

Herschel

500 jours plus tard

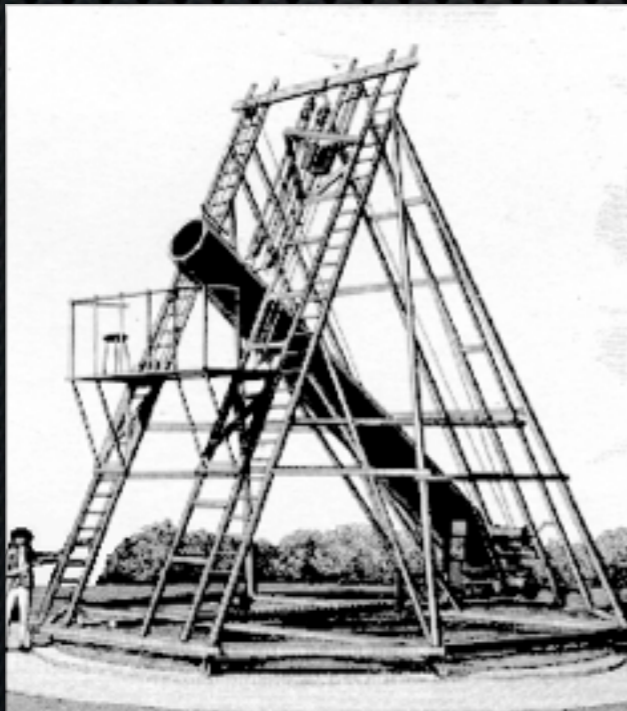


Herschel

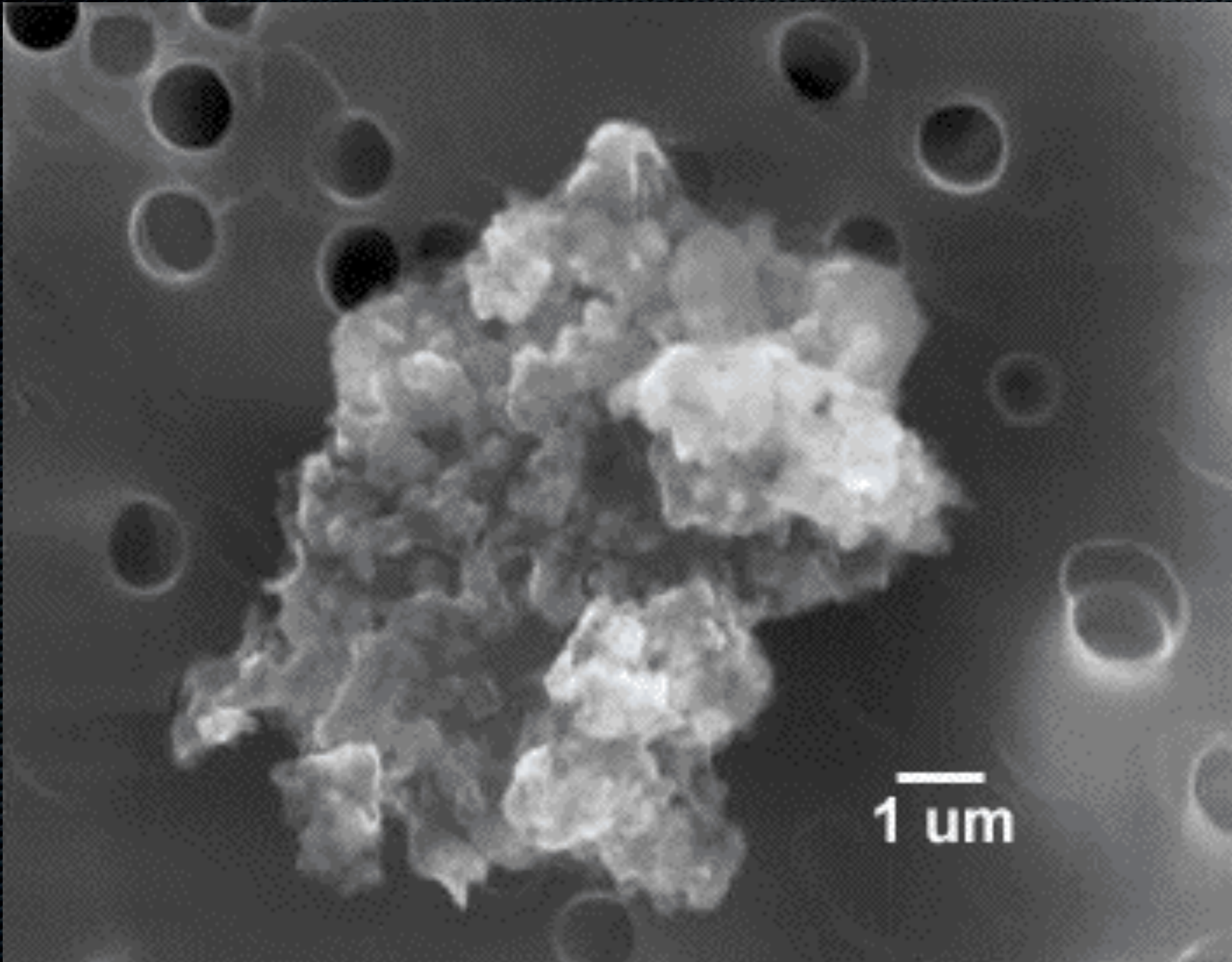
500 jours plus tard

Un peu d'histoire

- William Herschel 1738-1822
 - Découvreur de la planète Uranus.
 - Constructeur en 1789 d'un des plus grands télescopes de l'époque (12m de focale, 1.2m d'ouverture).
 - Découvreur du rayonnement infrarouge (1800).



Les deux faces de la poussière



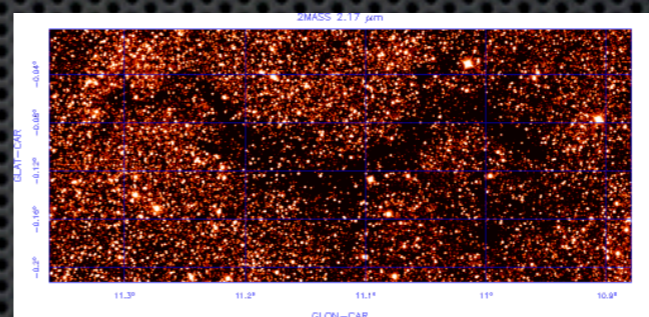
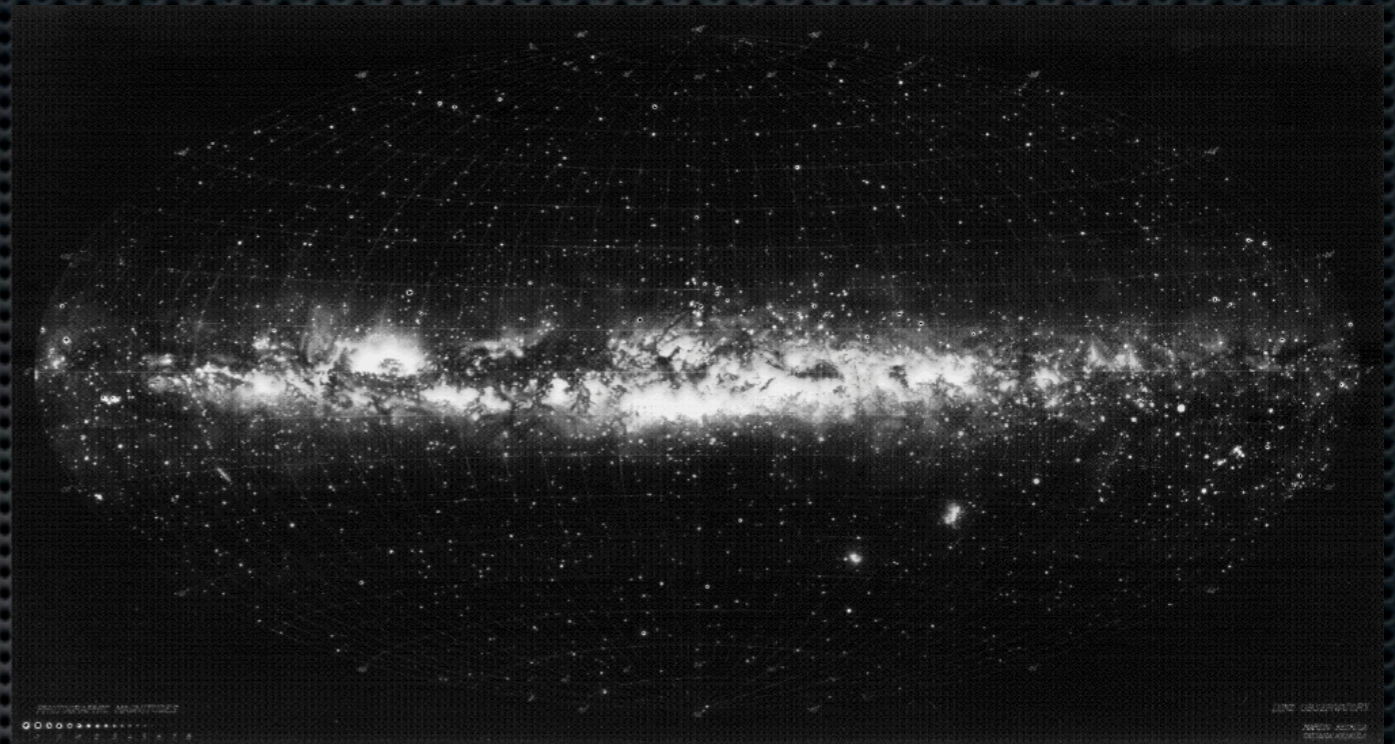
Les deux faces de la poussière

- ✦ Elle fait écran au rayonnement, des étoiles par exemple, et interdit qu'il pénètre ou qu'il sorte des milieux denses
 - ✦ L'émission de la poussière elle-même permet de voir indirectement les sources d'énergies dans ces milieux denses
- ✦ Elle est présente (presque) partout et son émission agit comme un thermomètre du milieu interstellaire
 - ✦ Dans les régions les plus froides, sans étoiles par exemple, elle est souvent le seul traceur disponible

Poussière: H, C, Si, O, <1% de la masse du milieu interstellaire

Les deux faces de la poussière

- ✦ Elle fait écran au rayonnement, des étoiles par exemple, et interdit qu'il pénètre ou qu'il sorte des milieux denses
 - ✦ L'émission de la poussière elle-même permet de voir indirectement les sources d'énergies dans ces milieux denses
- ✦ Elle est présente (presque) partout et son émission agit comme un thermomètre du milieu interstellaire
 - ✦ Dans les régions les plus froides, sans étoiles par exemple, elle est souvent le seul traceur disponible



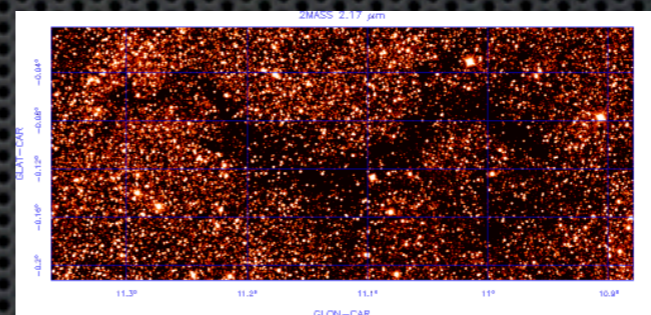
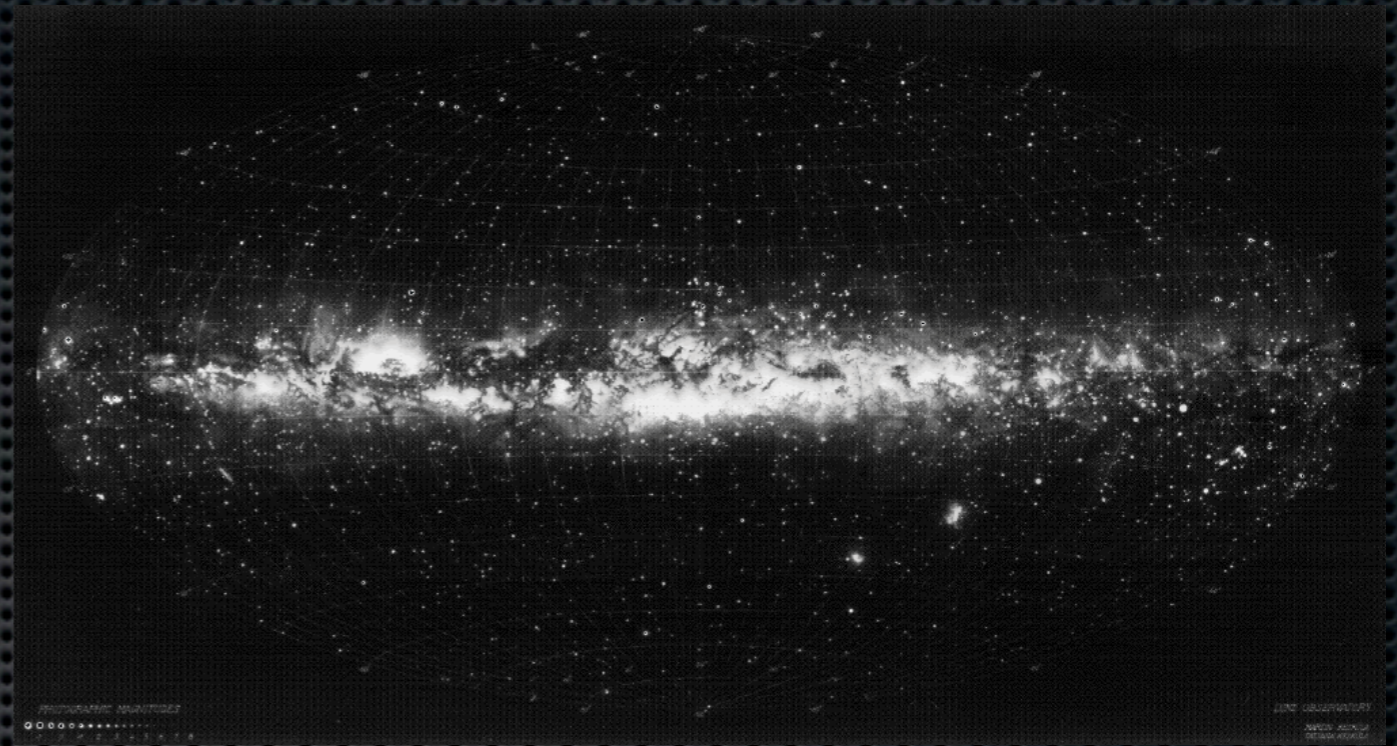
Visible

Poussière: H, C, Si, O, <1% de la masse du milieu interstellaire

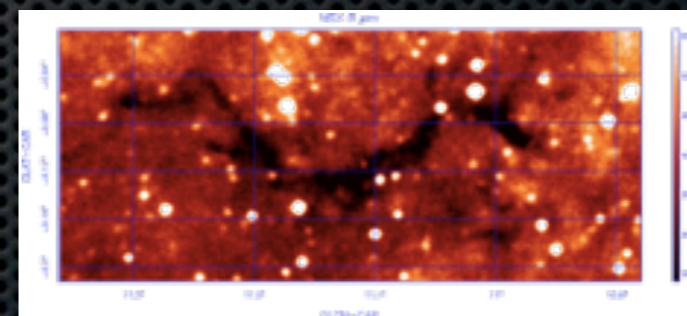
Les deux faces de la poussière

- ✦ Elle fait écran au rayonnement, des étoiles par exemple, et interdit qu'il pénètre ou qu'il sorte des milieux denses
- ✦ L'émission de la poussière elle-même permet de voir indirectement les sources d'énergies dans ces milieux denses
- ✦ Elle est présente (presque) partout et son émission agit comme un thermomètre du milieu interstellaire
- ✦ Dans les régions les plus froides, sans étoiles par exemple, elle est souvent le seul traceur disponible

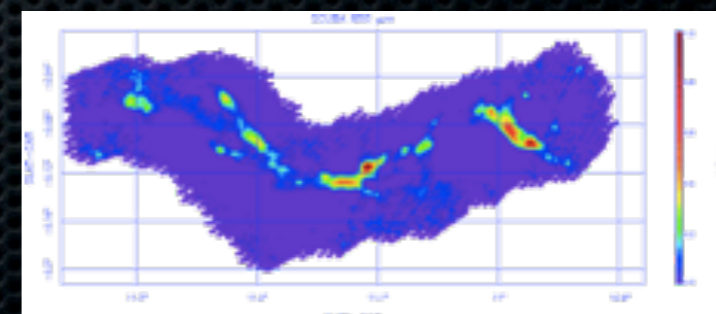
Poussière: H, C, Si, O, <1% de la masse du milieu interstellaire



Visible



Proche IR



IR lointain

L'Observatoire Spatial Herschel



L'Observatoire Spatial Herschel

- Télescope de 3.5m de diamètre, limité par la diffraction à $90 \mu\text{m}$.



L'Observatoire Spatial Herschel

- Télescope de 3.5m de diamètre, limité par la diffraction à $90 \mu\text{m}$.
- En orbite au point L2 du système Terre-Soleil.



L'Observatoire Spatial Herschel

- Télescope de 3.5m de diamètre, limité par la diffraction à $90\ \mu\text{m}$.
- En orbite au point L2 du système Terre-Soleil.
- 3 instruments pour le submillimétrique:
 - HIFI: spectroscopie hétérodyne haute résolution $100\text{-}600\ \mu\text{m}$
 - PACS: Imagerie et spectro-imagerie à l'aide de photoconducteurs et de bolomètres dans la bande $60\text{-}200\ \mu\text{m}$
 - SPIRE: Imagerie et spectro-imagerie à l'aide de bolomètres dans la bande $200\text{-}600\ \mu\text{m}$.



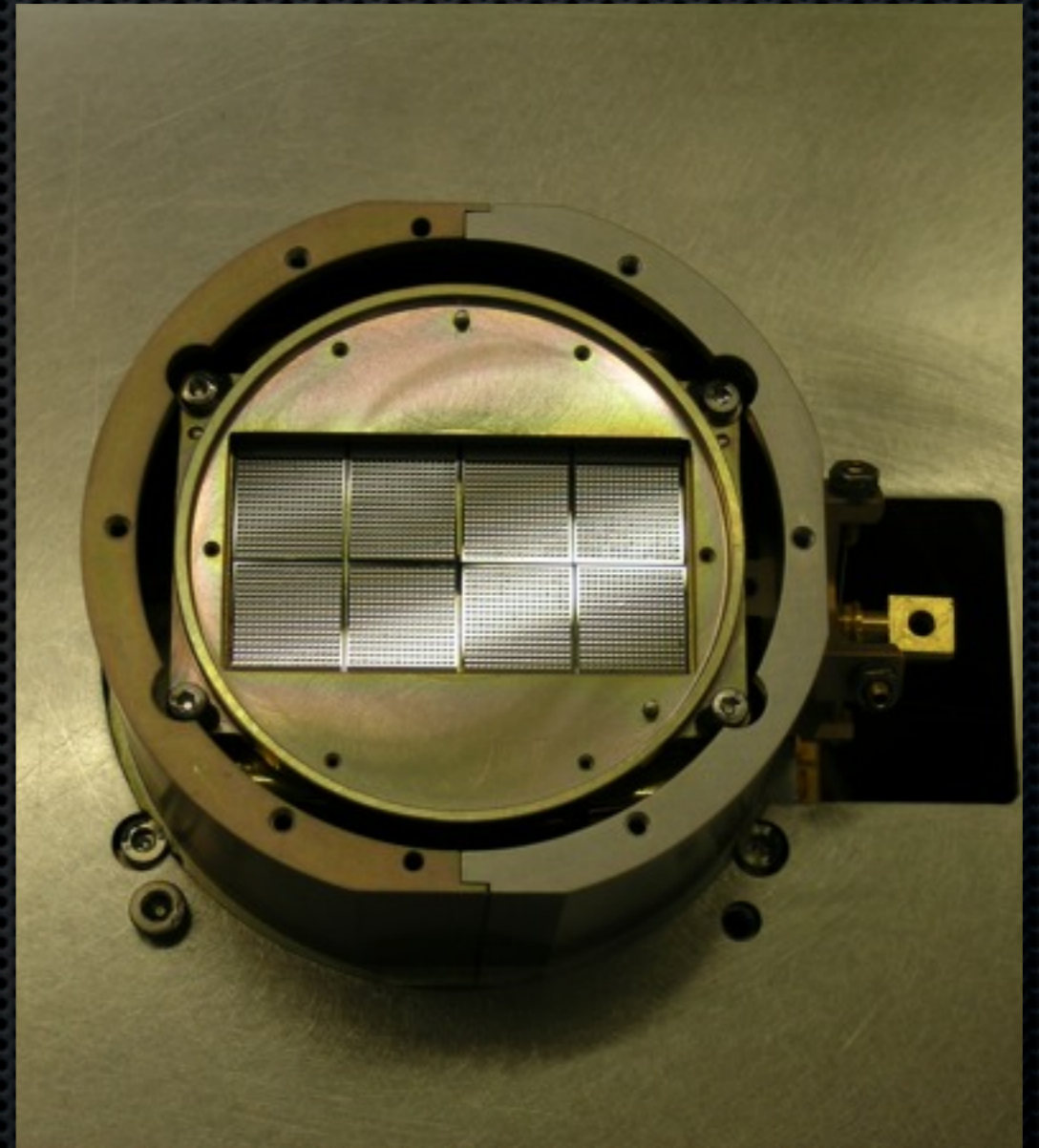
L'Observatoire Spatial Herschel

- Télescope de 3.5m de diamètre, limité par la diffraction à $90 \mu\text{m}$.
- En orbite au point L2 du système Terre-Soleil.
- 3 instruments pour le submillimétrique:
 - HIFI: spectroscopie hétérodyne haute résolution $100\text{-}600 \mu\text{m}$
 - PACS: Imagerie et spectro-imagerie à l'aide de photoconducteurs et de bolomètres dans la bande $60\text{-}200 \mu\text{m}$
 - SPIRE: Imagerie et spectro-imagerie à l'aide de bolomètres dans la bande $200\text{-}600 \mu\text{m}$.
- Durée de vie de 3,5 ans (dont le voyage vers L2).



