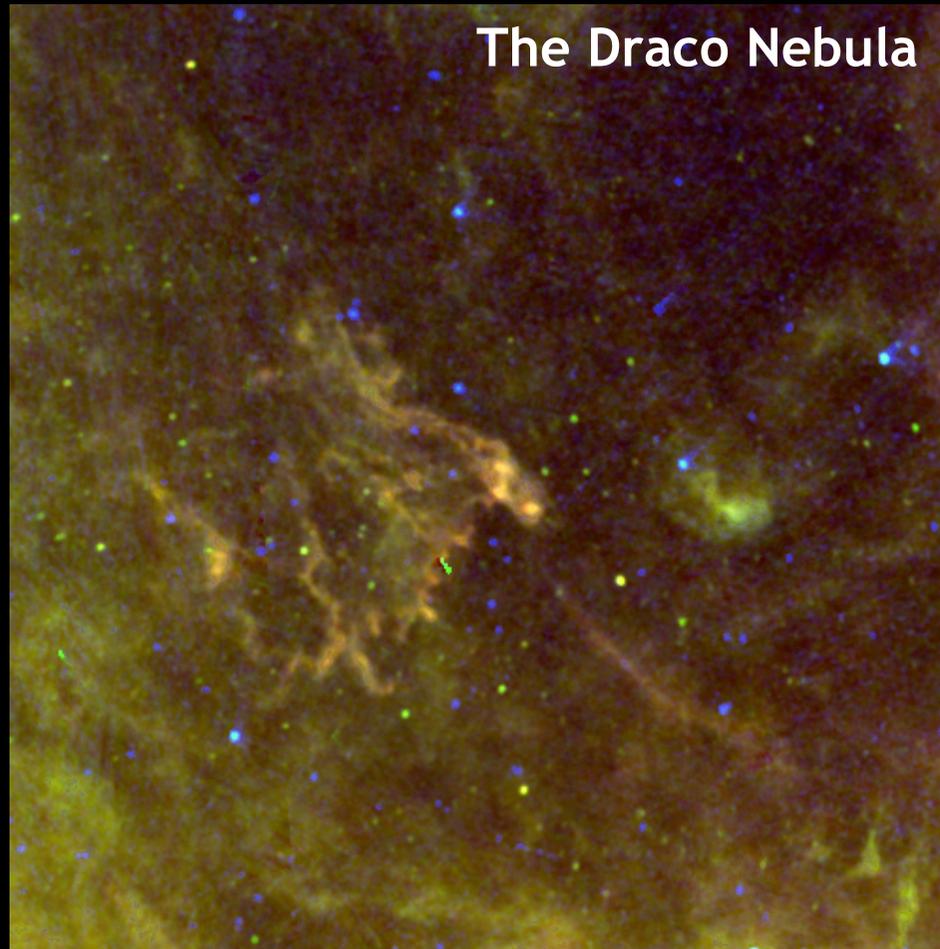


Figure 2. Position-velocity slices from the *LDS*. *Left*: position-velocity slice through HVC 166+56-140 (near complex M). *Right*: slice through HVC 129+4-210 (in complex H). The slices are oriented along the direction of the tail. The contour lines represent for both figures 0.14, 0.21, 0.42, 0.84, 1.68, and 3.36 K. There is a velocity bridge connecting the HVCs with gas at lower velocities. Nevertheless, this does not necessarily imply a physical connection. Figure from Brüns (1998).

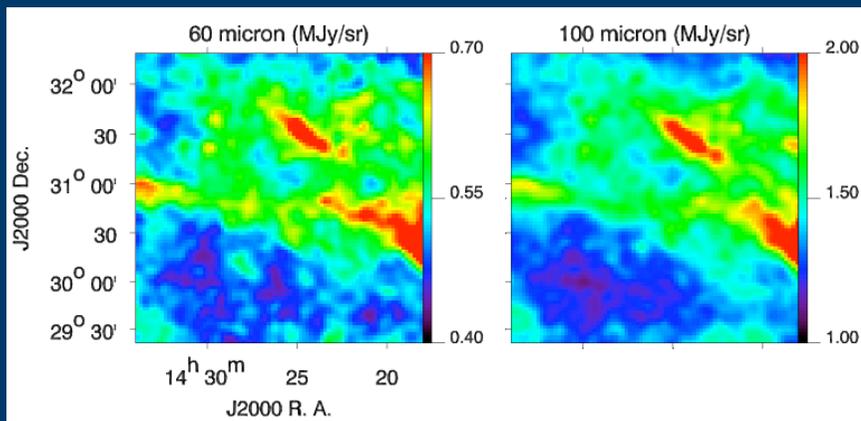
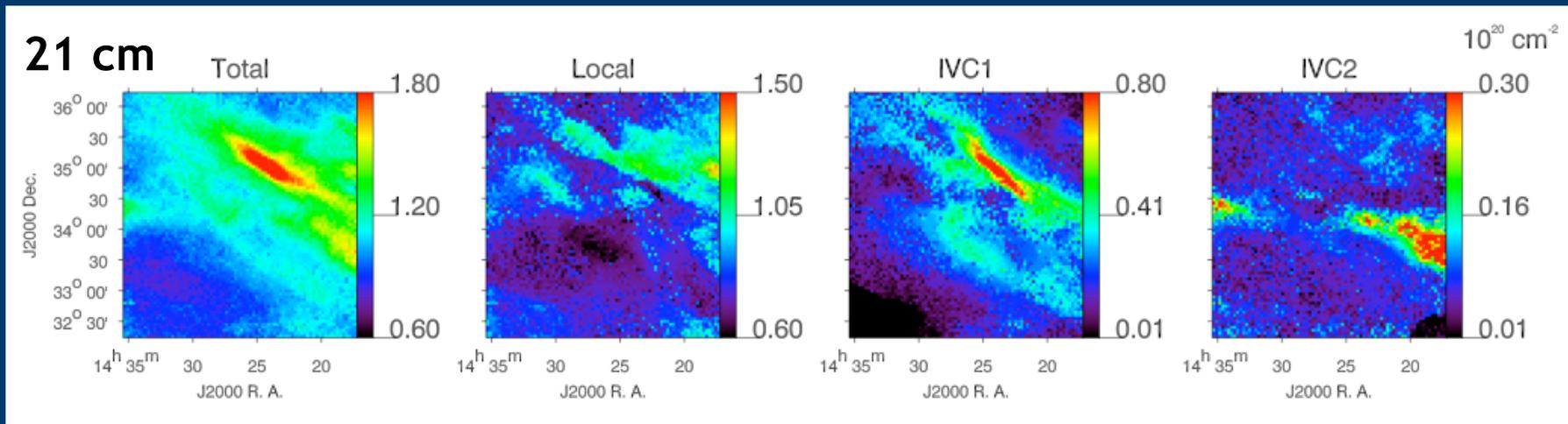
# Existe-t-il de telles structures localement ?



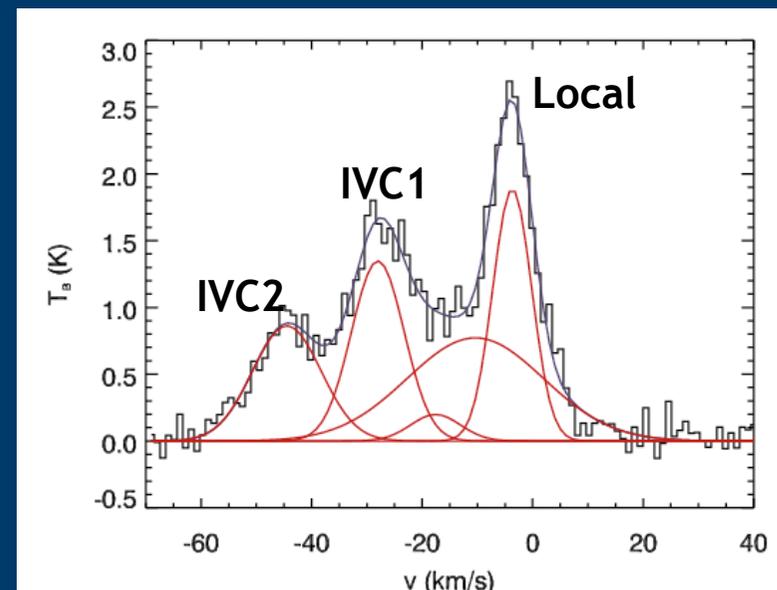
IVC Bouvier

Images IRIS : [www.cita.utoronto.ca/~mamd/IRIS/](http://www.cita.utoronto.ca/~mamd/IRIS/)

# IVC Bouvier : propriétés infrarouge anormales



- Correlation infrared-HI : IVC2 ayant une émissivité infrarouge 3 fois plus élevée que la normale.