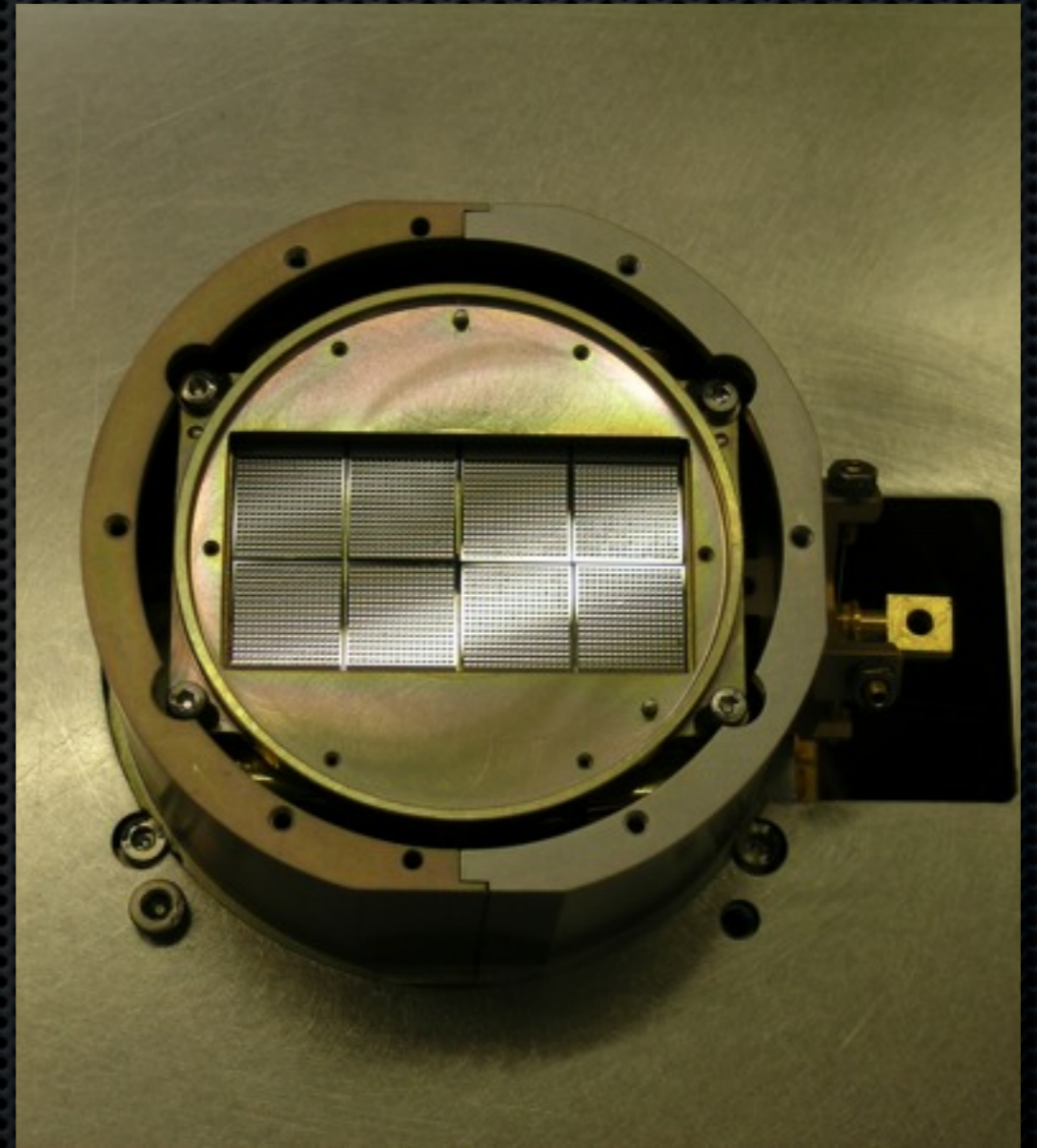
La caméra de PACS

- Le plus grand plan focal fait de bolomètres.
- Le premier instrument à multiplexer des bolomètres.
- le premier instrument submillimétrique à réaliser un échantillonnage complet et instantané du champ de vue.
- Entièrement réalisée au CEA (Irfu, Leti, SBT)



La caméra de PACS

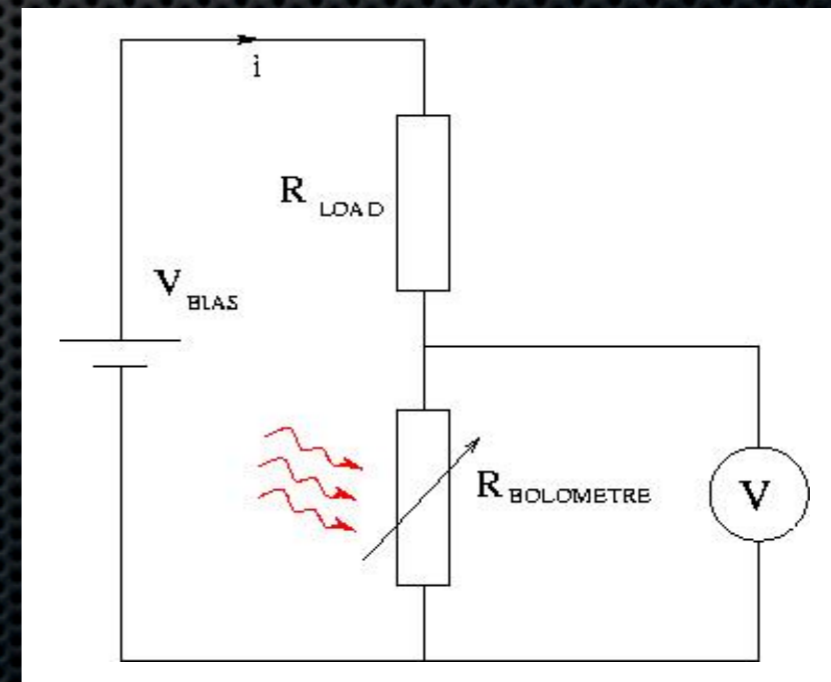
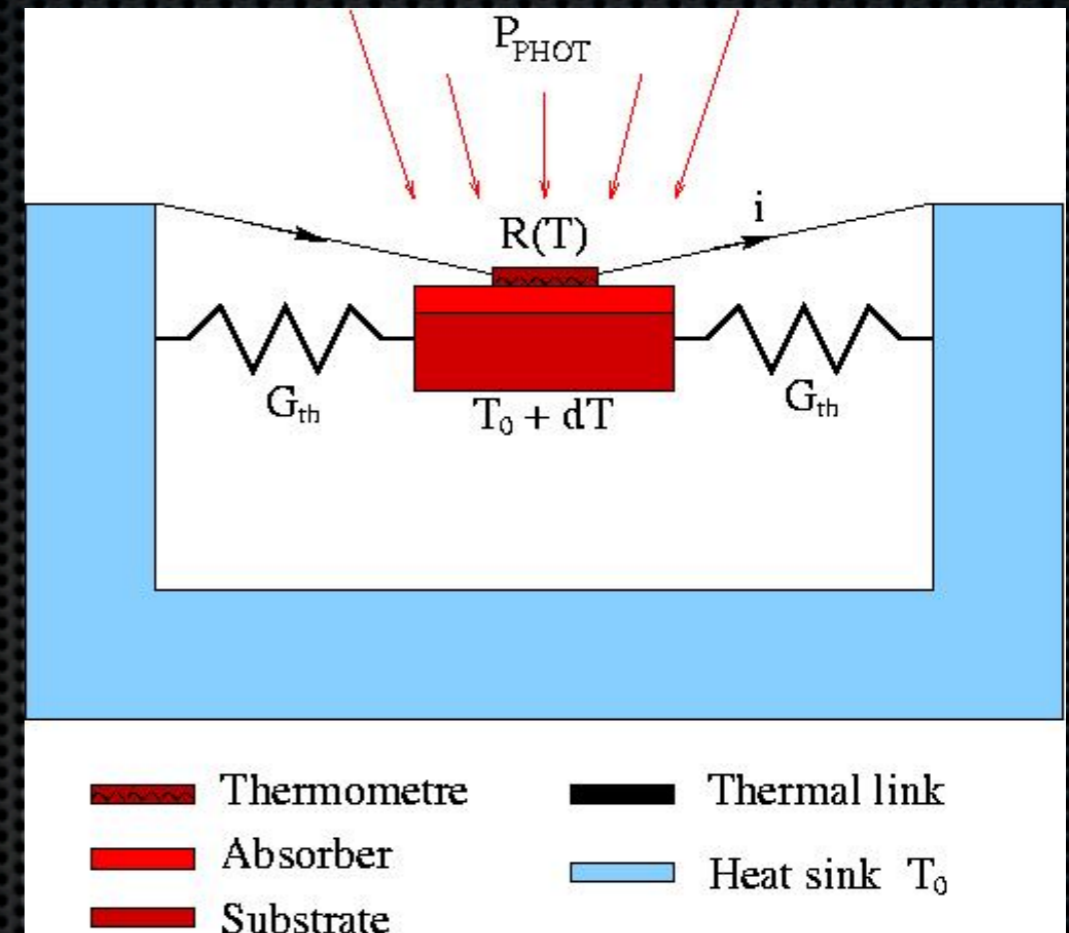
- Le plus grand plan focal fait de bolomètres.
- Le premier instrument à multiplexer des bolomètres.
- le premier instrument submillimétrique à réaliser un échantillonnage complet et instantané du champ de vue.
- Entièrement réalisée au CEA (Irfu, Leti, SBT)



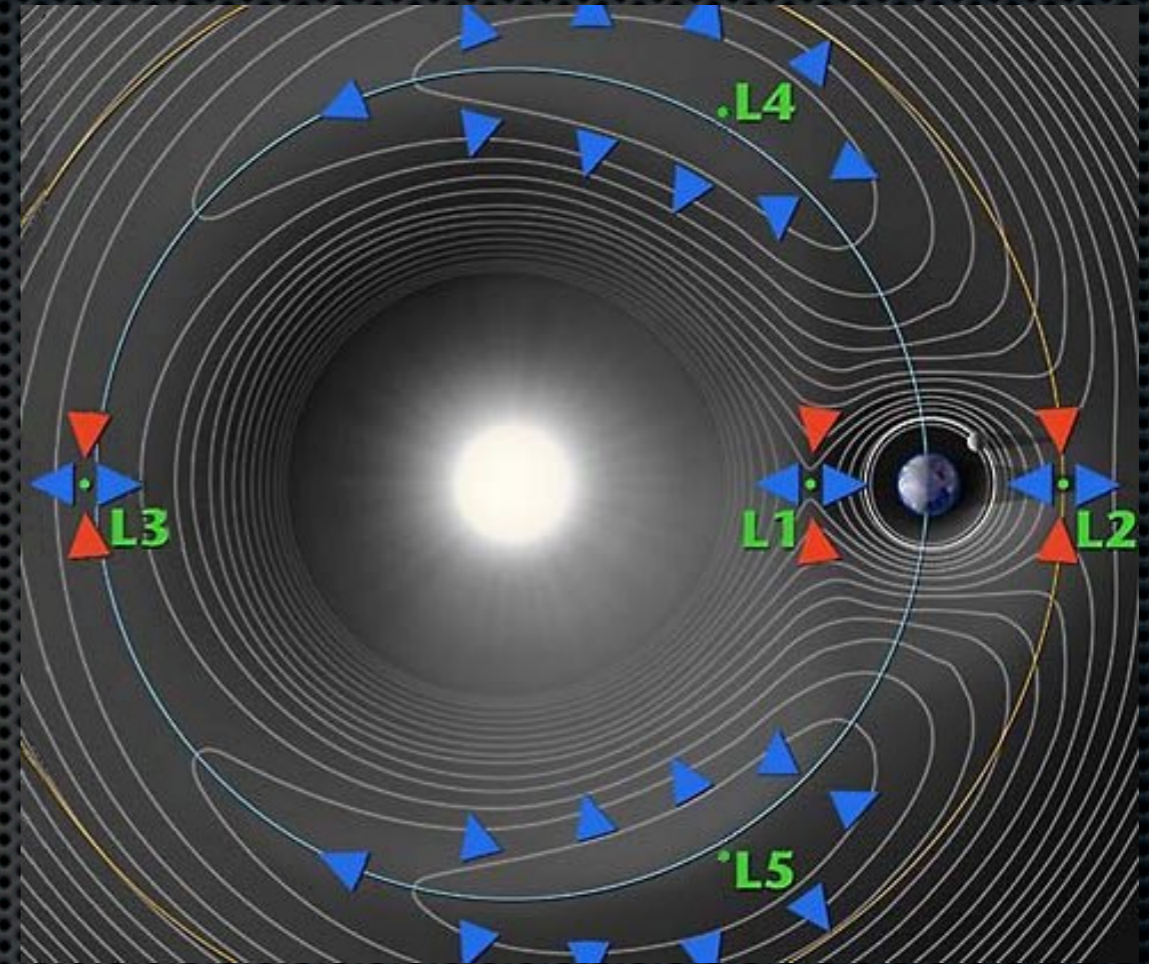
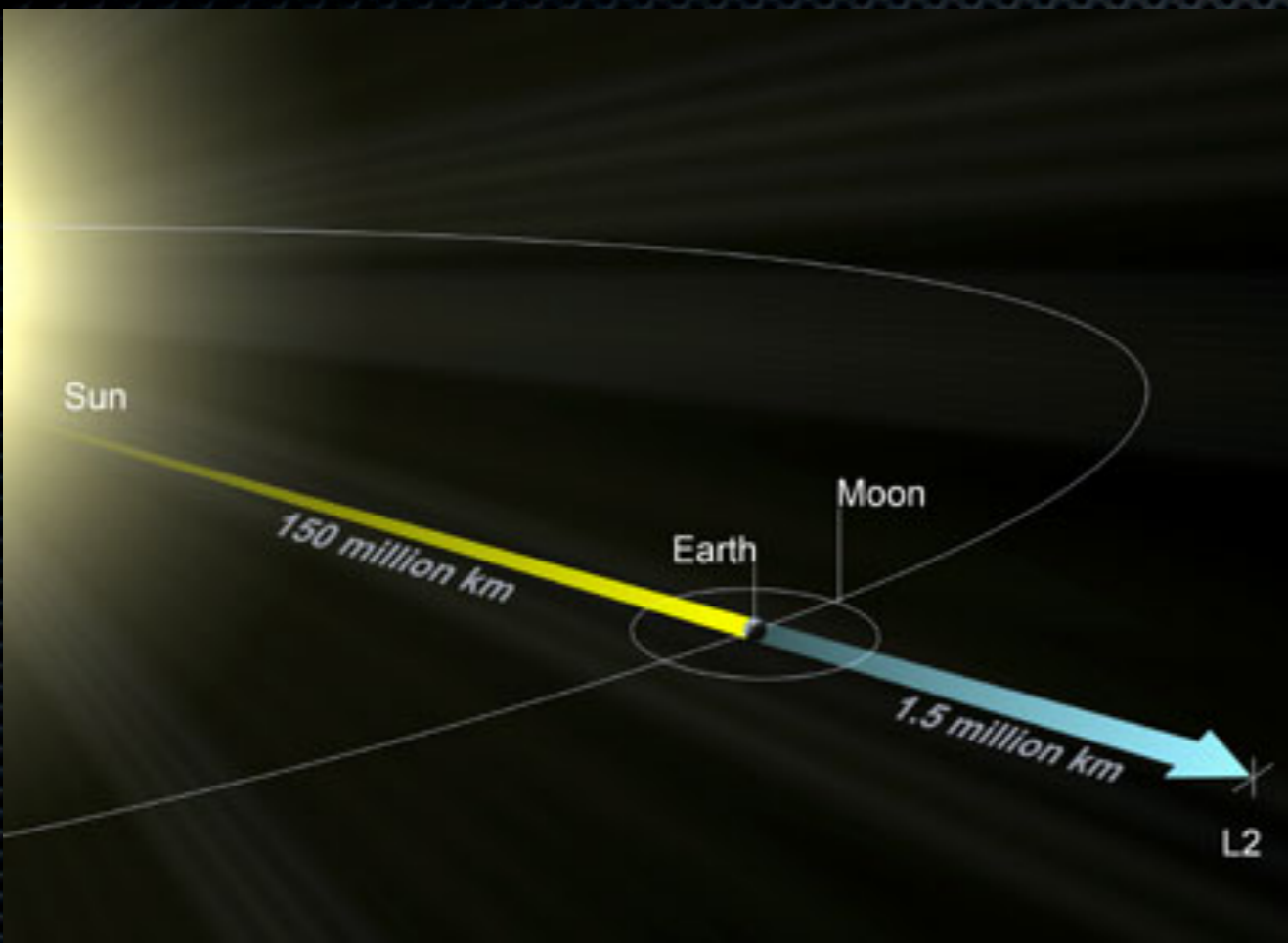
La caméra de PACS est l'instrument le plus demandé d'Herschel: elle est en opération plus de la moitié du temps.

Principe du bolomètre

- Mesurer l'élévation de la température produite par l'absorption du rayonnement.
- Les bolomètres sont des détecteur thermiques combinant:
 - une très faible capacité calorifique du matériau absorbeur
 - Une résistance variable suivant la temperature la plus sensible possible
 - Un systeme de connexion à un bain thermalisé.
- Il s'agit d'un très vieux principe de détection du rayonnement:
 - Première utilisation d'un bolomètre dans un contexte astronomique: 1881
 - Première plaque photographique utilisée pour l'astronomie: 1840
 - Premier CCD: 1975



Pourquoi L2 et où est-ce?



- Pour s'affranchir des perturbations terrestres:
 - Ceintures de radiation
 - Chauffage, alternance jour/nuit, eclipses
- Pour maximiser le refroidissement passif tout en gardant les panneaux solaires idéalement orientés.

Herschel en chiffres

Herschel en chiffres

- 516 jours dans l'espace
 - Fin des opérations prévues en Mars 2013...

Herschel en chiffres

- ✦ 516 jours dans l'espace
 - ✦ Fin des opérations prévues en Mars 2013...
- ✦ Plus de 400 participants à la conférence du mois de Mai

Herschel en chiffres

- 516 jours dans l'espace
 - Fin des opérations prévues en Mars 2013...
- Plus de 400 participants à la conférence du mois de Mai
- 150 articles dans le numéro spécial d'Astronomy & Astrophysics

Herschel en chiffres

- 516 jours dans l'espace
 - Fin des opérations prévues en Mars 2013...
- Plus de 400 participants à la conférence du mois de Mai
- 150 articles dans le numéro spécial d'Astronomy & Astrophysics
- Des heures de données publiques dans l'archive Herschel
 - accessible via <http://herschel.esac.esa.int/>
 - Toute observation devient publique 1 an après sa réalisation. Tous les logiciels de traitement de données sont en open source.

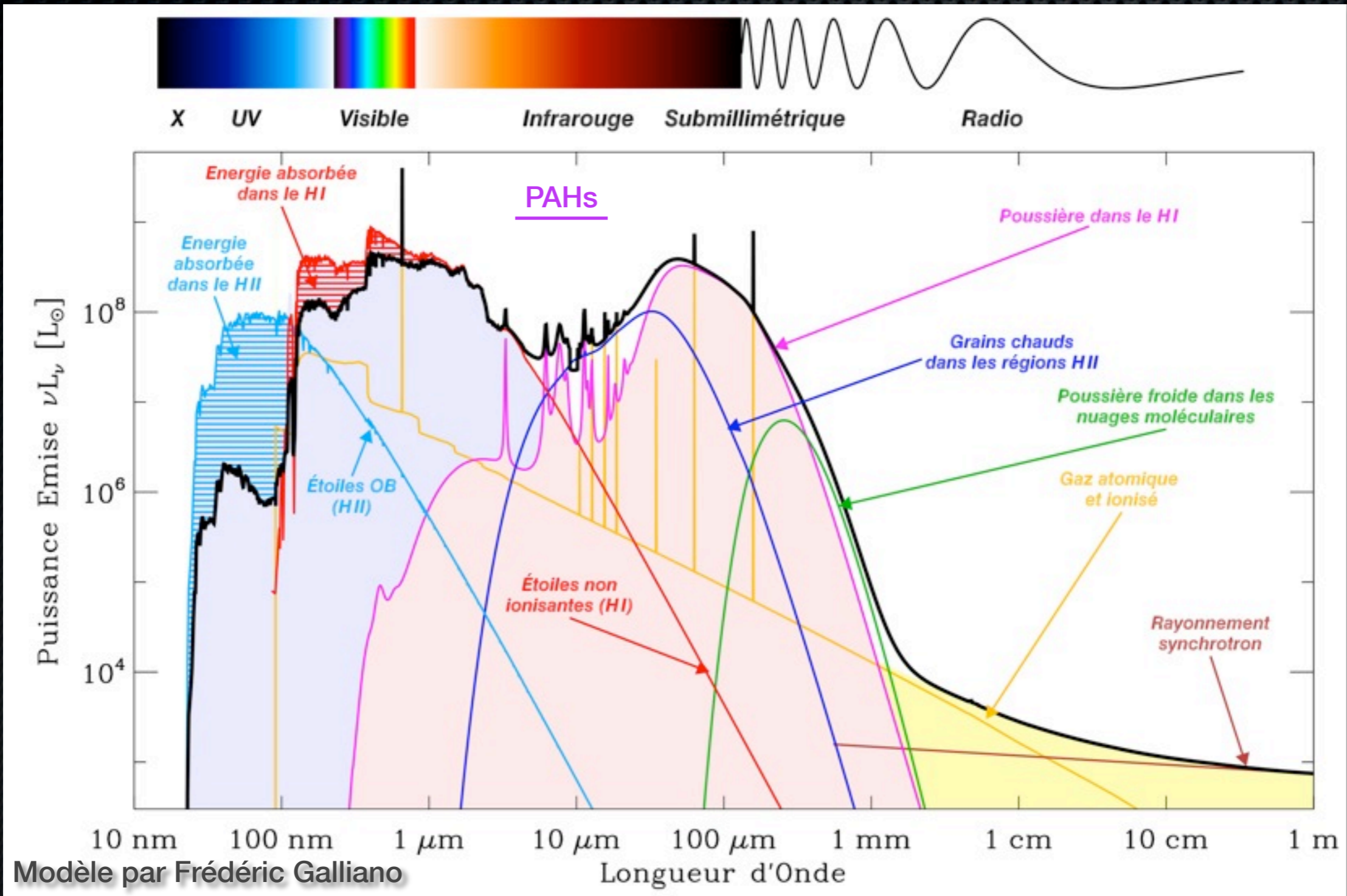
Programmes scientifiques

- ✦ Grands relevés cosmologiques
- ✦ *Physique des galaxies proches*
- ✦ Relevés de formation stellaire Galactique

Grands relevés cosmologiques

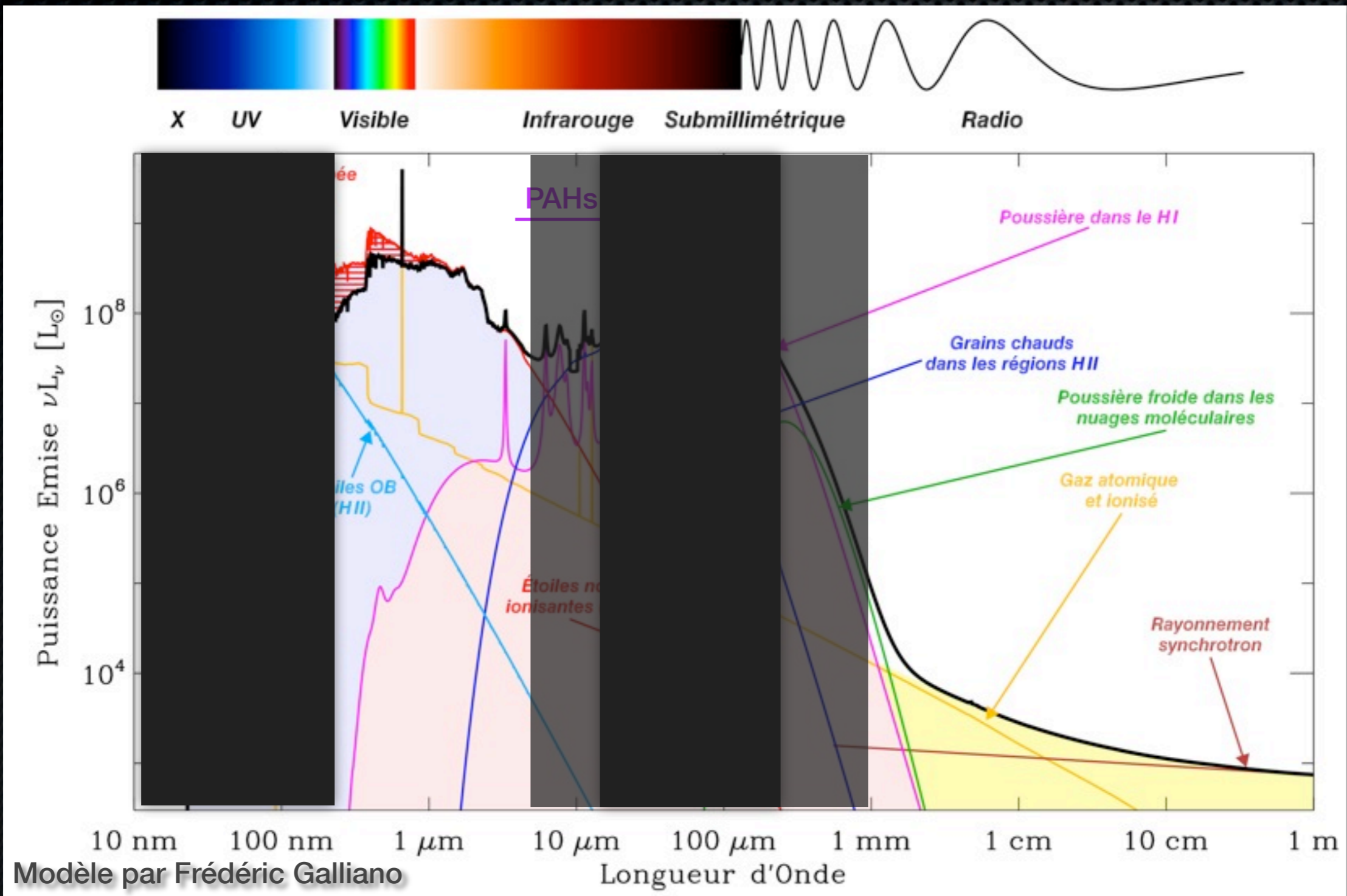
- ✦ Reconstituer l'histoire de la formation des galaxies en mesurant et en comprenant l'évolution du taux de formation stellaire au cours des âges de l'Univers.
 - ✦ Méthode: résoudre le fond diffus extragalactique.
 - ✦ Outils: «modèles» de galaxies, traceurs de formation stellaire, diagnostics physiques, modèles d'Univers.
- ✦ L'histoire de la formation des galaxies est le pendant visible de l'histoire de la formation des structures dans l'Univers, dominée par la matière noire et l'énergie noire.
 - ✦ Synergie Planck-Herschel

Distribution spectrale d'énergie d'une galaxie



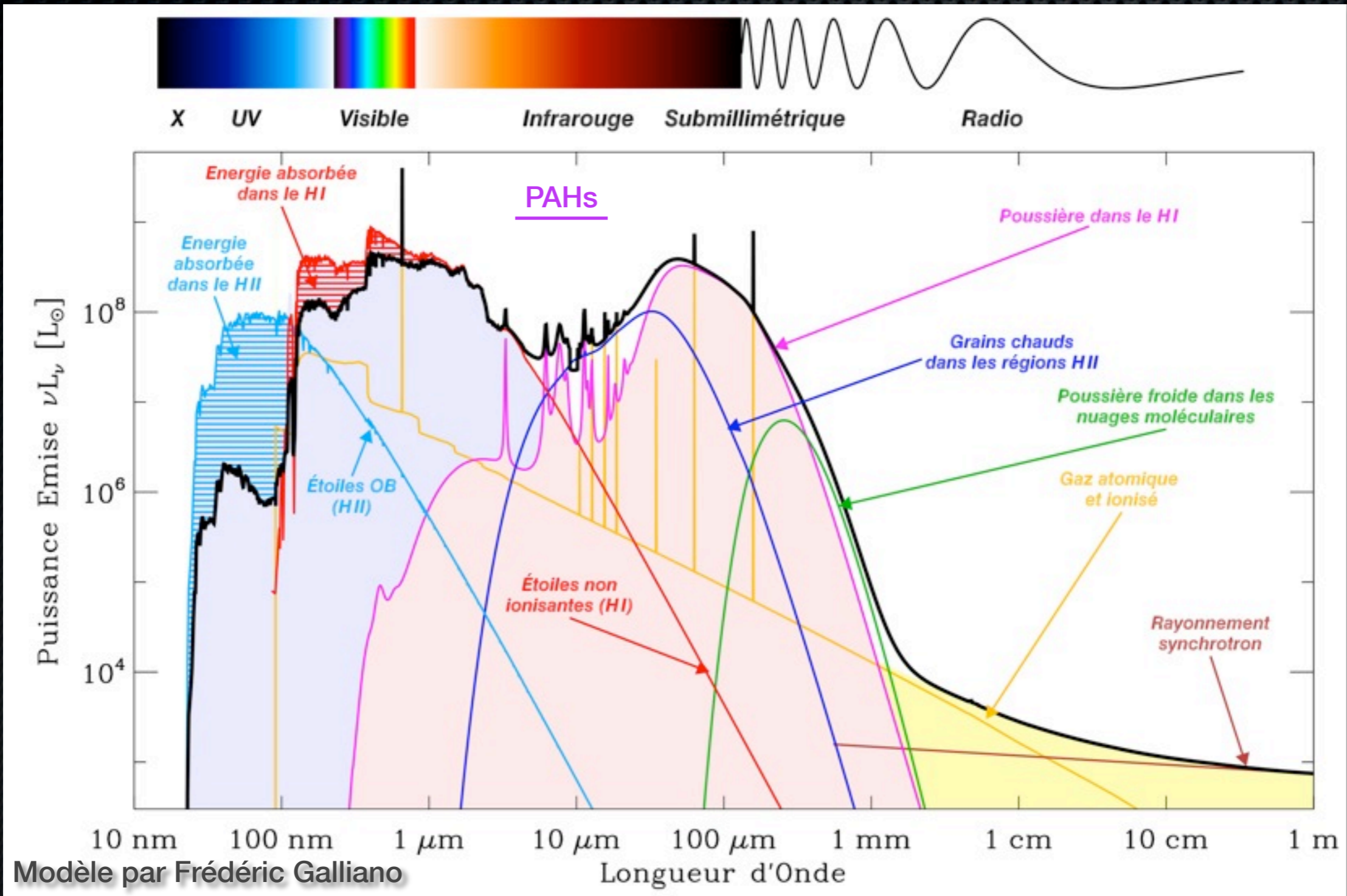
L'émission thermique de la poussière est liée à de nombreuses phases du milieu interstellaire, ainsi qu'à de nombreux types de populations stellaires.

Distribution spectrale d'énergie d'une galaxie



L'émission thermique de la poussière est liée à de nombreuses phases du milieu interstellaire, ainsi qu'à de nombreux types de populations stellaires.

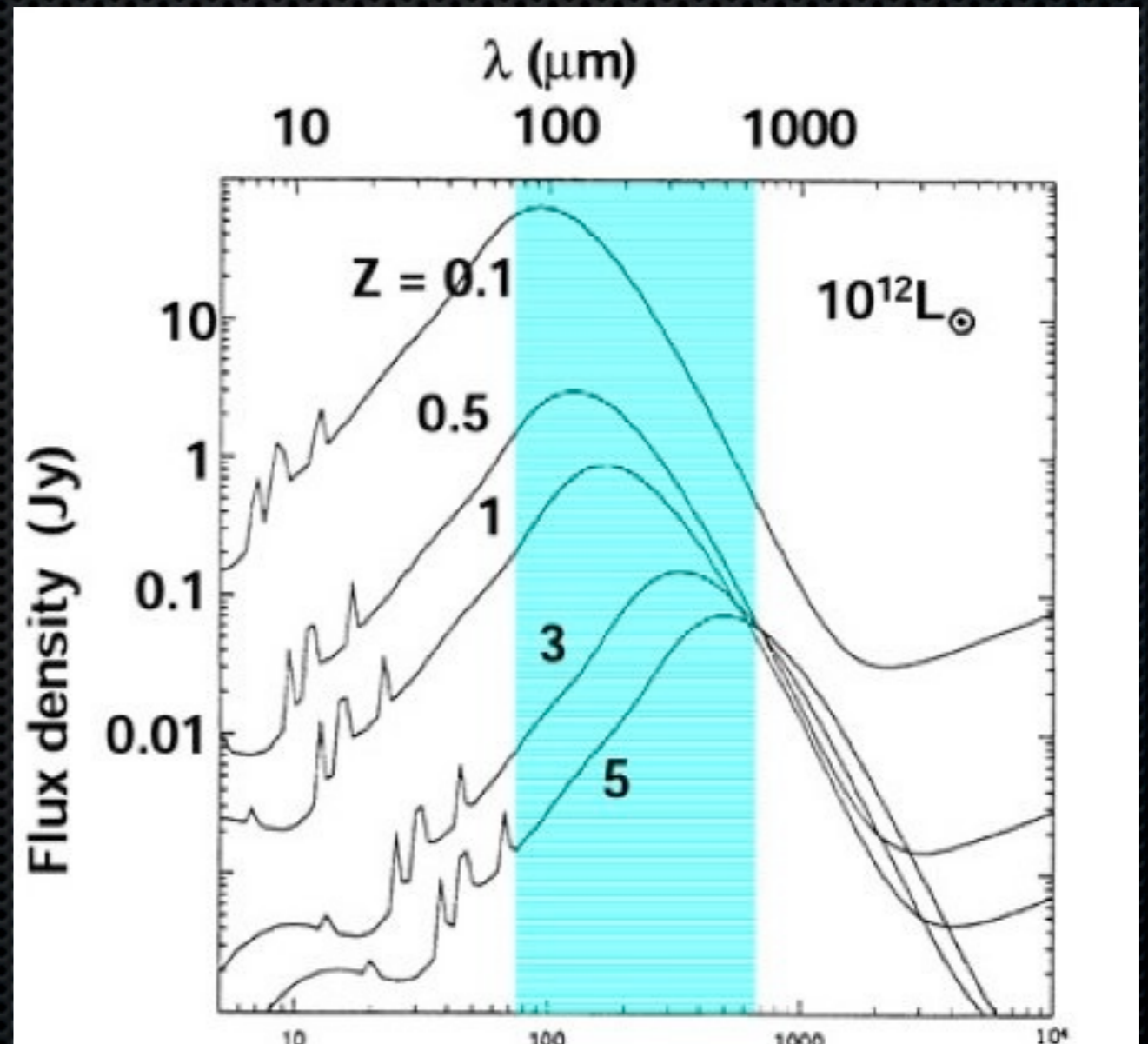
Distribution spectrale d'énergie d'une galaxie



L'émission thermique de la poussière est liée à de nombreuses phases du milieu interstellaire, ainsi qu'à de nombreux types de populations stellaires.

Décalage spectral et correction-k

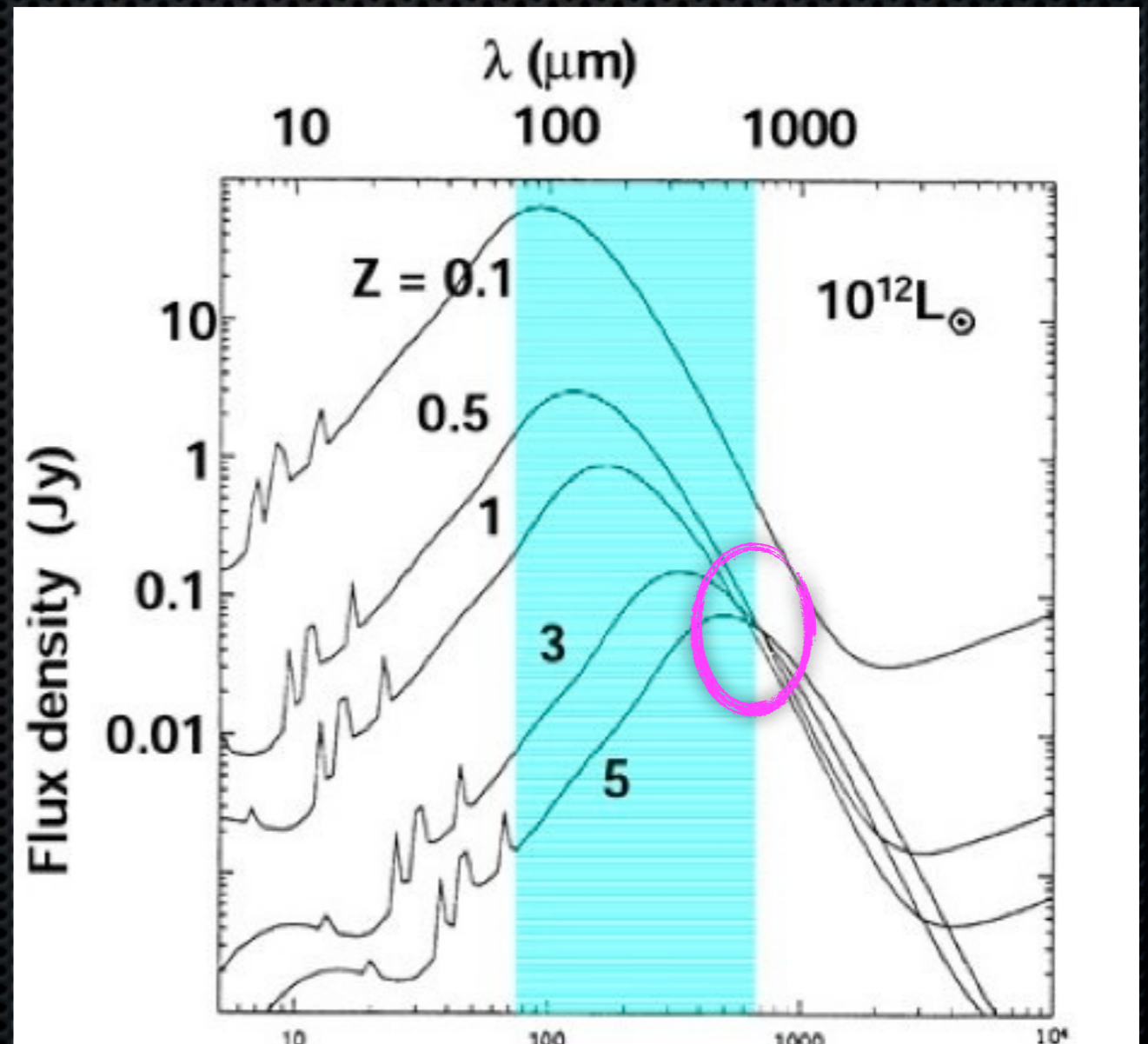
- Plus une galaxie est éloignée, plus sa brillance (puissance reçue) est faible.
- Plus une galaxie est éloignée, plus son spectre est décalé vers le rouge (expansion de l'Univers).
- Dans le domaine Herschel, les deux effets peuvent se compenser.



$z=1$ âge=6 Gyr, $z=3$ âge=2 Gyr, $z=5$ âge=1 Gyr

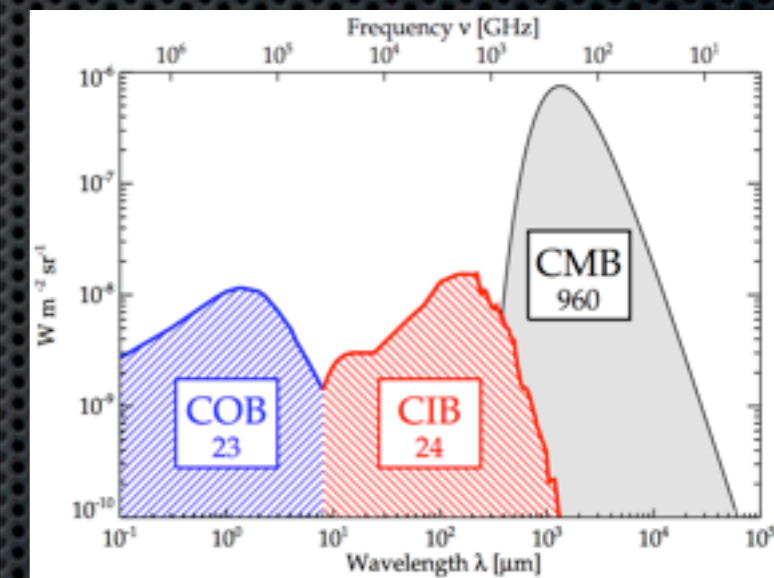
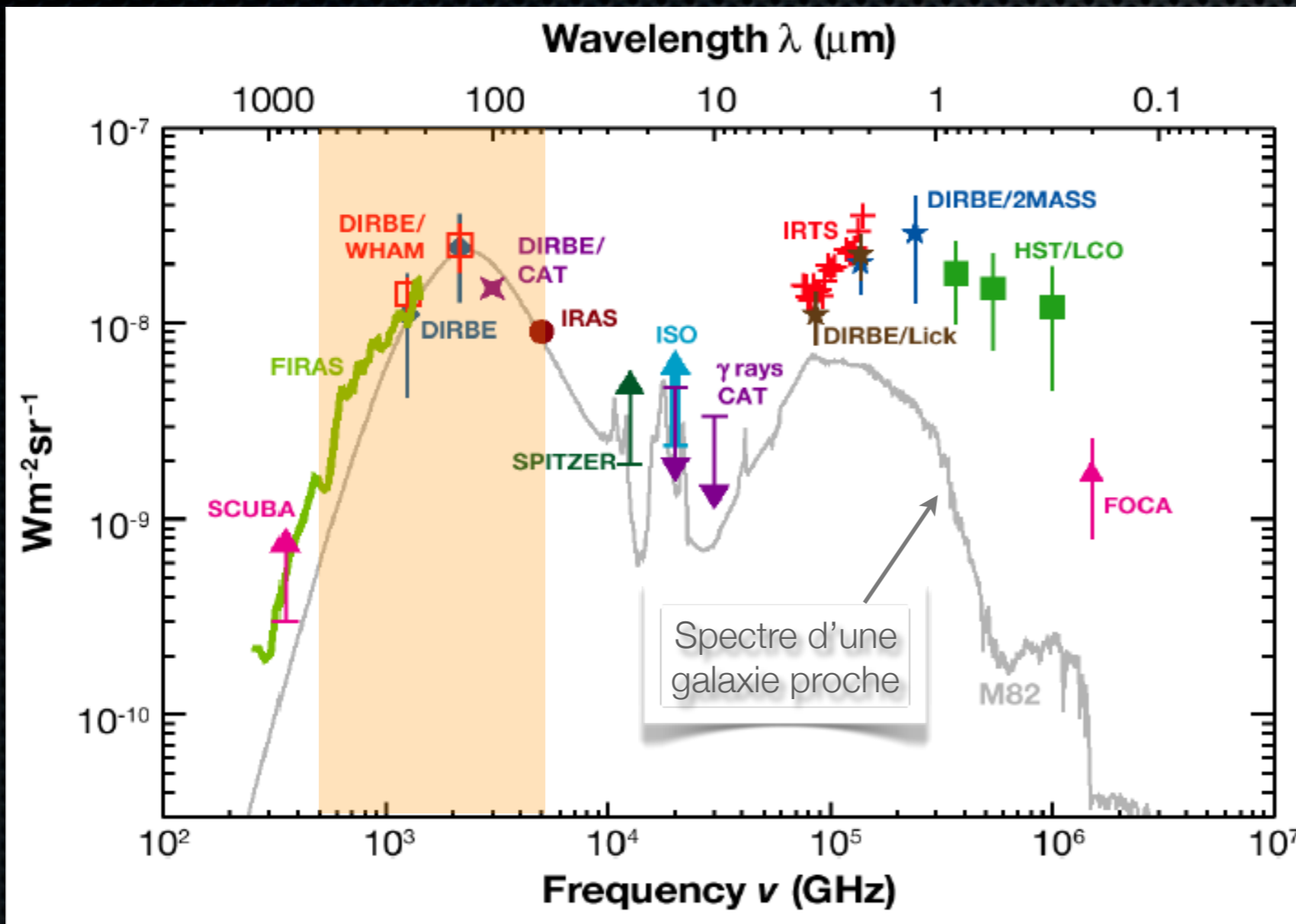
Décalage spectral et correction-k

- Plus une galaxie est éloignée, plus sa brillance (puissance reçue) est faible.
- Plus une galaxie est éloignée, plus son spectre est décalé vers le rouge (expansion de l'Univers).
- Dans le domaine Herschel, les deux effets peuvent se compenser.



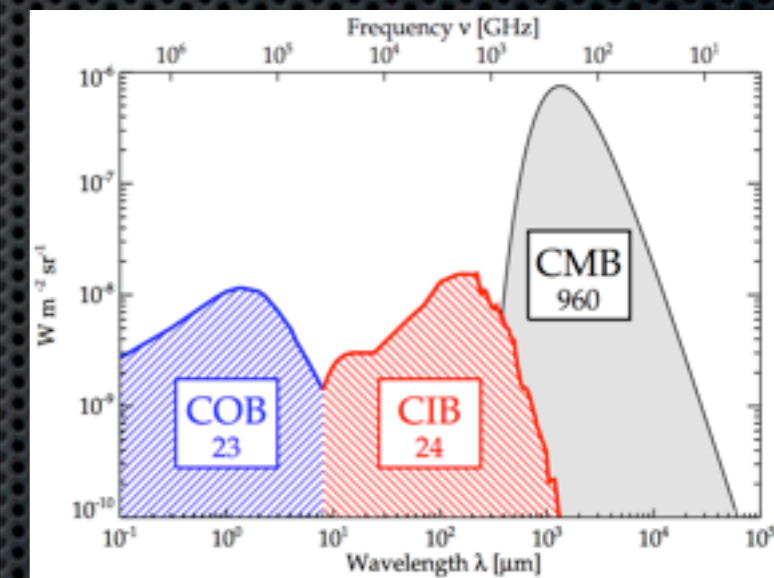
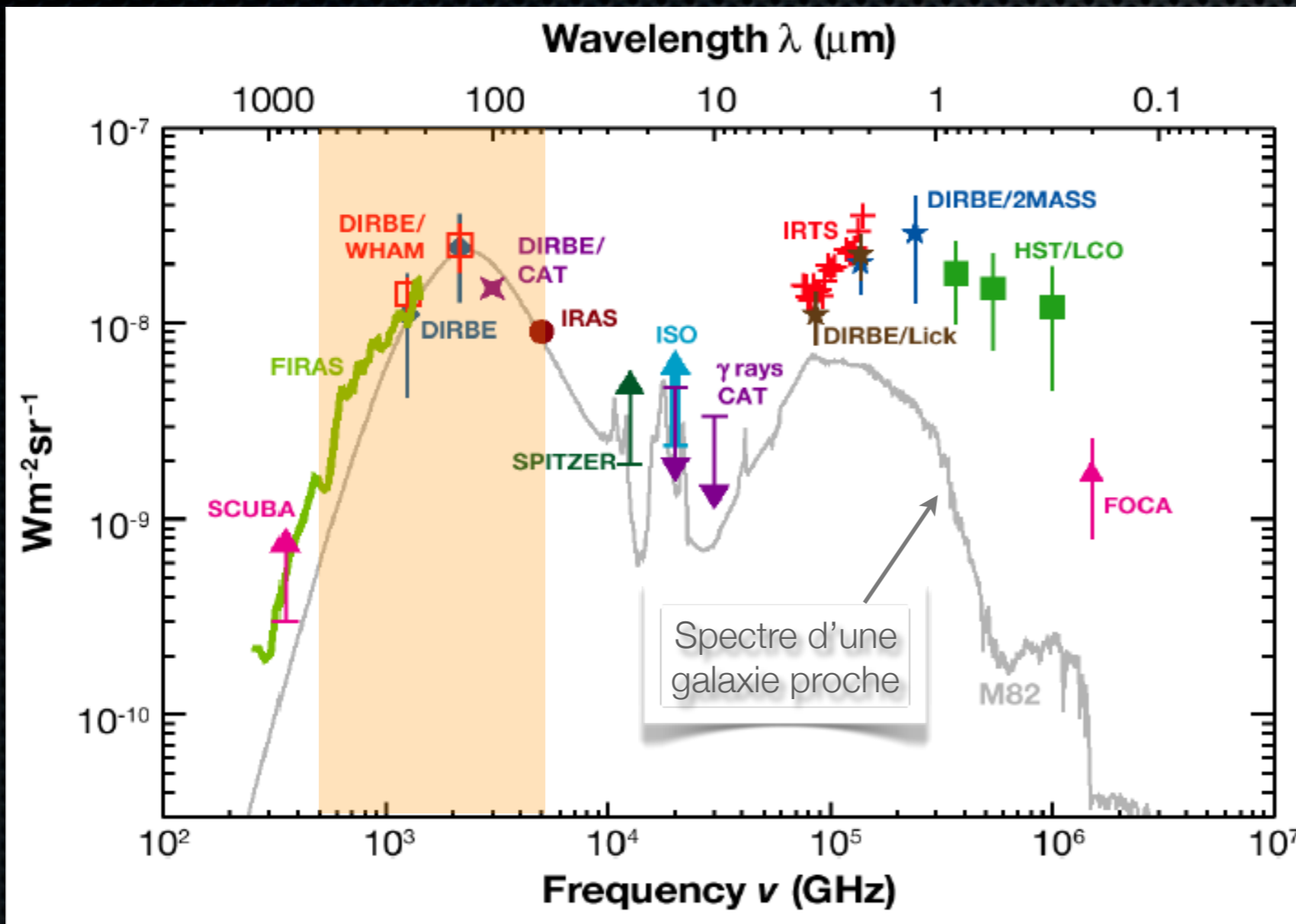
$z=1$ âge=6 Gyr, $z=3$ âge=2 Gyr, $z=5$ âge=1 Gyr

Résoudre le fond diffus extra-Galactique



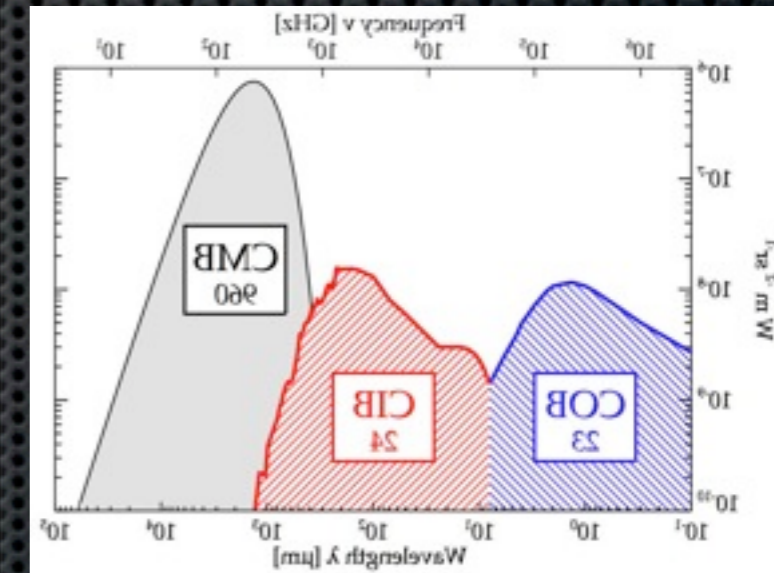
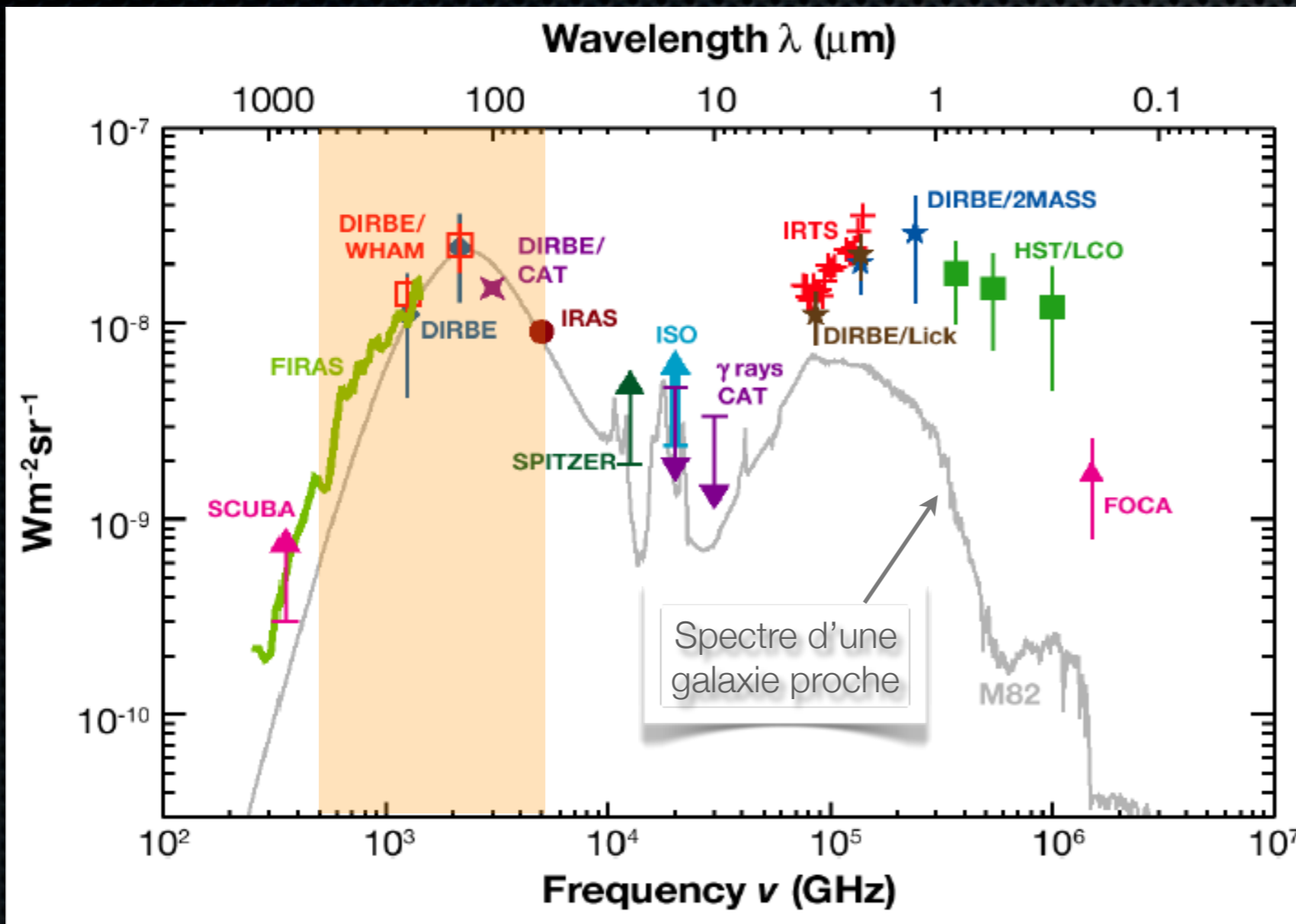
- ✦ Il s'agit de l'émission de toutes les galaxies qui peuplent l'Univers, de ses débuts à aujourd'hui.
 - ✦ cf. Paradoxe d'Olbers (comment peut-il faire nuit dans un univers infini?)
- ✦ Il ne s'agit pas du fond cosmologique à 2.7 K