# IVC dans le Bouvier : analyse

- Temperature de la poussière plus élevée dans l'IVC
  - Pas d'étoile proche permettant d'expliquer une telle hausse de  $T_{BG}$
  - Augmentation de l'intensité du champ de radiation interstellaire ?
  - En accord avec une distance dans la partie inférieure du halo Galactique
  - Possibilité d'utiliser la poussière comme traceur de distance

|              | Local | IVC1 | IVC2 |
|--------------|-------|------|------|
| $T_{BG}$ (K) | 17.6  | 17.9 | 20.8 |
| $E_{BG}$     | 1.04  | 0.86 | 0.64 |
| $E_{vsg}$    | 0.14  | 0.14 | 0.23 |

- L'abondance des grains (BG et VSG) est en accord avec une modification de la distribution de taille (fragmentation)
- Rapport dust/gaz faible mais pas anormal
  - Probablement d'origine Galactique
  - Fontaine Galactique ou interaction avec un HVC ? ...

# Conclusion : les HVCs

- Une grande fraction des HVCs représente une chute de gaz quasi-primordial sur la Galaxie
  - Faible métallicité et abondance de deutérium primordiale (FUSE)
  - Cet apport de masse est nécessaire pour expliquer le taux de formation d'étoiles, la variation de la métallicité des étoiles et la barre.
- Origine et distance ? : plusieurs réponses à cette question
  - Grands Complexes :  $<10$  kpc, origine incertaine et  $0.1 < Z < 1.0$
  - Magellanic Stream: 50 kpc, interaction avec galaxies proches,  $Z$  LMC
  - Compact HVCs : distance et origine débattues
  - IVCs :  $< 5$  kpc, fontaine Galactique / interaction avec HVCs
  - Des mesures de métallicité et de distance sont essentielles
- Le mystère des HVCs nous révèle notre ignorance relative du halo Galactique et du milieu intergalactique
  - Le modèle de Blitz et al 1999 est tentant mais les observations ne semblent pas le confirmer.
  - Conditions physiques du halo / MIG et processus de formation des structures (photo-ionisation, instabilité thermique)

# Conclusion : poussière dans les HVCs

- La détection de l'émission de la poussière implique qu'il existe des noyaux de gaz moléculaire qui domineraient la masse des HVCs.
- La présence de condensations moléculaires froides est aussi évoquée pour expliquer
  - Les courbes de rotation des galaxies
  - Le taux de formation d'étoile dans M31 où l'infall des HVCs ne représente que 10% de ce qui est nécessaire
    - H<sub>2</sub> caché ou H<sup>+</sup> qui se recombine en permanence ?
- Plusieurs programmes d'observations sont en cours pour étudier les propriétés des HVCs et des IVC, en radio (HI et CO) et dans l'infrarouge
  - Confirmation de la détection de l'émission de la poussière dans un deuxième HVC
  - Variations importantes des propriétés des grains dans les IVCs.
  - Structure en densité de certains IVCs semble refléter la structure très condensée des HVCs.

# Perspective

- L'émission de la poussière des HVC/IVC ouvre une nouvelle perspective
  - Diagnostique des conditions physiques (champ de radiation, masse et/ou métallicité) et de la distance des HVC/IVCs.
  - Traceur des nuages qui sont entrés dans le plan de la galaxie
  - Séparation des IVCs issues de la fontaine Galactique et ceux d'origine extra-galactique
- La poussière sera la principale source de contamination pour l'étude du CMB avec Planck.
  - La découverte de l'émission de la poussière des HVCs ajoute une inconnue supplémentaire mais Planck ouvre une porte intéressante sur l'étude de ces objets.
- Comprendre les HVC et IVC apportera certainement des éléments clés de la formation et de l'évolution des galaxies