Résoudre le fond diffus extra-Galactique



- ✦ Il s'agit de l'émission de toutes les galaxies qui peuplent l'Univers, de ses débuts à aujourd'hui.
 - ✦ cf. Paradoxe d'Olbers (comment peut-il faire nuit dans un univers infini?)
- ✦ Il ne s'agit pas du fond cosmologique à 2.7 K

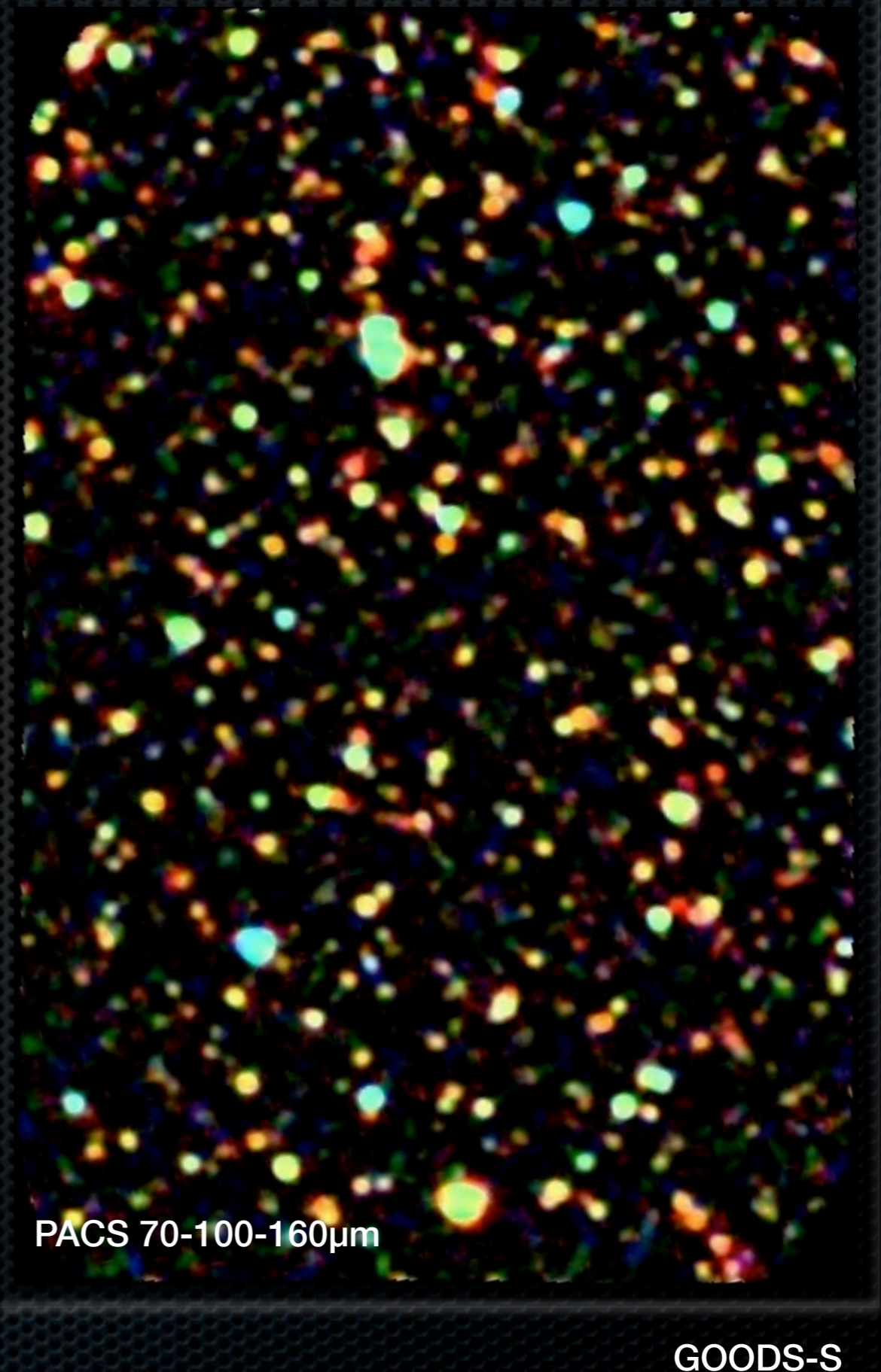
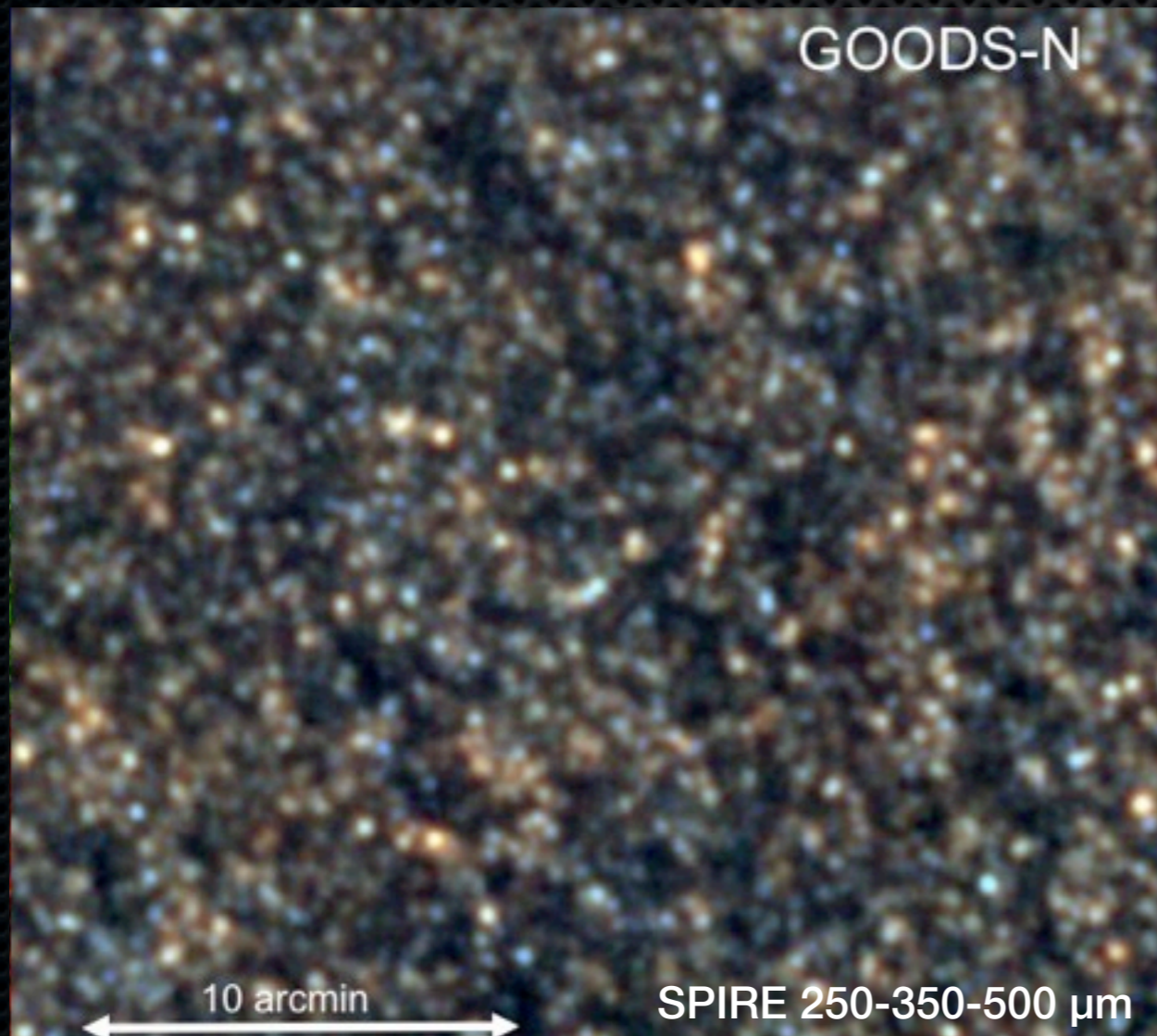
Résoudre le fond diffus extra-Galactique



- ✦ Il s'agit de l'émission de toutes les galaxies qui peuplent l'Univers, de ses débuts à aujourd'hui.
 - ✦ cf. Paradoxe d'Olbers (comment peut-il faire nuit dans un univers infini?)
- ✦ Il ne s'agit pas du fond cosmologique à 2.7 K

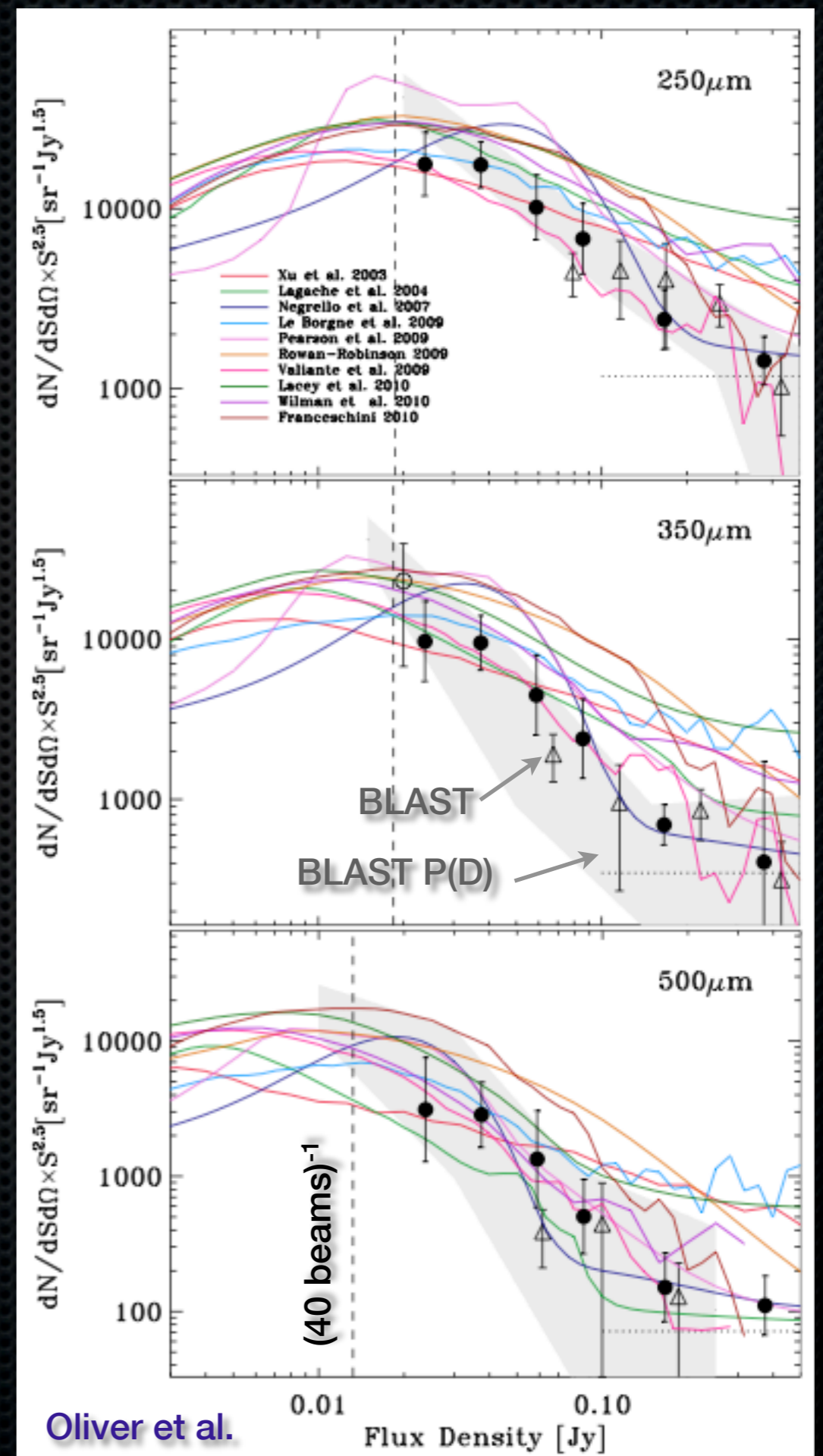
La confusion est atteinte

- Les cartes SPIRE sont entièrement dominées par la confusion.
- A plus courte longueur d'onde, seuls les relevés à 160 μm ont atteint la confusion.



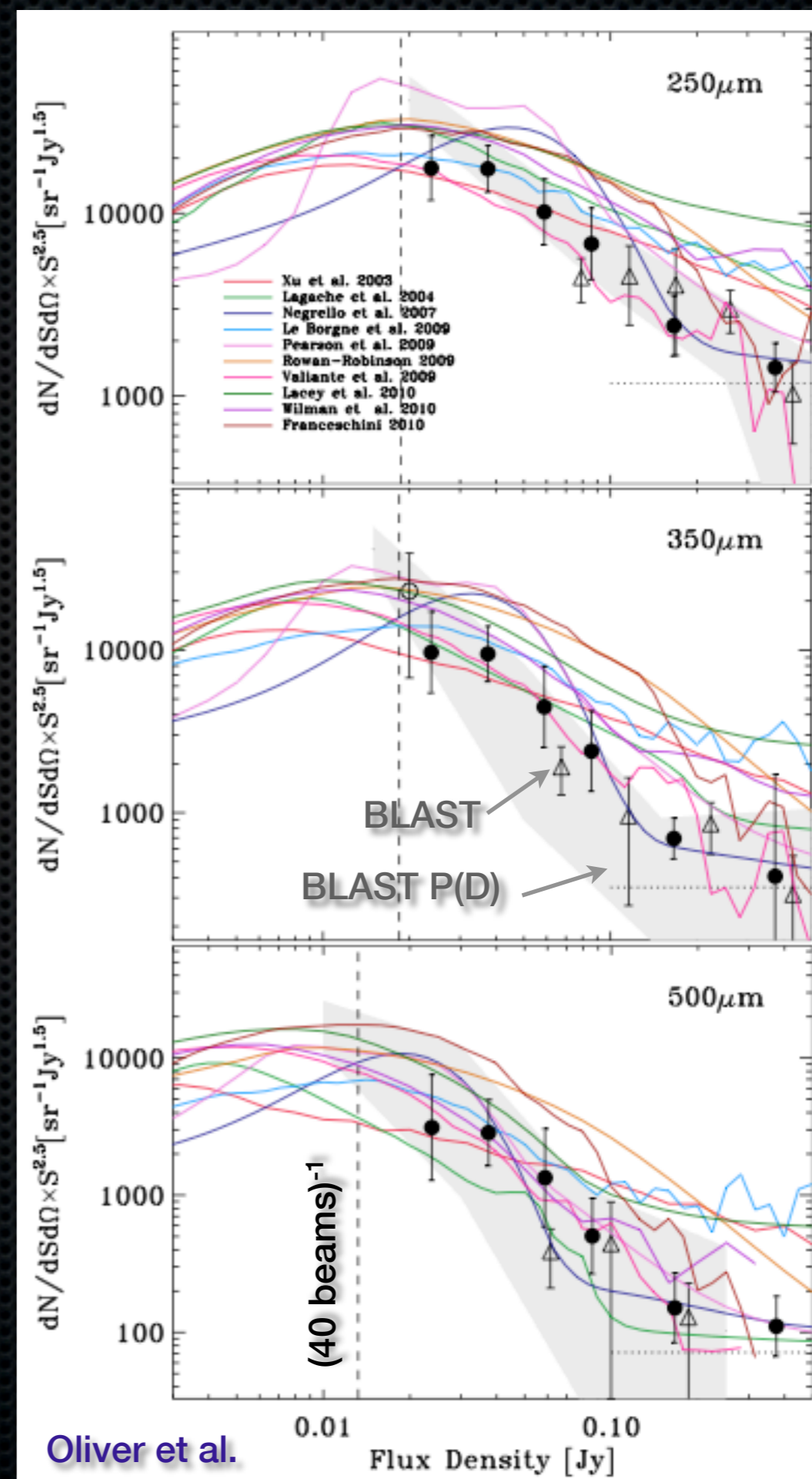
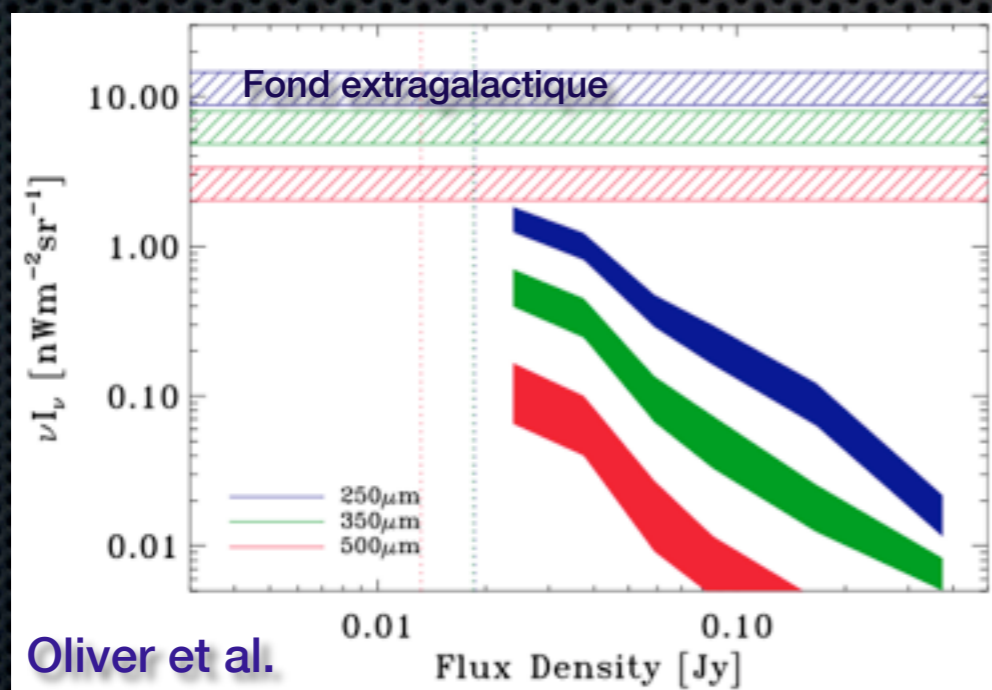
Comptages SPIRE

- Comptage: histogramme du nombre d'objets en fonction de leur brillance.
 - Ne nécessite pas de connaissance des distances.
- Beaucoup de modèles de comptages ont du mal à reproduire la partie fort flux des observations. Modifications possibles:
 - Galaxies plus froides à haut redshift...
 - Plus de galaxies à haut redshift...

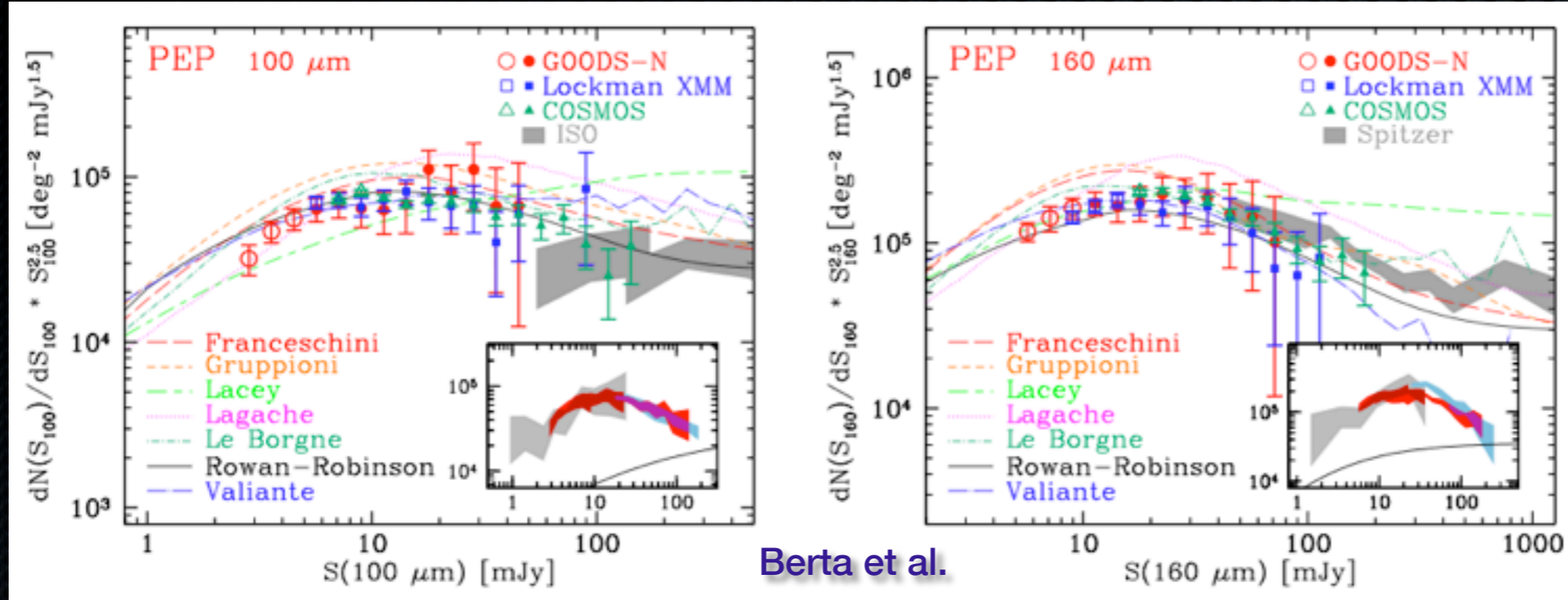


Comptages SPIRE

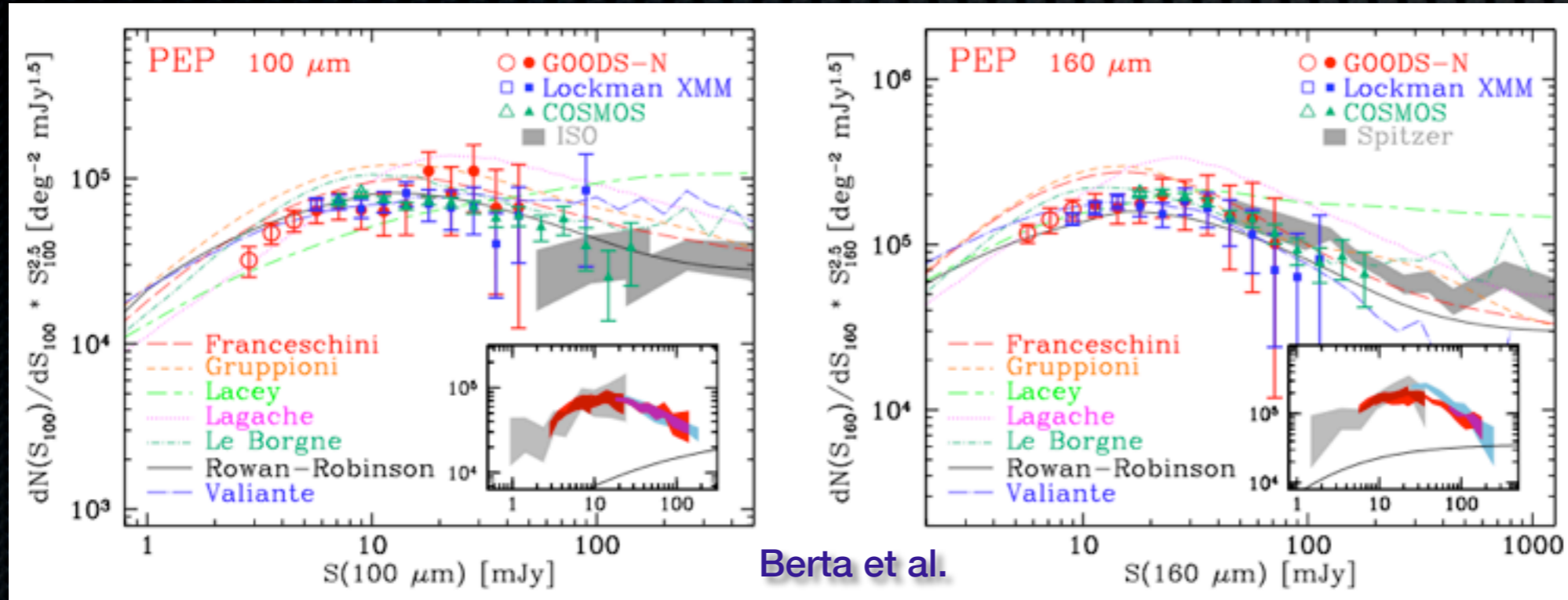
- Comptage: histogramme du nombre d'objets en fonction de leur brillance.
 - Ne nécessite pas de connaissance des distances.
- Beaucoup de modèles de comptages ont du mal à reproduire la partie fort flux des observations. Modifications possibles:
 - Galaxies plus froides à haut redshift...
 - Plus de galaxies à haut redshift...
- A la limite de confusion, seulement 15, 10, et 6% du fond extragalactique est résolu.



Comptages PACS

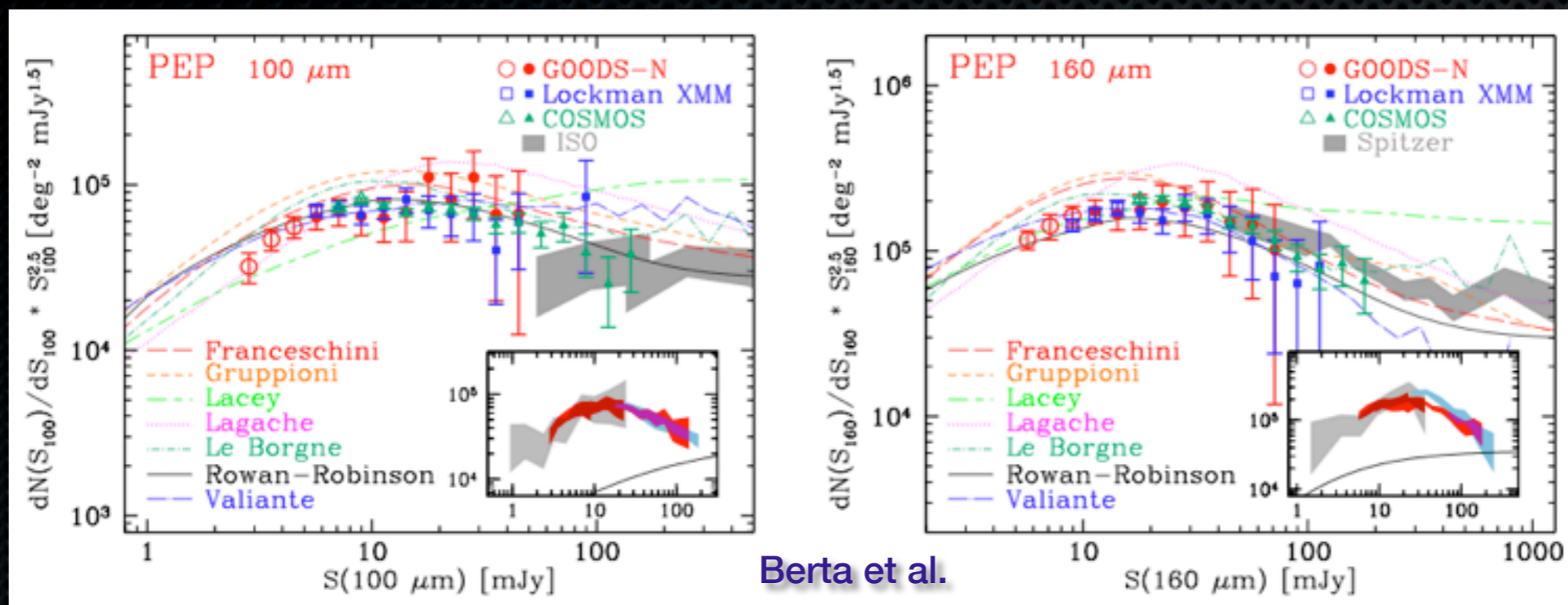


Comptages PACS

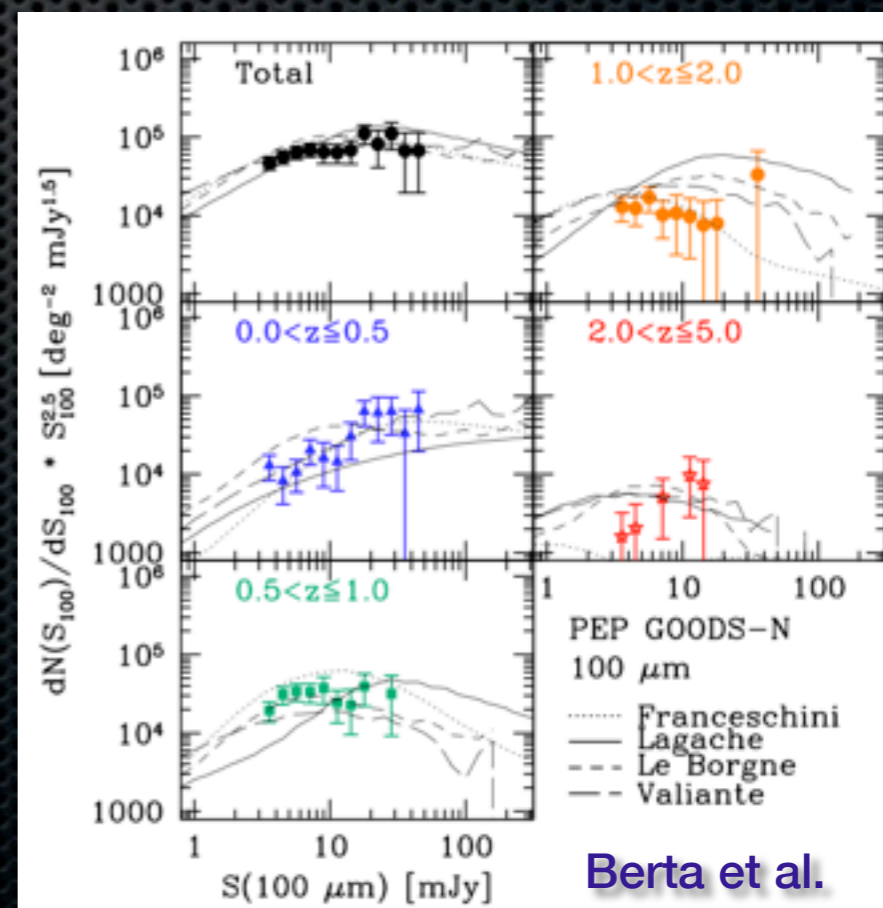


- «Découpage» par tranche de redshift:
 - $z < 0.5$: peu d'évolution, mais les SED indiquent un spectre plus froid que les galaxies LIGs locales.
 - $1 < z < 2$: le domaine le moins bien reproduit par les modèles.

Comptages PACS

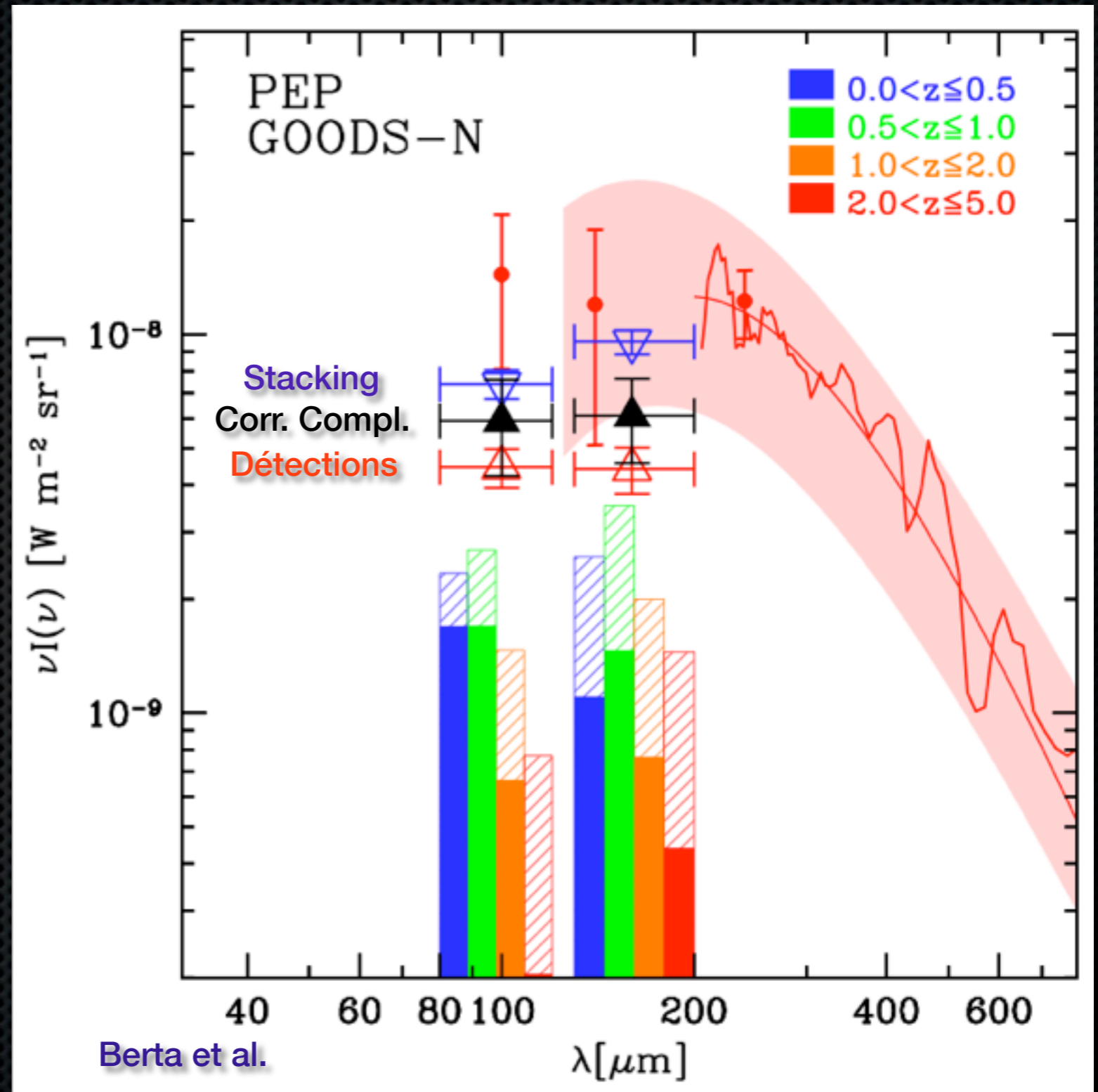


- «Découpage» par tranche de redshift:
 - $z < 0.5$: peu d'évolution, mais les SED indiquent un spectre plus froid que les galaxies LIGs locales.
 - $1 < z < 2$: le domaine le moins bien reproduit par les modèles.



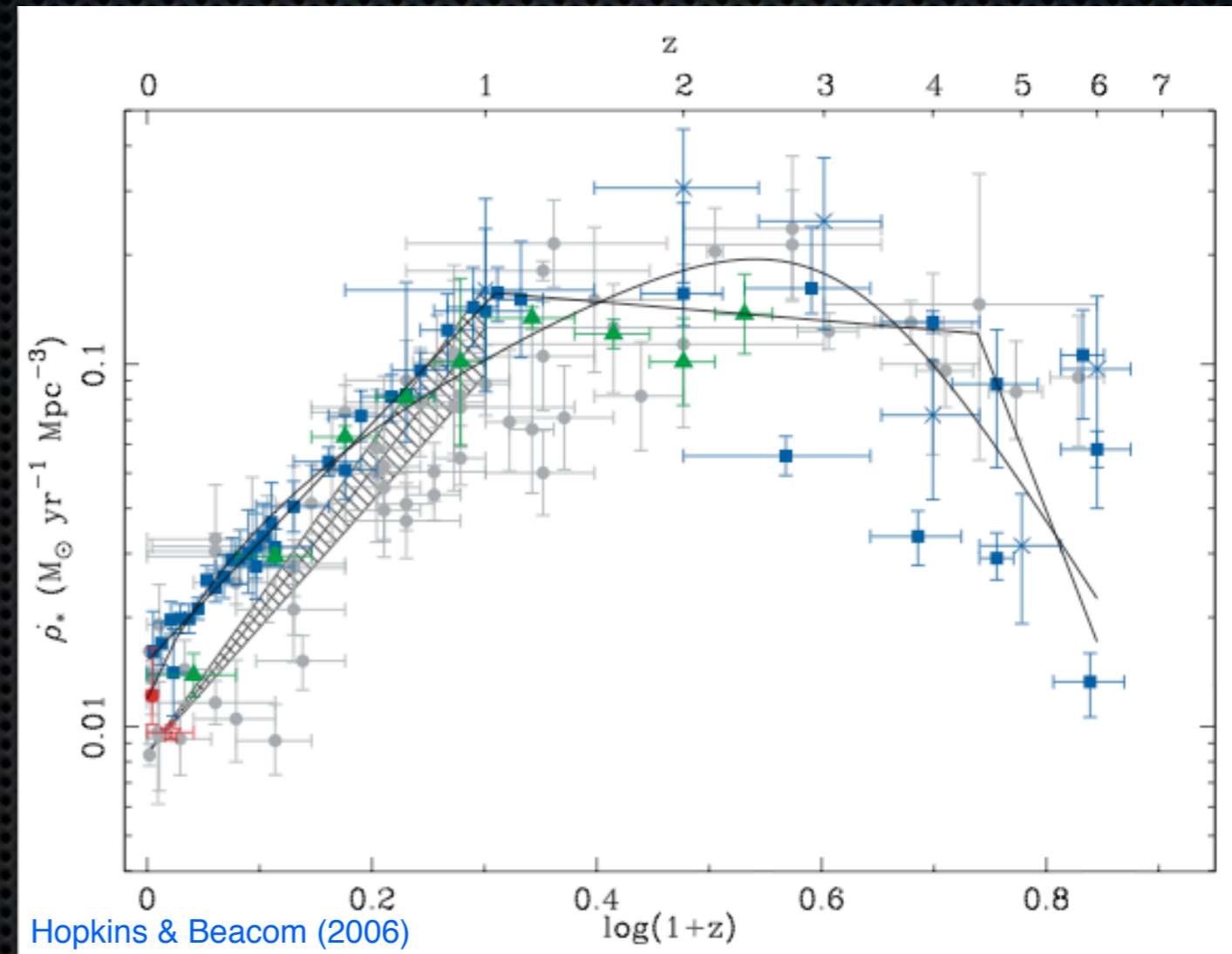
Comptages PACS

- 45 et 52% du fond cosmologique est résolu (stacking à 24 microns, 51 et 75% du fond est détecté).
- Pour la partie du fond qui est directement résolue:
 - à 100 μm elle est émise principalement à $z < 1$
 - à 160 μm les galaxies à $z > 1$ font une contribution significative
- En tenant compte du stacking à 24 μm :
 - à 100 μm la contribution des sources «stackées» à $z > 2$ est très importante.



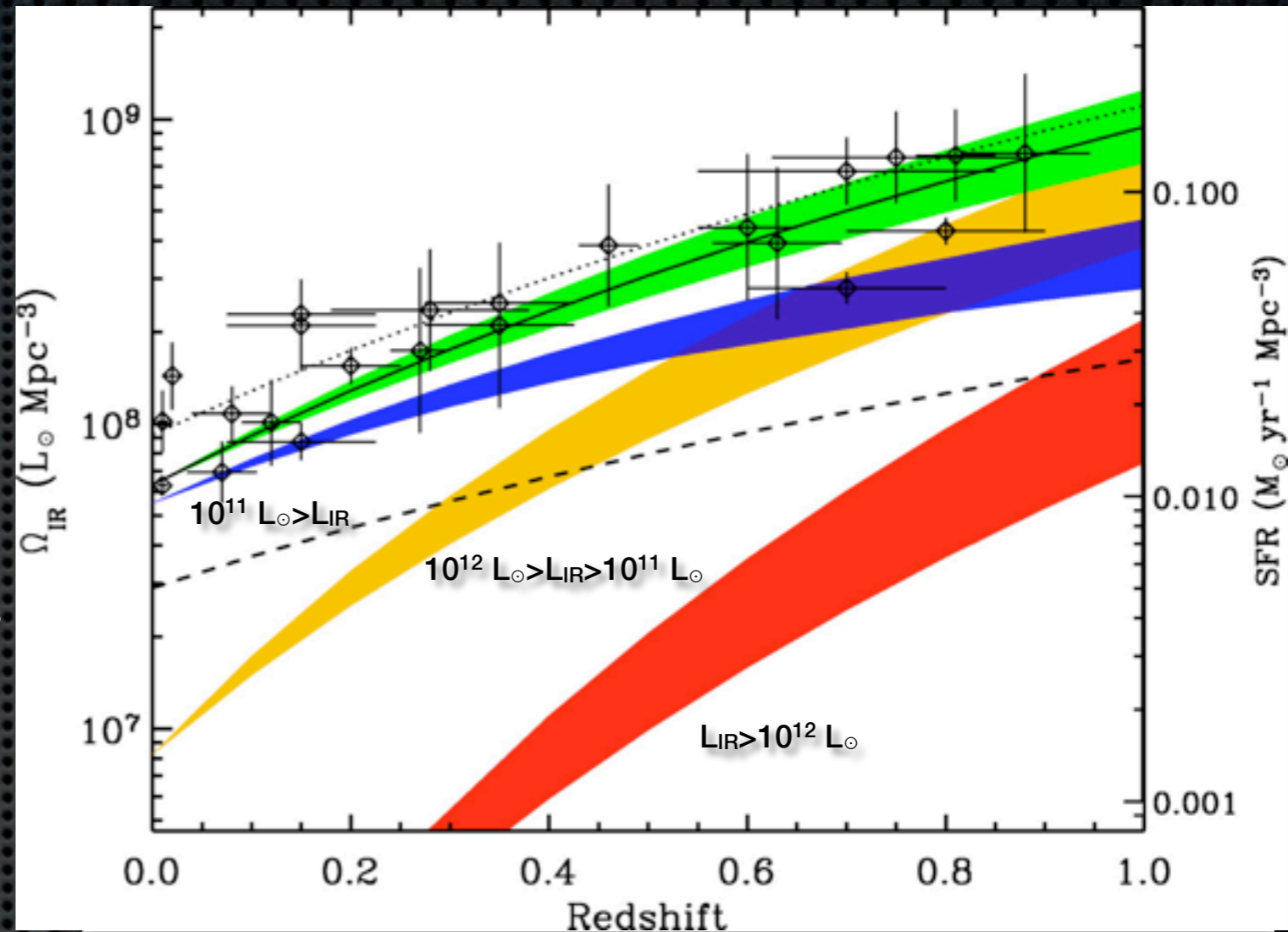
Conversion $L_{\text{IR}} \rightarrow \text{SFR}$

- L'objectif des relevés cosmologiques, c'est de mesurer $\text{SFR}(z)$.
- Hyp: $\text{SFR} \propto L_{\text{IRtot}}(8-1000\mu\text{m})$.
- Herschel couvre à priori la totalité de l'émission IR, donc permet de mesurer L_{IR} sans extrapolation.



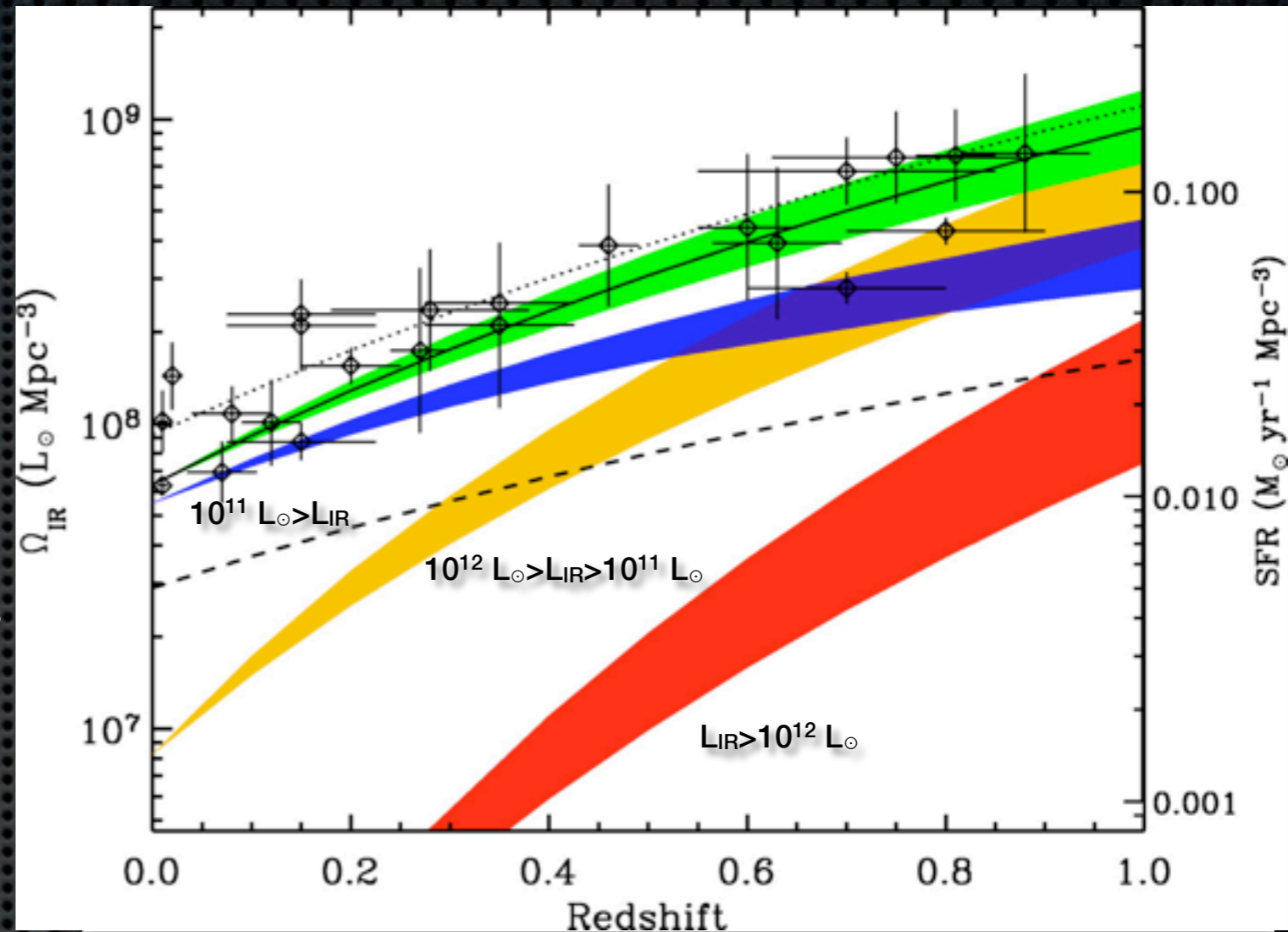
Conversion $L_{\text{IR}} \rightarrow \text{SFR}$

- L'objectif des relevés cosmologiques, c'est de mesurer $\text{SFR}(z)$.
- Hyp: $\text{SFR} \propto L_{\text{IRtot}}(8-1000\mu\text{m})$.
- Herschel couvre à priori la totalité de l'émission IR, donc permet de mesurer L_{IR} sans extrapolation.



Conversion $L_{\text{IR}} \rightarrow \text{SFR}$

- L'objectif des relevés cosmologiques, c'est de mesurer $\text{SFR}(z)$.
- Hyp: $\text{SFR} \propto L_{\text{IRtot}}(8-1000\mu\text{m})$.
- Herschel couvre à priori la totalité de l'émission IR, donc permet de mesurer L_{IR} sans extrapolation.

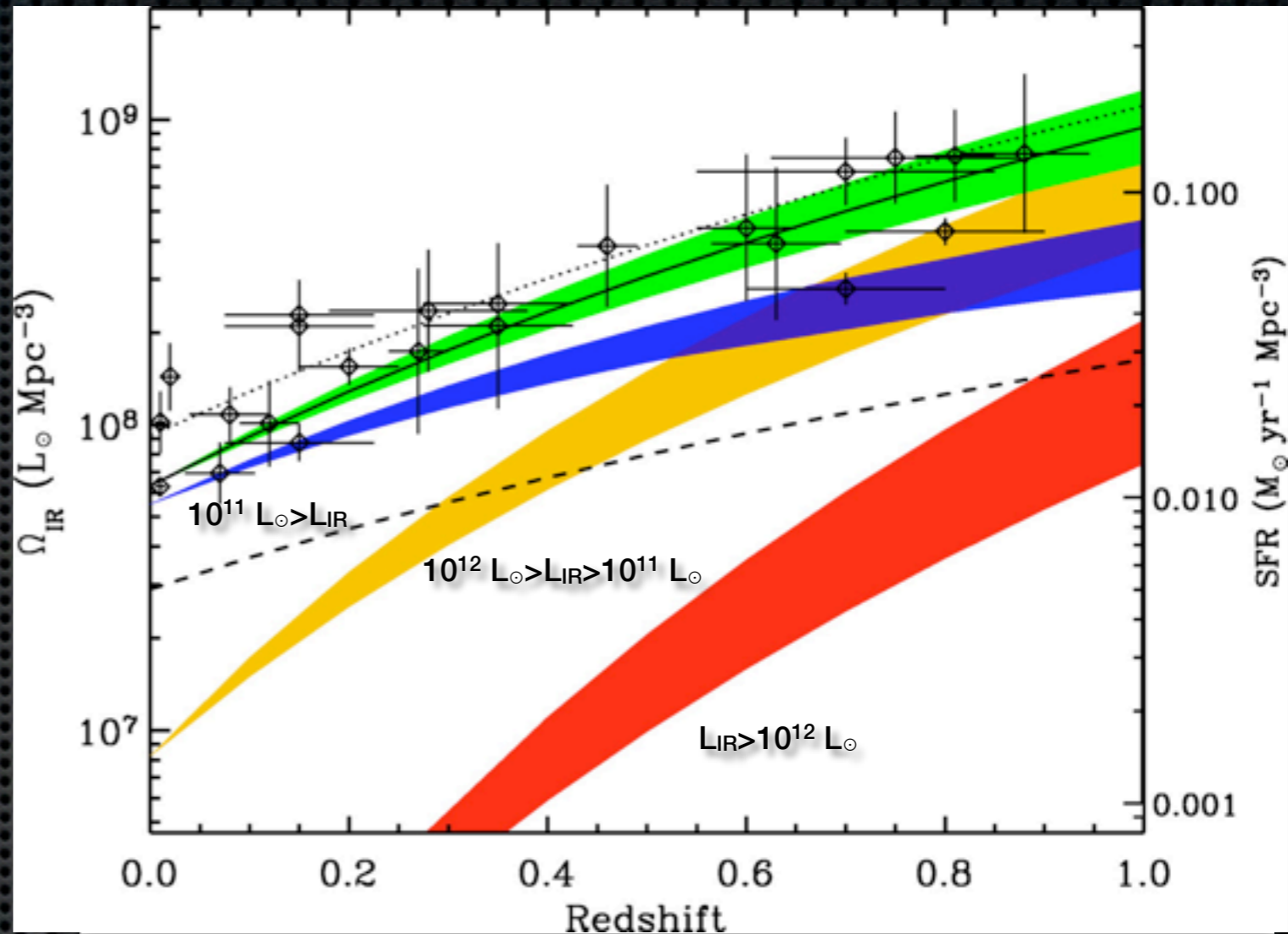
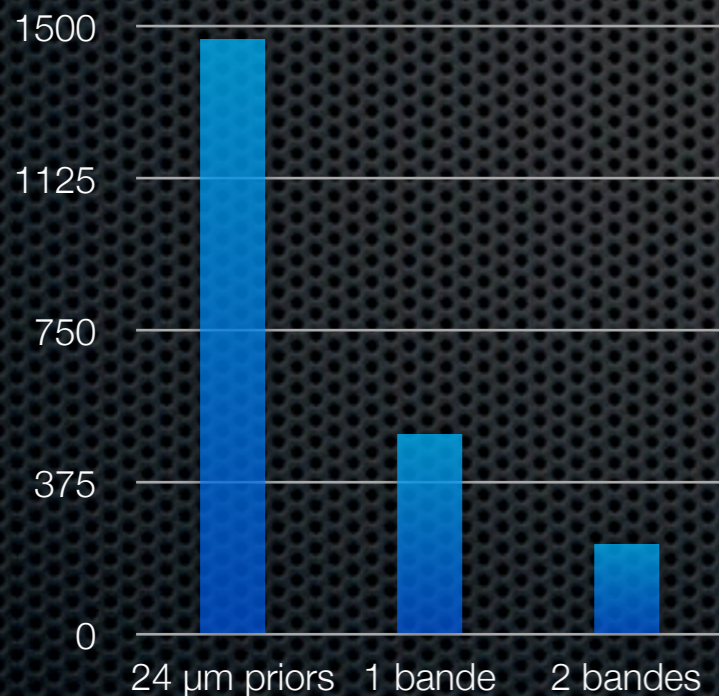


Problème: du fait de la confusion, peu de sources distantes ont une couverture spectrale «dense»

Conversion $L_{\text{IR}} \rightarrow \text{SFR}$

- L'objectif des relevés cosmologiques, c'est de mesurer $\text{SFR}(z)$.
- Hyp: $\text{SFR} \propto L_{\text{IRtot}}(8-1000\mu\text{m})$.
- Herschel couvre à priori la totalité de l'émission IR, donc permet de mesurer L_{IR} sans extrapolation.

Elbaz et al.

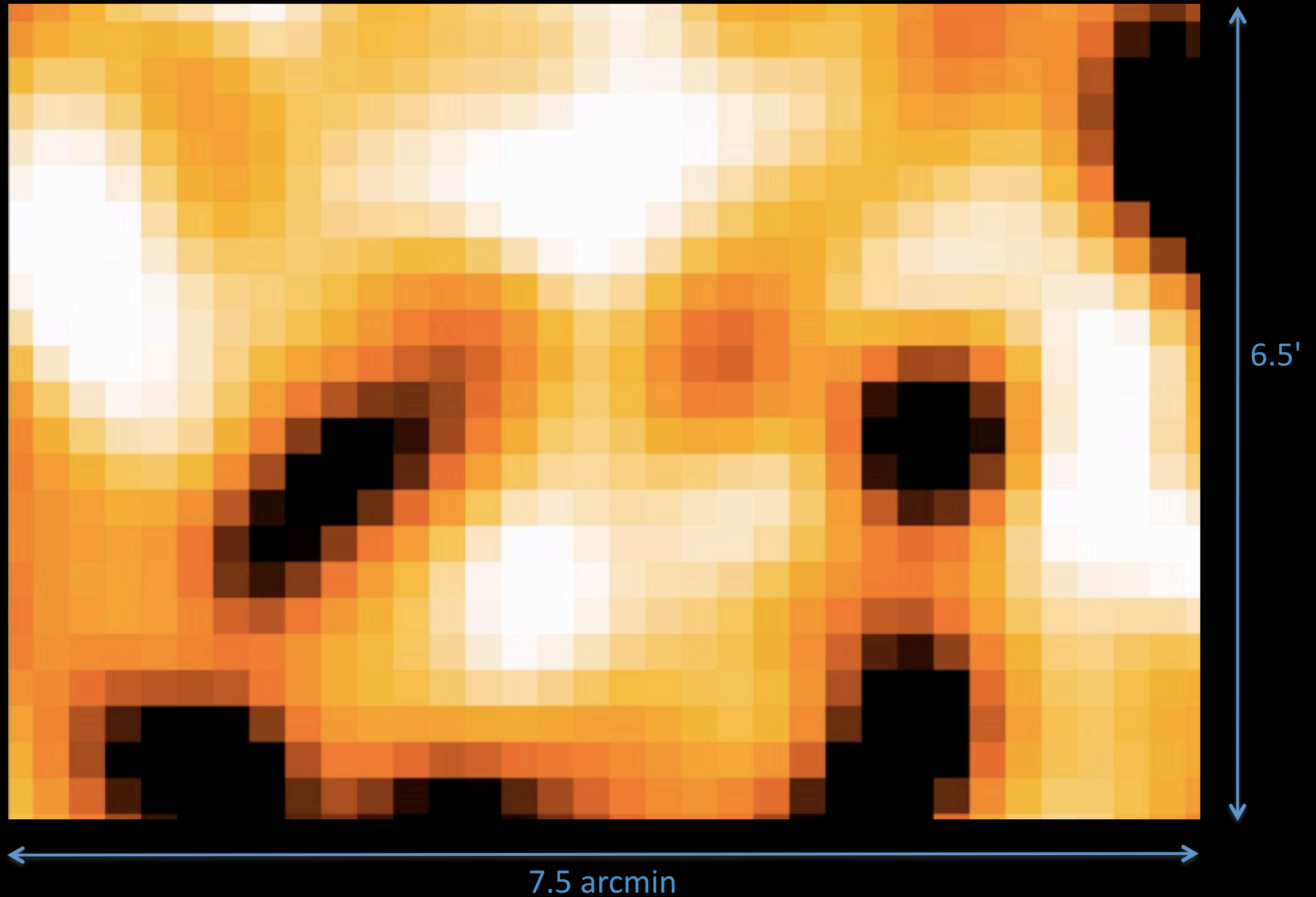


Problème: du fait de la confusion, peu de sources distantes ont une couverture spectrale «dense»

The power of multi-wavelength imaging against confusion

500um

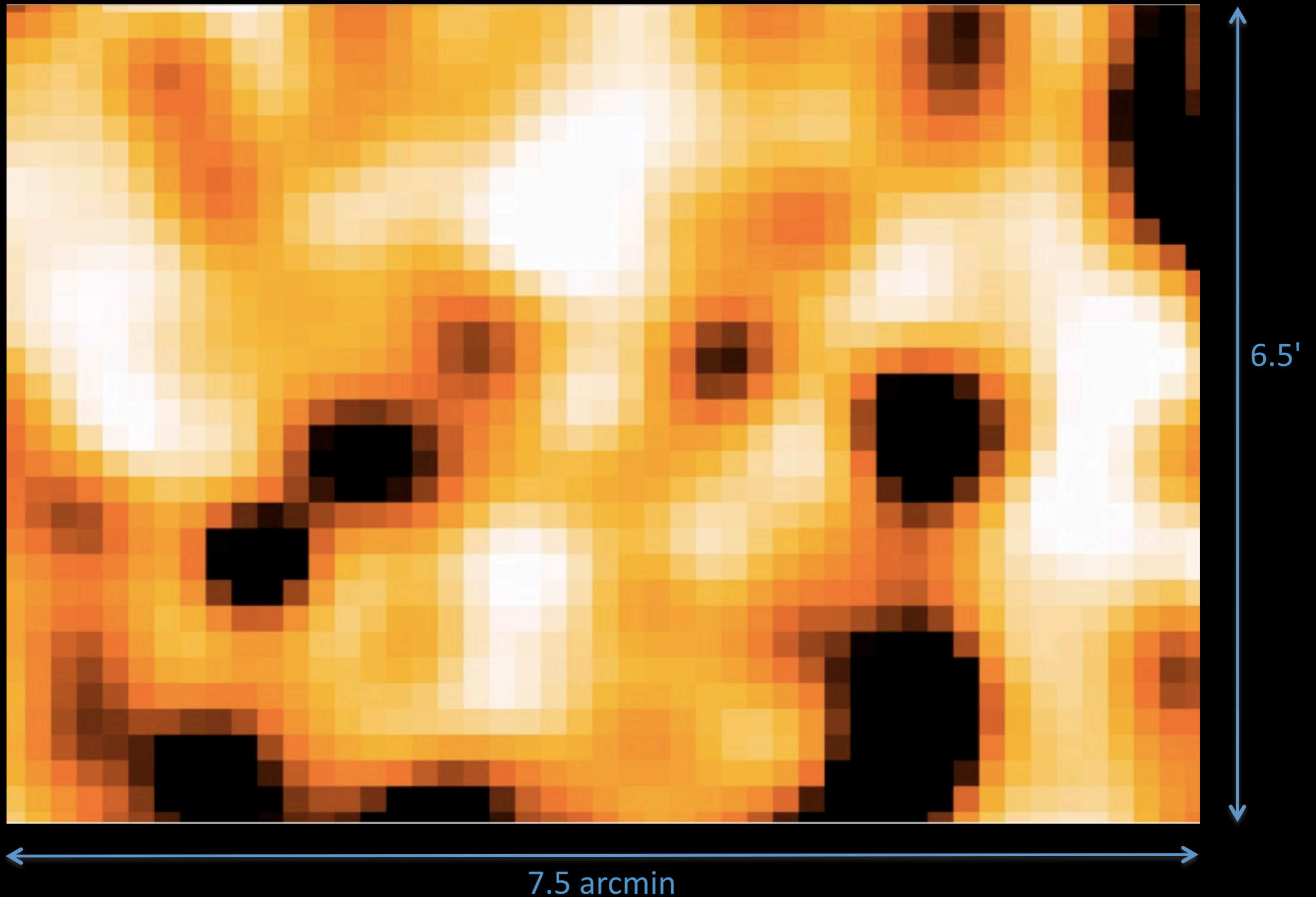
7.5' x 6.5' zoom on the GOODS-North field (10' x 15')



The power of multi-wavelength imaging against confusion

500um 350um

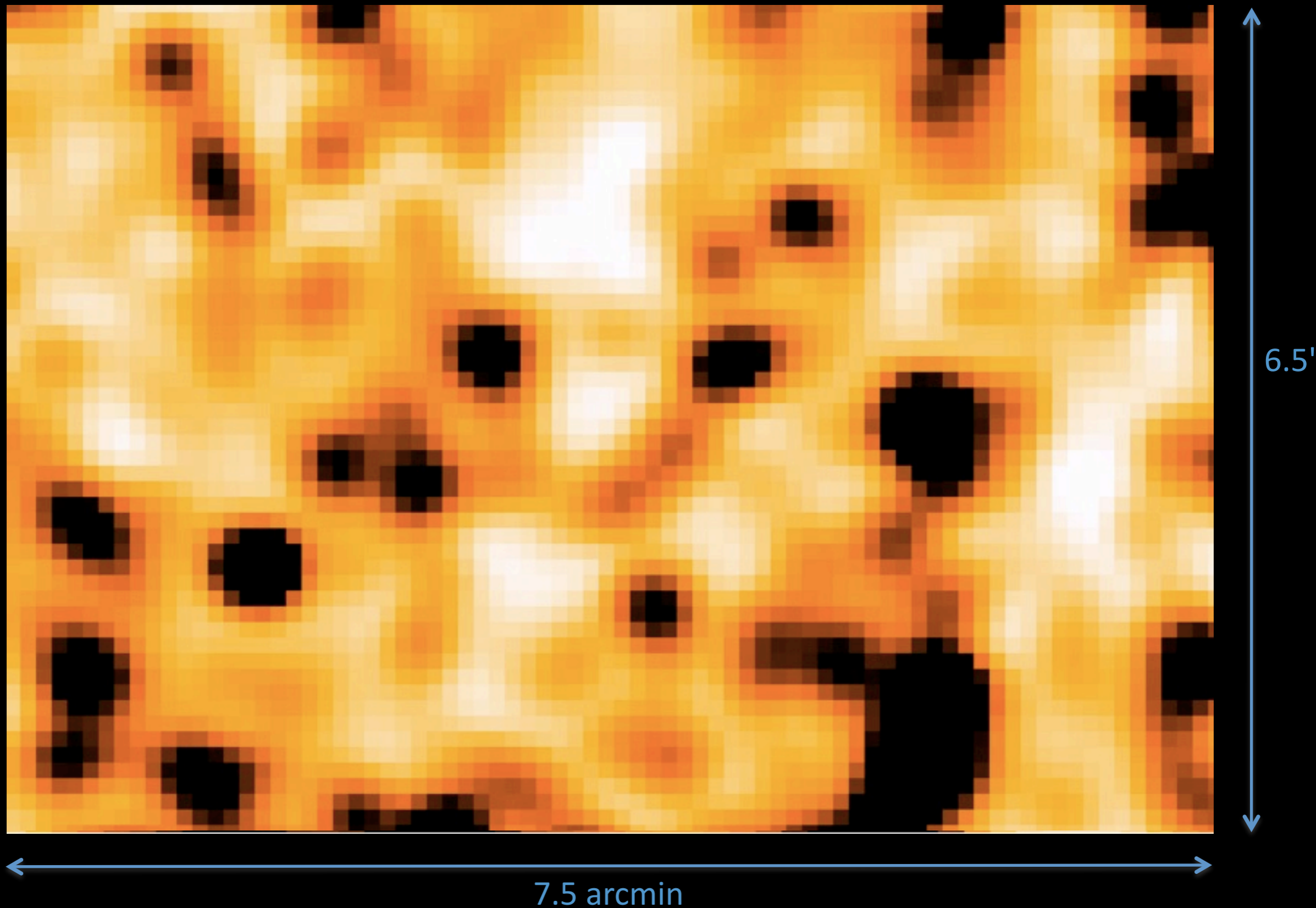
7.5' x 6.5' zoom on the GOODS-North field (10' x 15')



The power of multi-wavelength imaging against confusion

500um 350um 250um

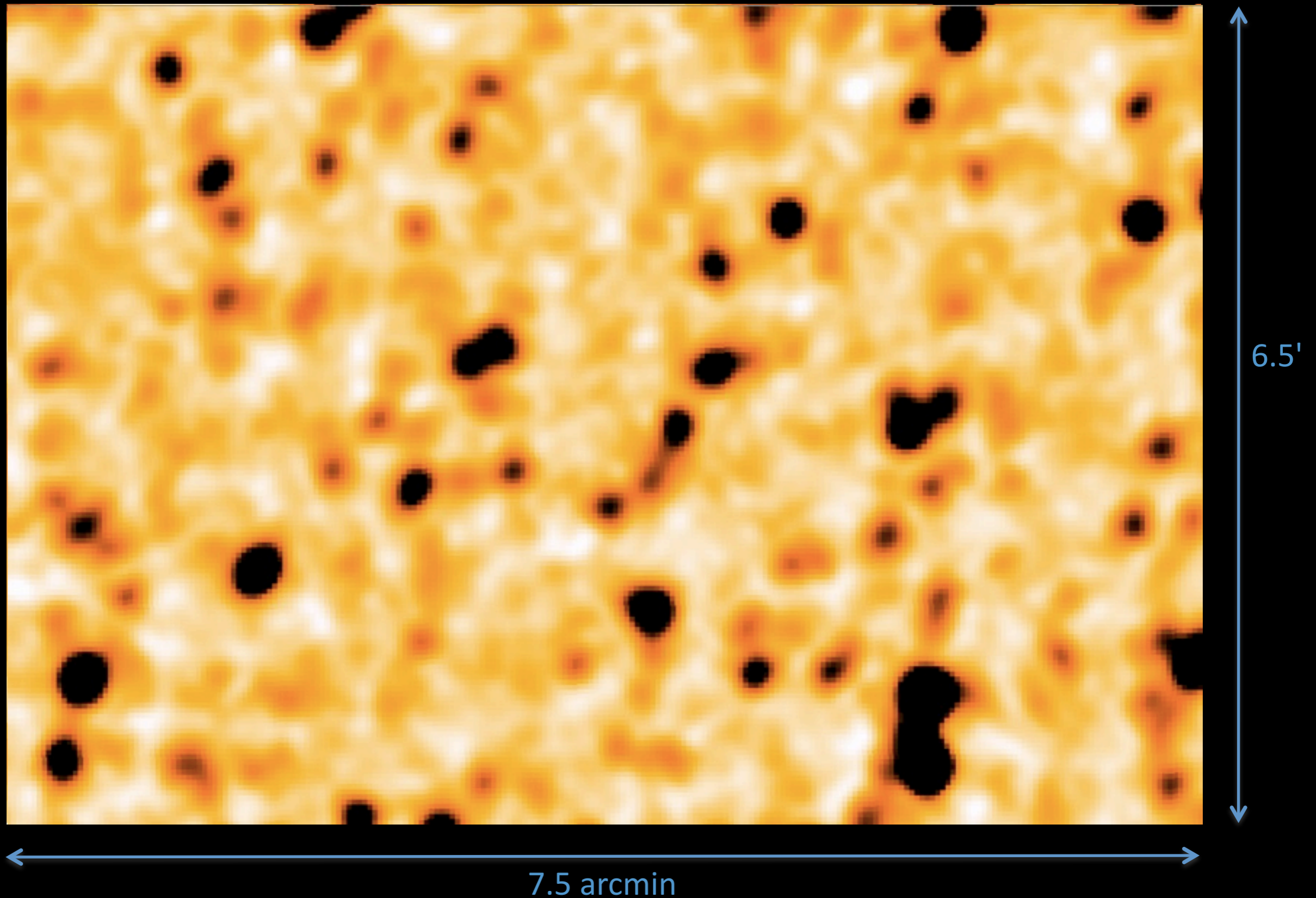
7.5' x 6.5' zoom on the GOODS-North field (10' x 15')



The power of multi-wavelength imaging against confusion

500um 350um 250um 160um

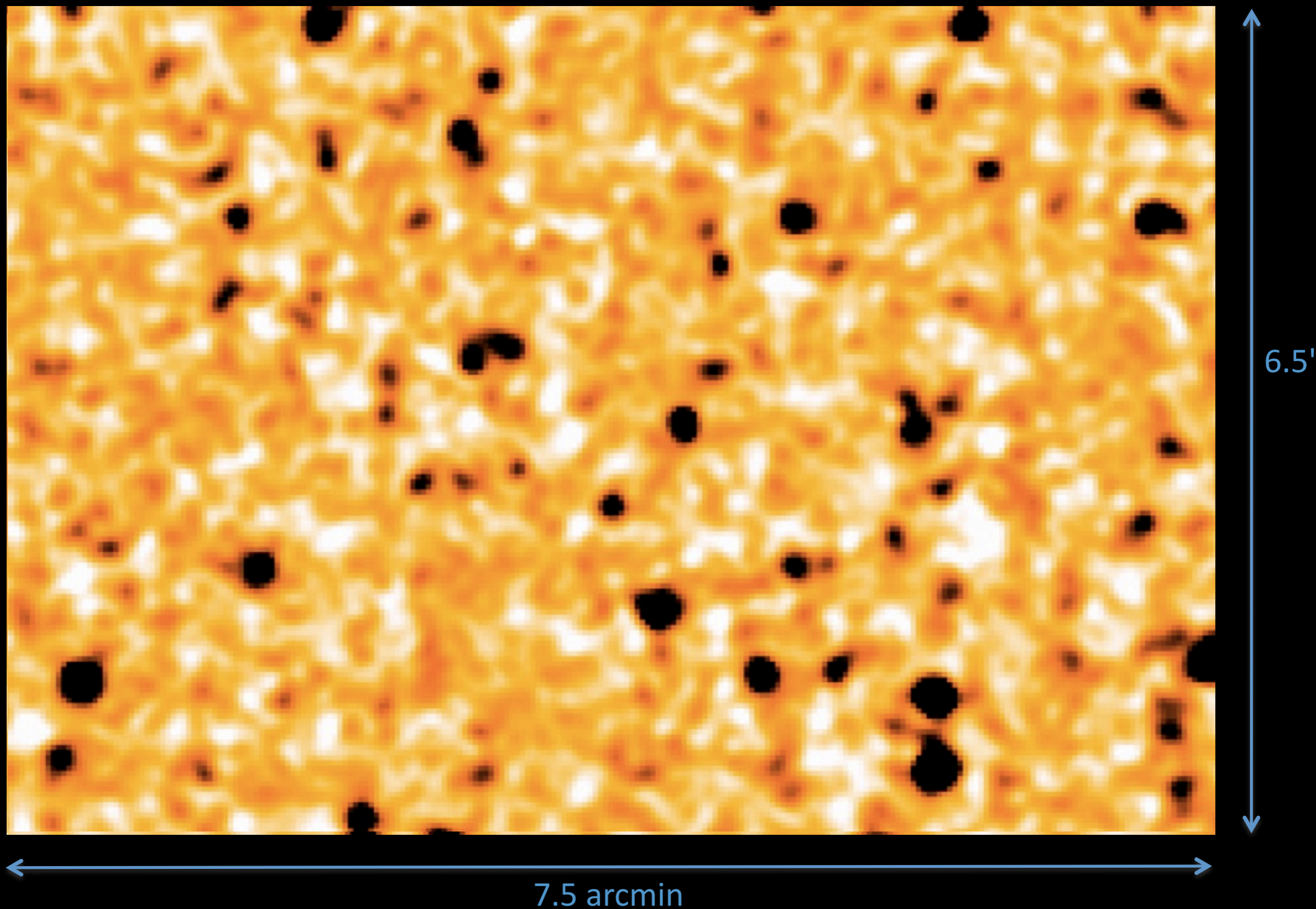
7.5' x 6.5' zoom on the GOODS-North field (10' x 15')



The power of multi-wavelength imaging against confusion

500um 350um 250um 160um 100um

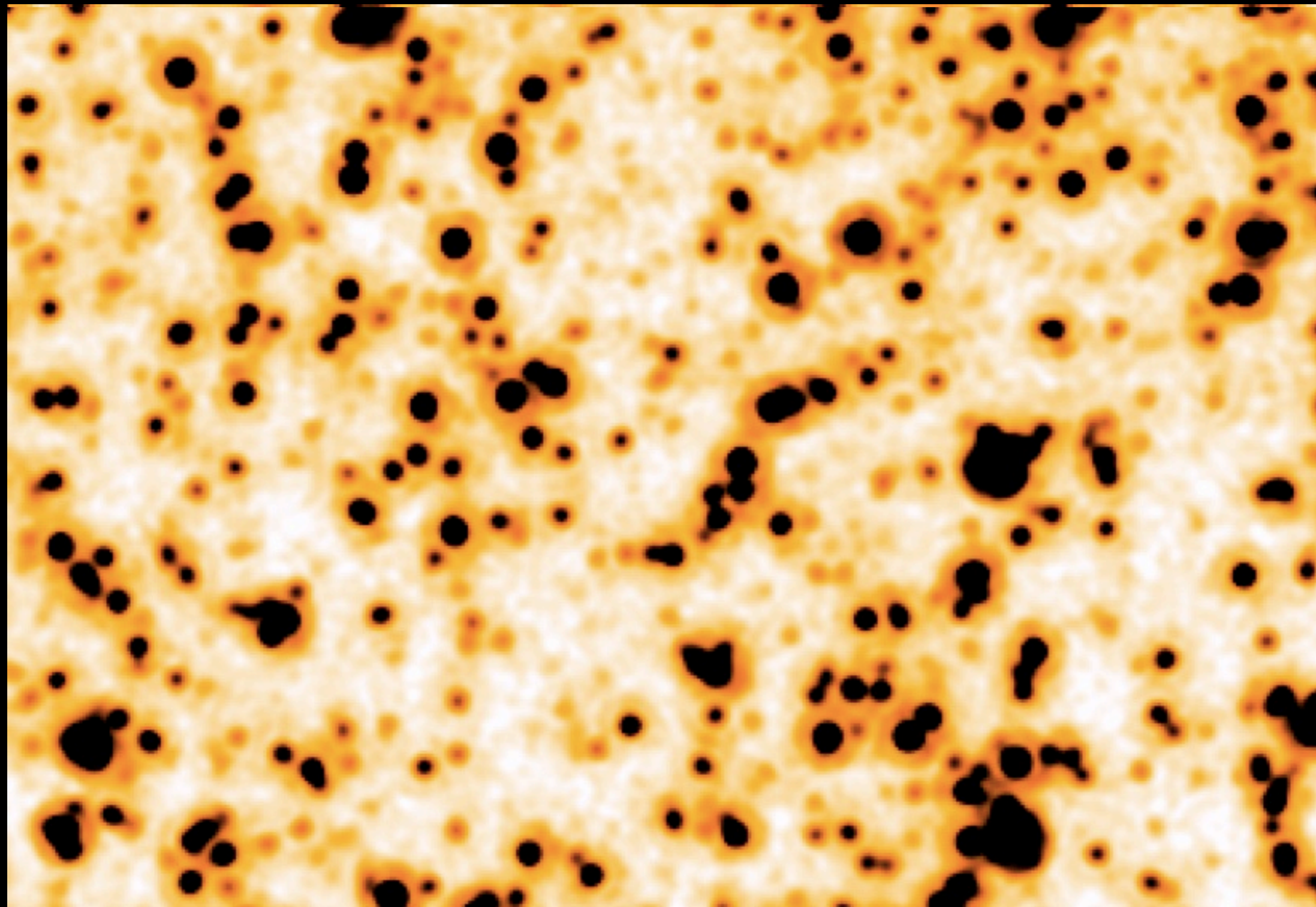
7.5' x 6.5' zoom on the GOODS-North field (10' x 15')



The power of multi-wavelength imaging against confusion

500um 350um 250um 160um 100um 24um

7.5' x 6.5' zoom on the GOODS-North field (10' x 15')



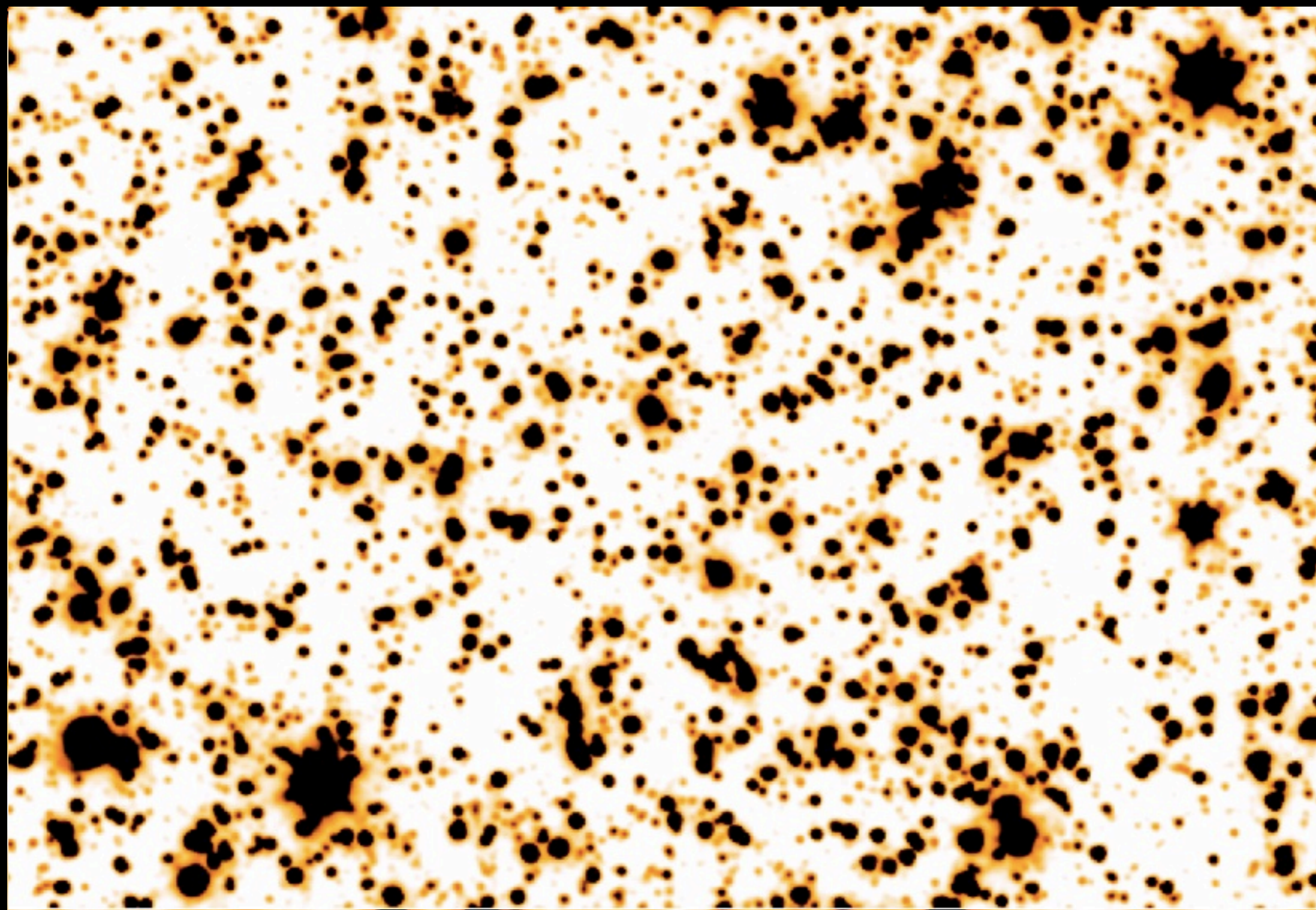
6.5'

7.5 arcmin

The power of multi-wavelength imaging against confusion

500um 350um 250um 160um 100um 24um 3.6um

7.5' x 6.5' zoom on the GOODS-North field (10' x 15')



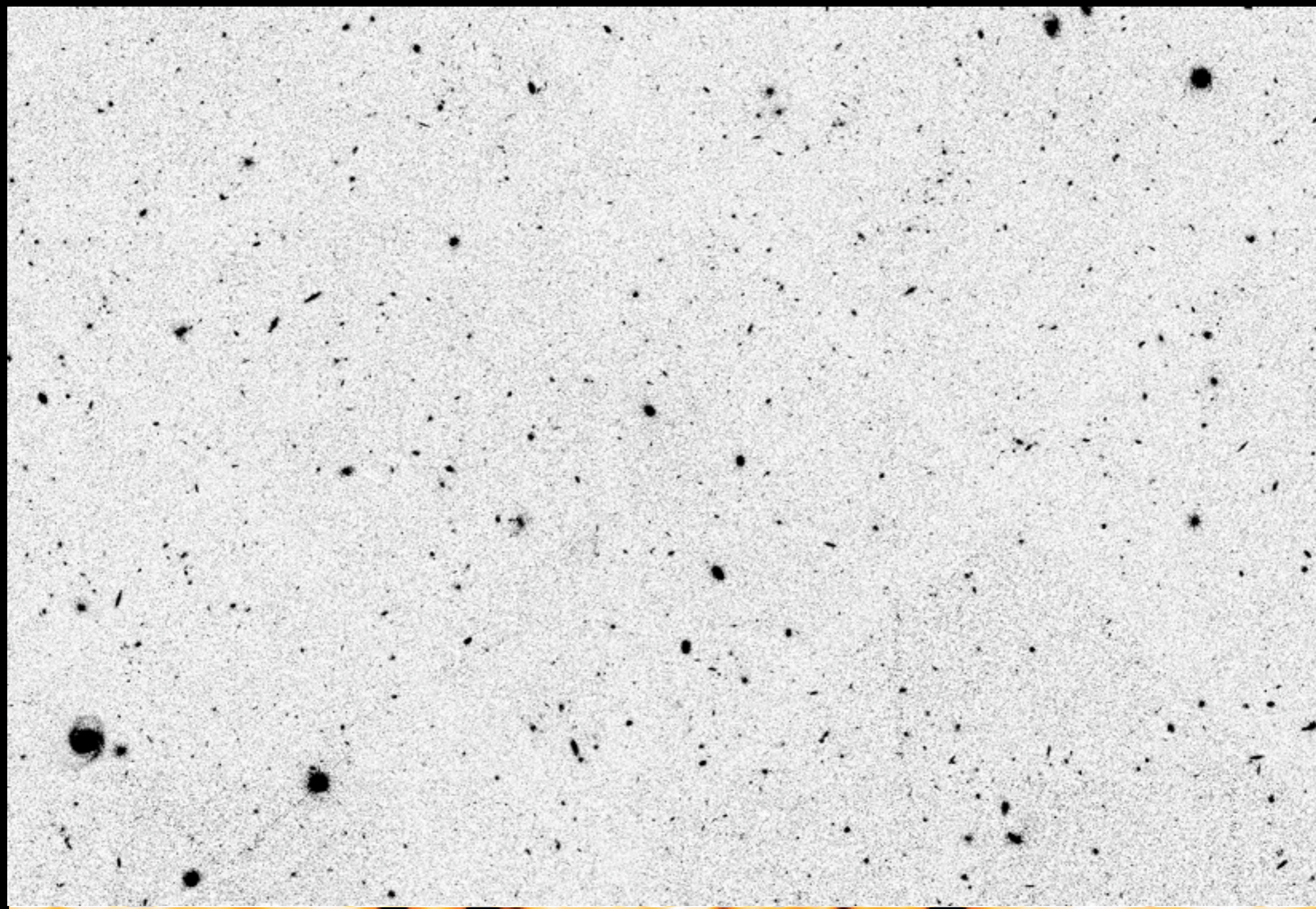
6.5'

7.5 arcmin

The power of multi-wavelength imaging against confusion

500um 350um 250um 160um 100um 24um 3.6um 0.8um

7.5' x 6.5' zoom on the GOODS-North field (10' x 15')

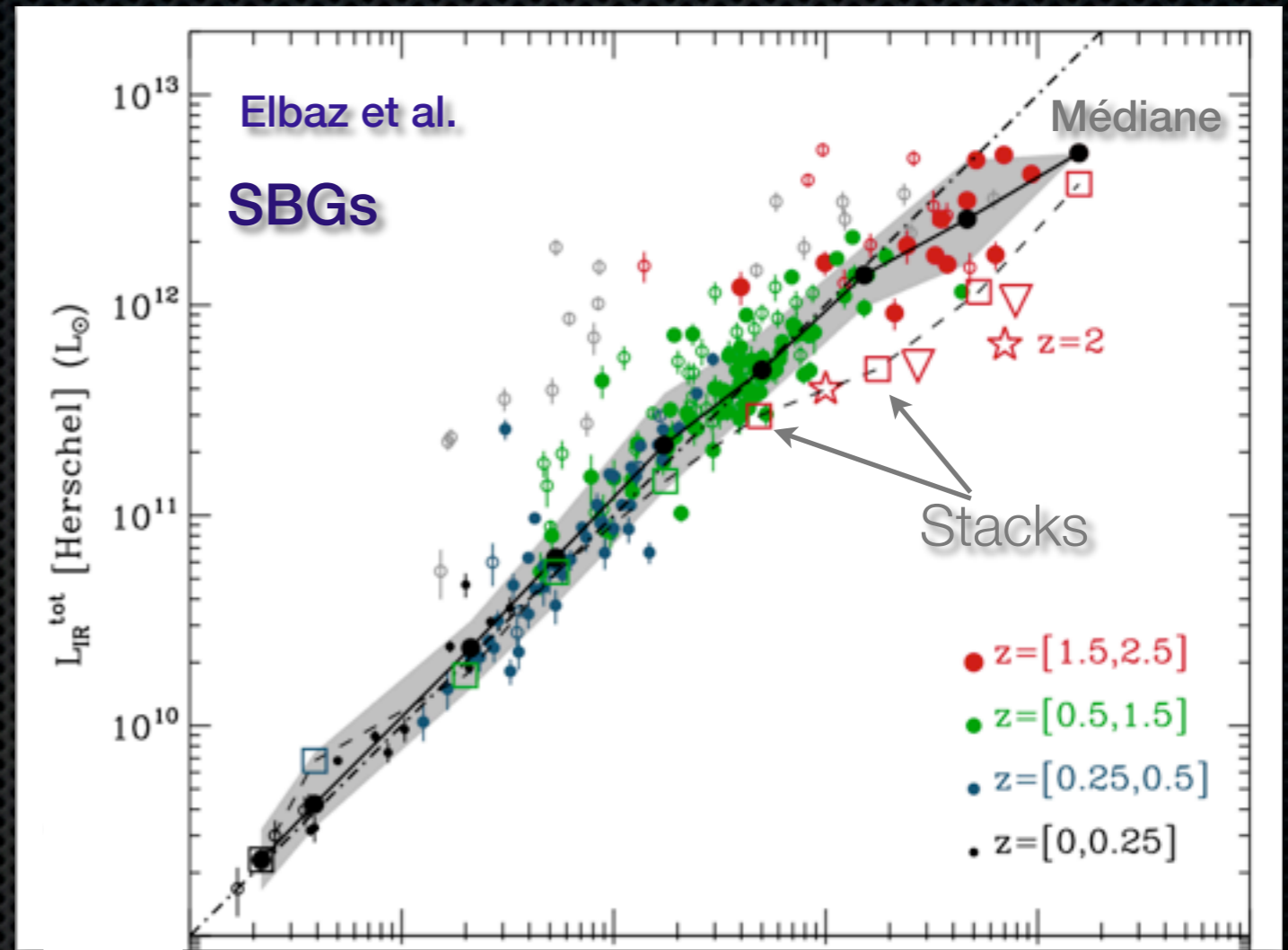


6.5'

7.5 arcmin

Comparaison d'estimateurs L_{IR} ($z < 1.5$)

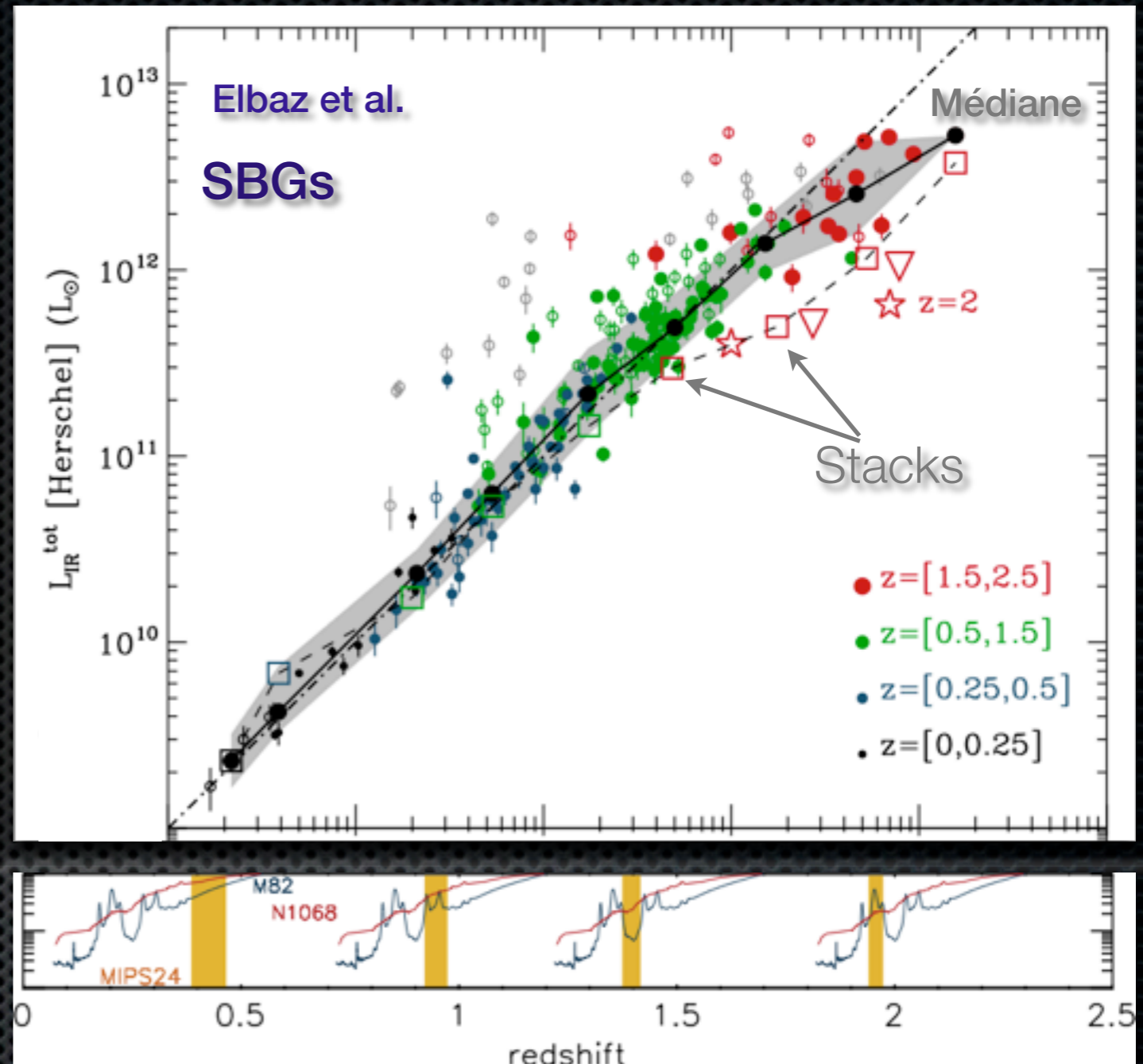
- L_{IR} est estimé à partir d'ajustement des luminosités observées par des bibliothèques $L_{\text{IR}} \leftrightarrow \text{SED}$.
 - Permet aussi de relier L_{λ} à L_{IR} .
- Sur trois décades de luminosité ($10^9 - 10^{12}$), pour $z < 1.5$, Herschel démontre que les extrapolations basées sur $L_{24\mu\text{m}}$ sont correctes...
 - ... en luminosité
- Au delà de $z = 1.5$, les bibliothèques sur-estiment L_{IR} .



AGNs

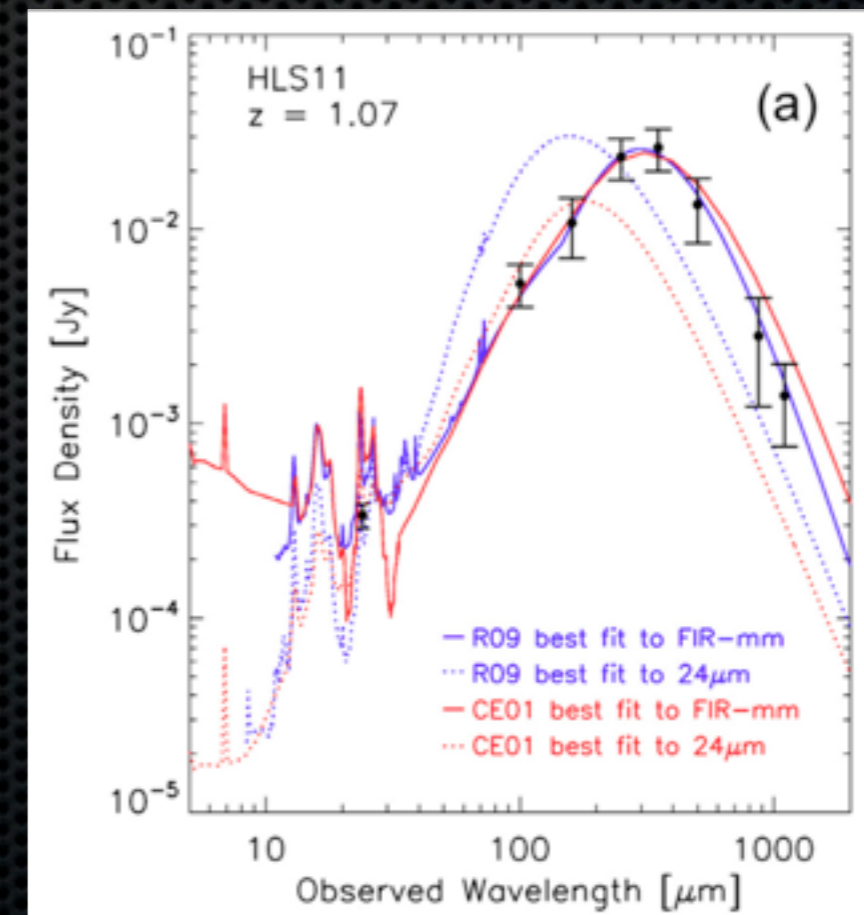
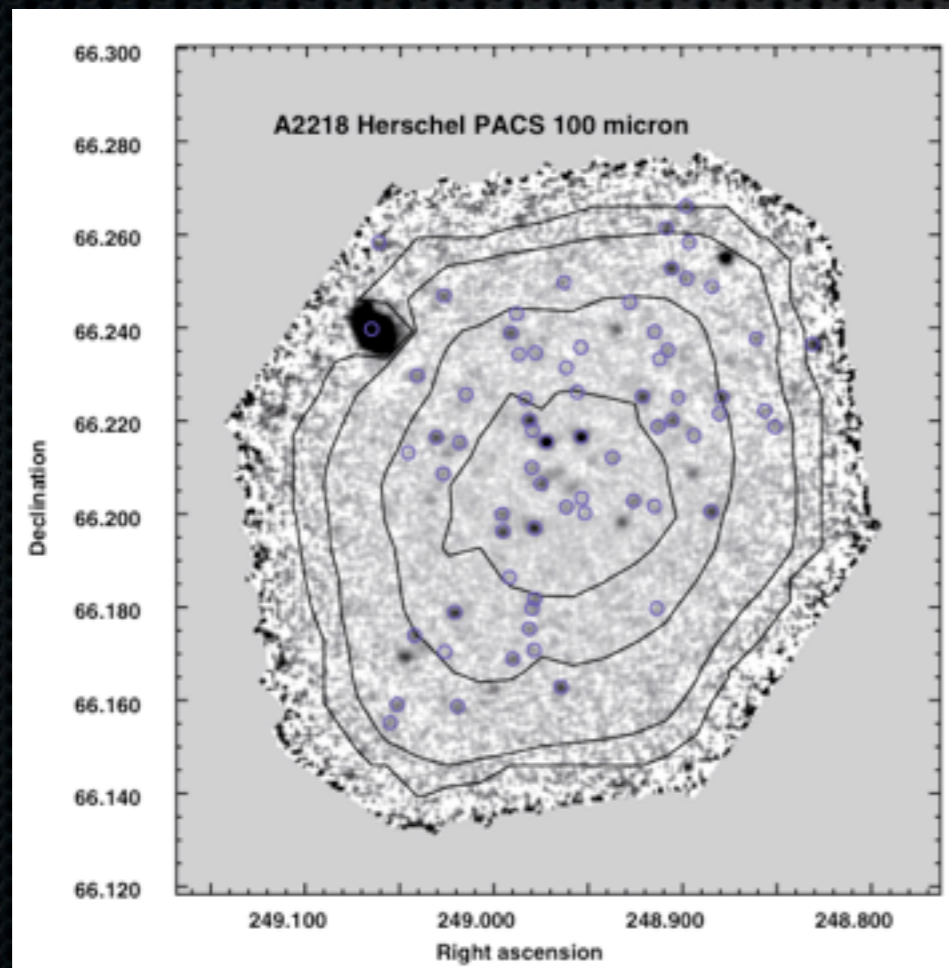
Comparaison d'estimateurs L_{IR} ($z < 1.5$)

- L_{IR} est estimé à partir d'ajustement des luminosités observées par des bibliothèques $L_{IR} \leftrightarrow SED$.
 - Permet aussi de relier L_{λ} à L_{IR} .
- Sur trois décades de luminosité ($10^9 - 10^{12}$), pour $z < 1.5$, Herschel démontre que les extrapolations basées sur $L_{24\mu m}$ sont correctes...
 - ... en luminosité
- Au delà de $z = 1.5$, les bibliothèques sur-estiment L_{IR} .



Télescopes gravitationnels

- On exploite l'effet de lentille gravitationnelle pour s'affranchir de la confusion et atteindre des sources plus faibles.
- Gain d'un facteur 4 sur la limite basse des comptages.
- Si la luminosité est prédite correctement, la distribution spectrale est plus «froide» que prévue...



Exemple d'une galaxie de $10^{11} L_{\odot}$, dont la SED est nettement plus froide qu'attendue

Conclusions préliminaires

- La confusion (spatiale) domine la plupart des grands relevés.
- Le fond extragalactique n'est pas encore résolu.
- Les bibliothèques spectrales sont inadaptées pour l'univers à grand décalage spectral.
 - L'univers Local ne présente pas une image simplement transposable à l'univers lointain.

Observations de galaxies proches

Observations de galaxies proches

- Le moteur principal de l'évolution des galaxies c'est la formation des étoiles:
 - Converti du gaz en étoiles qui évoluent sur des échelles de temps allant du million au milliard d'années.
 - Enrichi la matière en éléments lourds.

Observations de galaxies proches

- Le moteur principal de l'évolution des galaxies c'est la formation des étoiles:
 - Converti du gaz en étoiles qui évoluent sur des échelles de temps allant du million au milliard d'années.
 - Enrichi la matière en éléments lourds.
- Le processus de formation stellaire est lié:
 - Aux phénomènes gravitationnels internes (par exemple l'onde spirale) et externes (interactions) mis en jeu par les galaxies.
 - À la thermodynamique et à la chimie du milieu interstellaire qui transporte et réagit aux flux d'énergie émis par les étoiles.

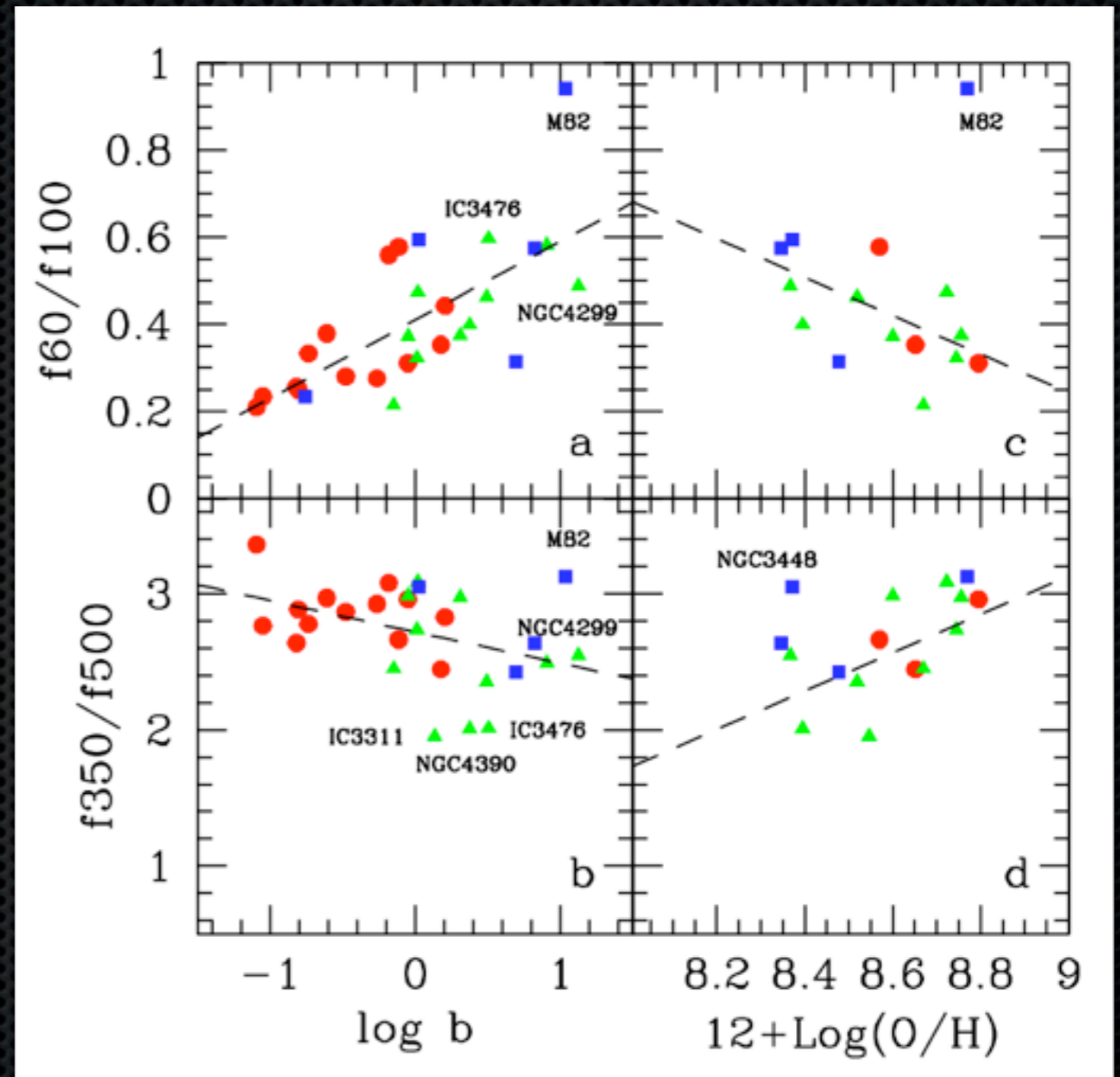
Observations de galaxies proches

- Le moteur principal de l'évolution des galaxies c'est la formation des étoiles:
 - Converti du gaz en étoiles qui évoluent sur des échelles de temps allant du million au milliard d'années.
 - Enrichi la matière en éléments lourds.
- Le processus de formation stellaire est lié:
 - Aux phénomènes gravitationnels internes (par exemple l'onde spirale) et externes (interactions) mis en jeu par les galaxies.
 - À la thermodynamique et à la chimie du milieu interstellaire qui transporte et réagit aux flux d'énergie émis par les étoiles.
- La résolution spatiale offerte par Herschel va permettre d'étudier ces processus en détail et en accédant à la gamme de longueur d'onde où ils sont le plus visibles.
 - La luminosité infrarouge fournit-elle un traceur fiable de la formation stellaire?
 - Quelles sont vraiment les sources de chauffage?

Caractère composite du spectre FIR

- ✦ Grand débat: une ou plusieurs phases de poussière dans les galaxies?
- ✦ Clairement deux: les rapports 60/100 et 350/500 indiquent des températures différentes.
- ✦ Ils varient de façon opposée avec le taux de formation stellaire par unité de masse (SSFR) ou les abondances chimiques ([O/H]).

A fort SSFR ou faible métallicité, la phase chaude est plus chaude, et la phase froide plus froide..

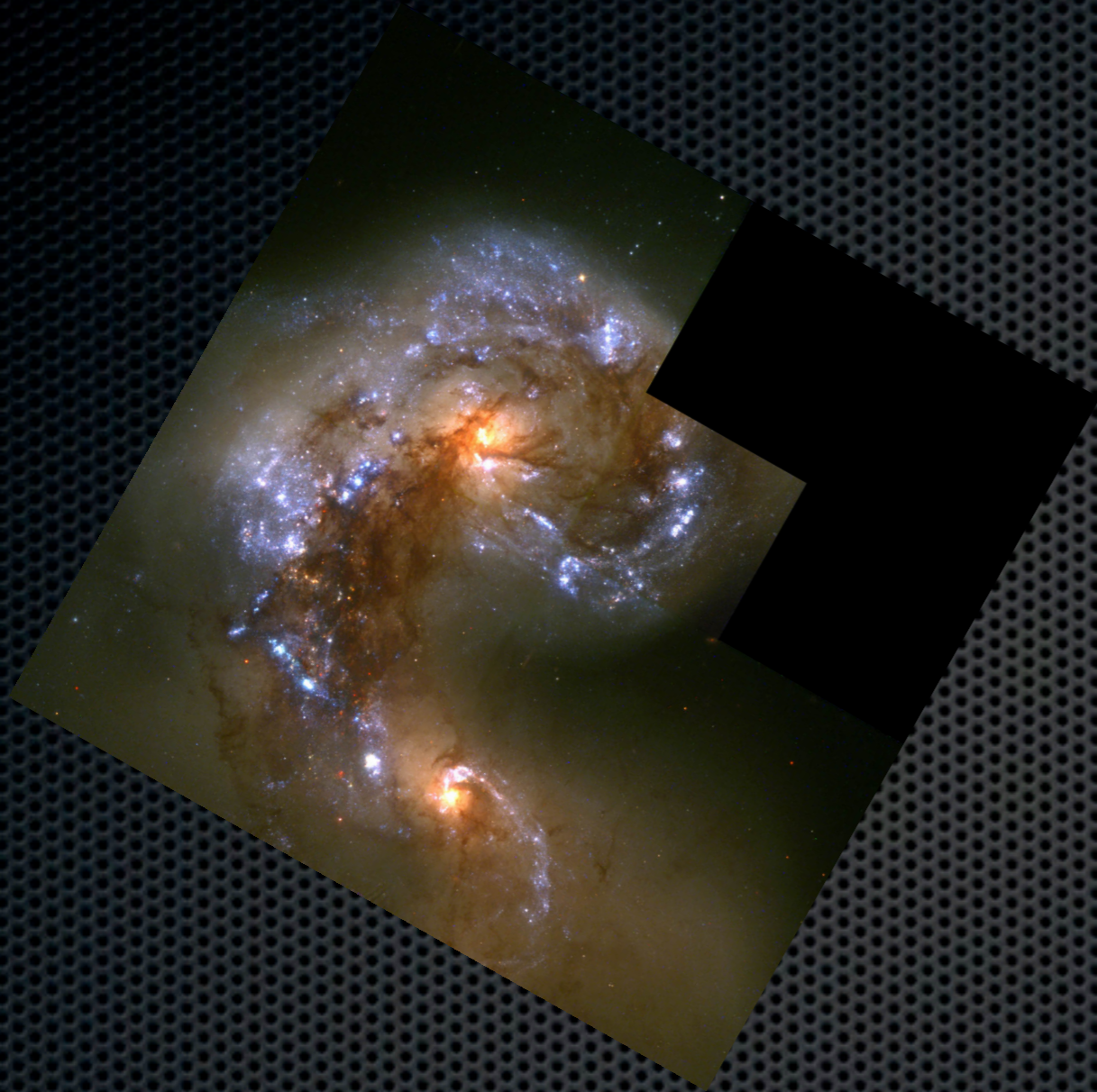


Boselli et al. 2010

Une galaxie n'est pas un «point»

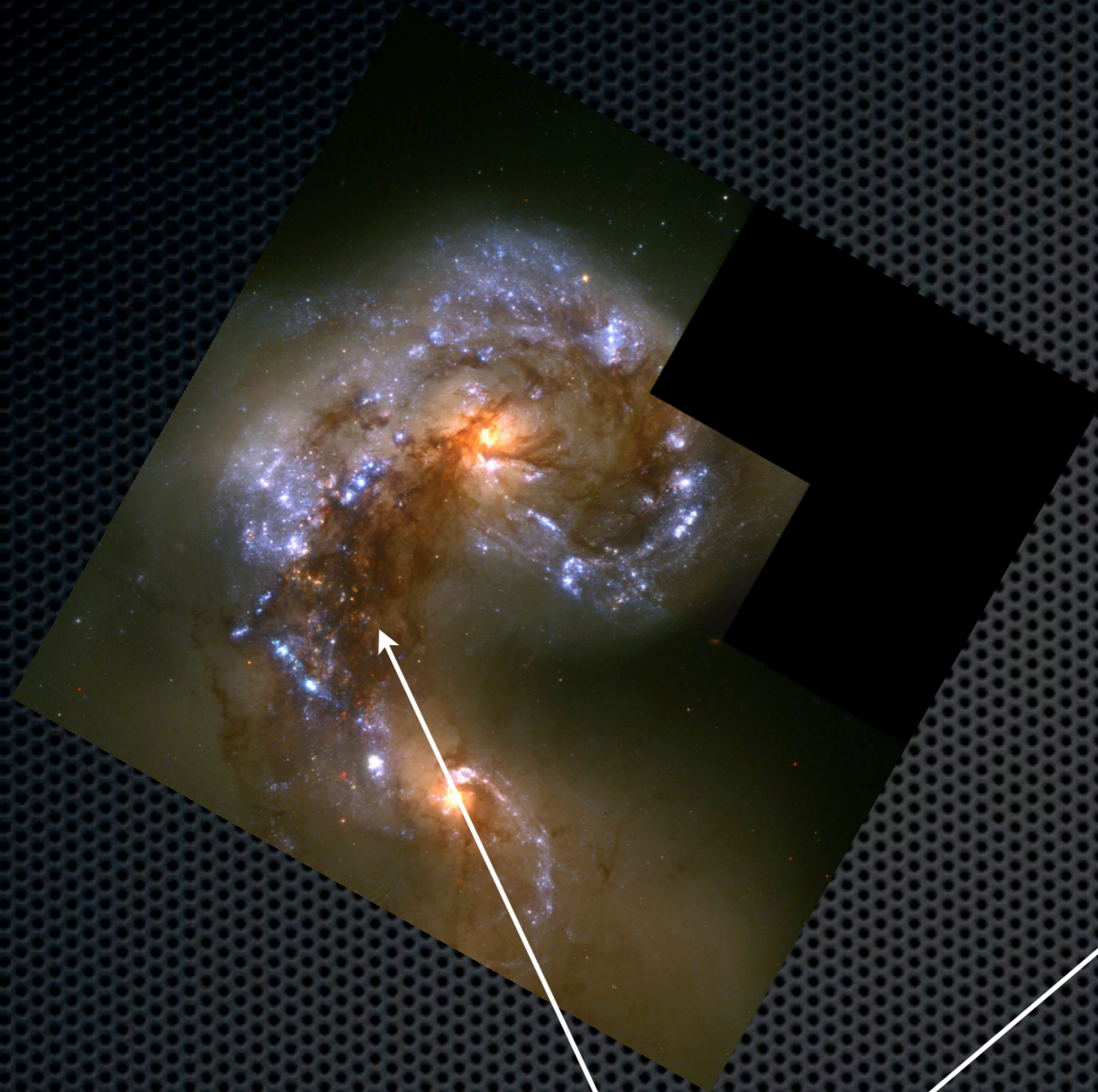


Une galaxie n'est pas un «point»

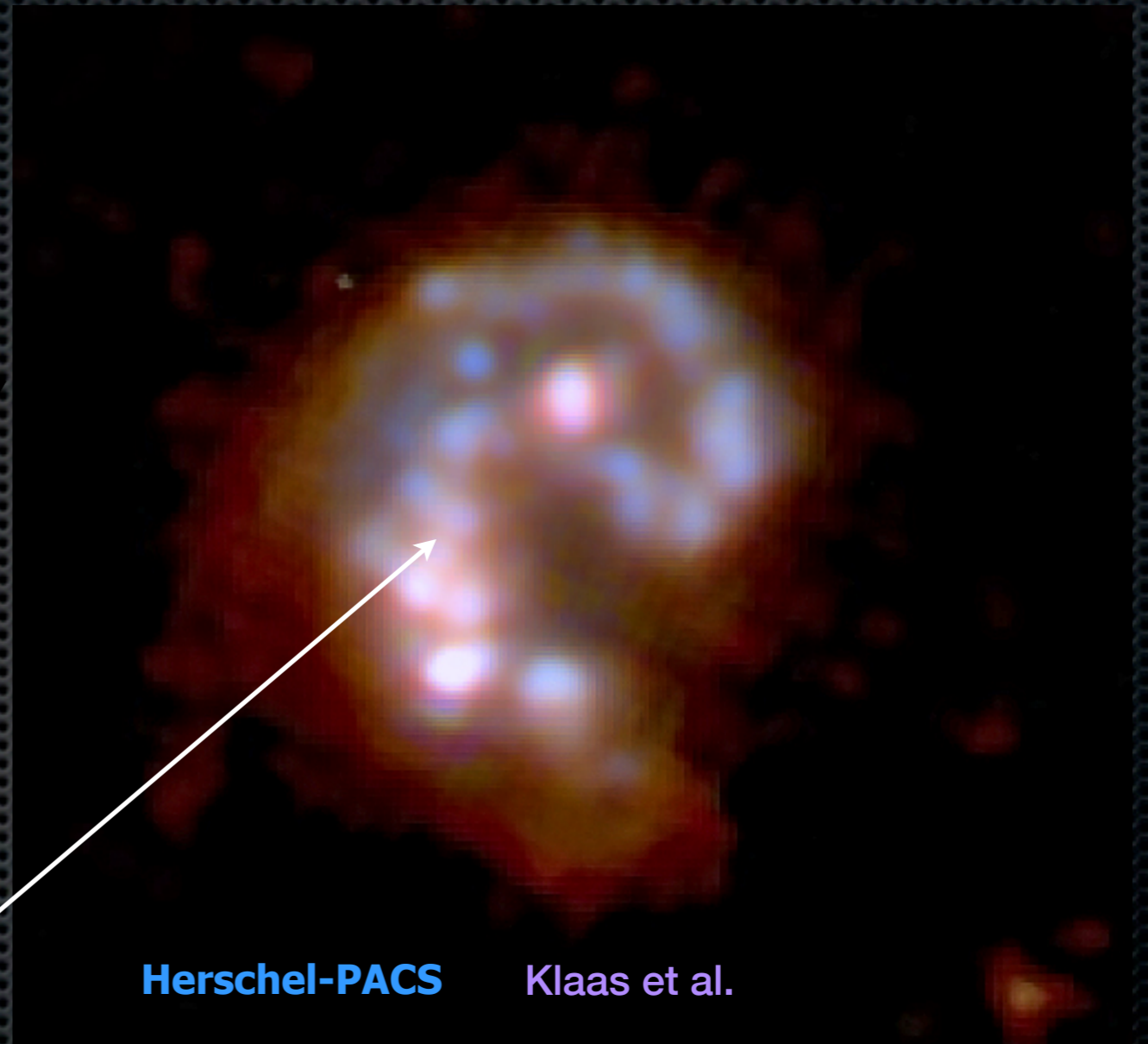


Hubble Space Telescope

Une galaxie n'est pas un «point»



Hubble Space Telescope

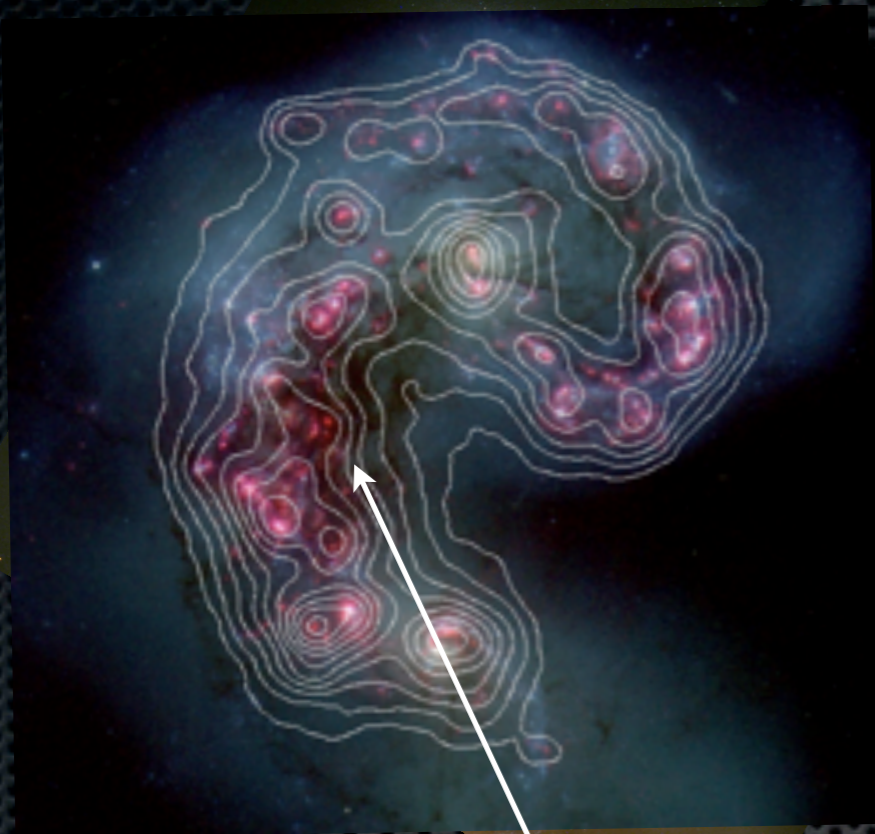


Herschel-PACS

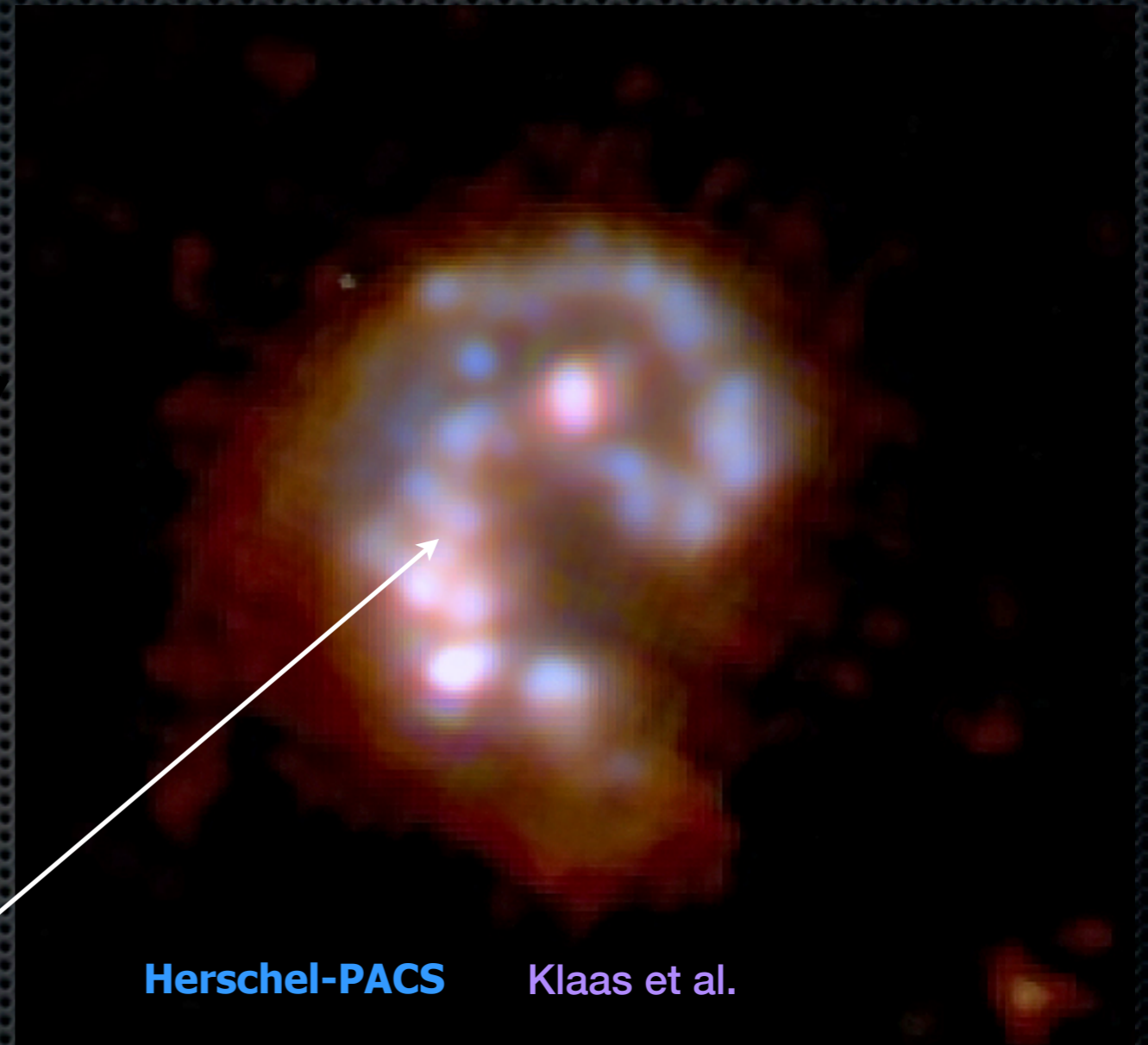
Klaas et al.

La zone de recouvrement entre les galaxies, sombre dans le domaine visible à cause des grandes quantités de poussière qui l'obscurcissent, est très brillante en infrarouge: formation d'étoile enfouie.
Les amas qui s'y trouvent représentent 20% de l'émission totale à 100 μm

Une galaxie n'est pas un «point»



Hubble Space Telescope

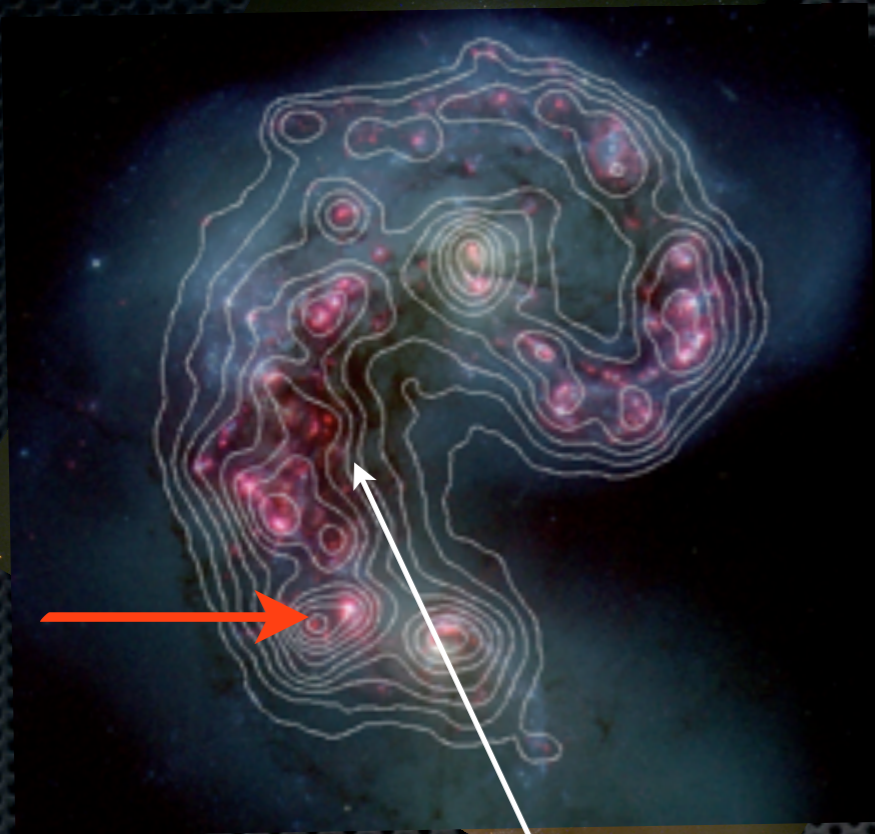


Herschel-PACS

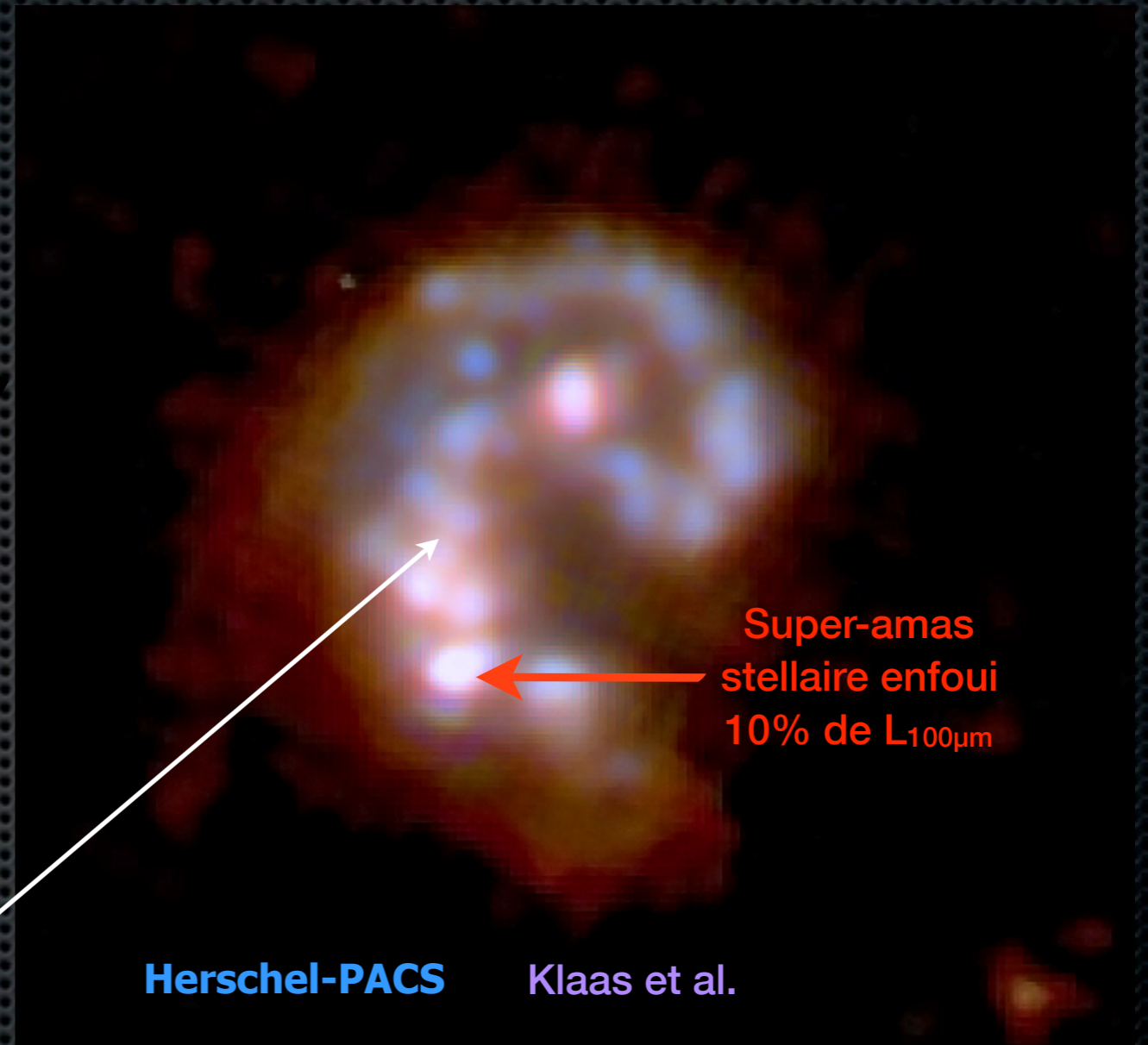
Klaas et al.

La zone de recouvrement entre les galaxies, sombre dans le domaine visible à cause des grandes quantités de poussière qui l'obscurcissent, est très brillante en infrarouge: formation d'étoile enfouie.
Les amas qui s'y trouvent représentent 20% de l'émission totale à 100 μm

Une galaxie n'est pas un «point»



Hubble Space Telescope

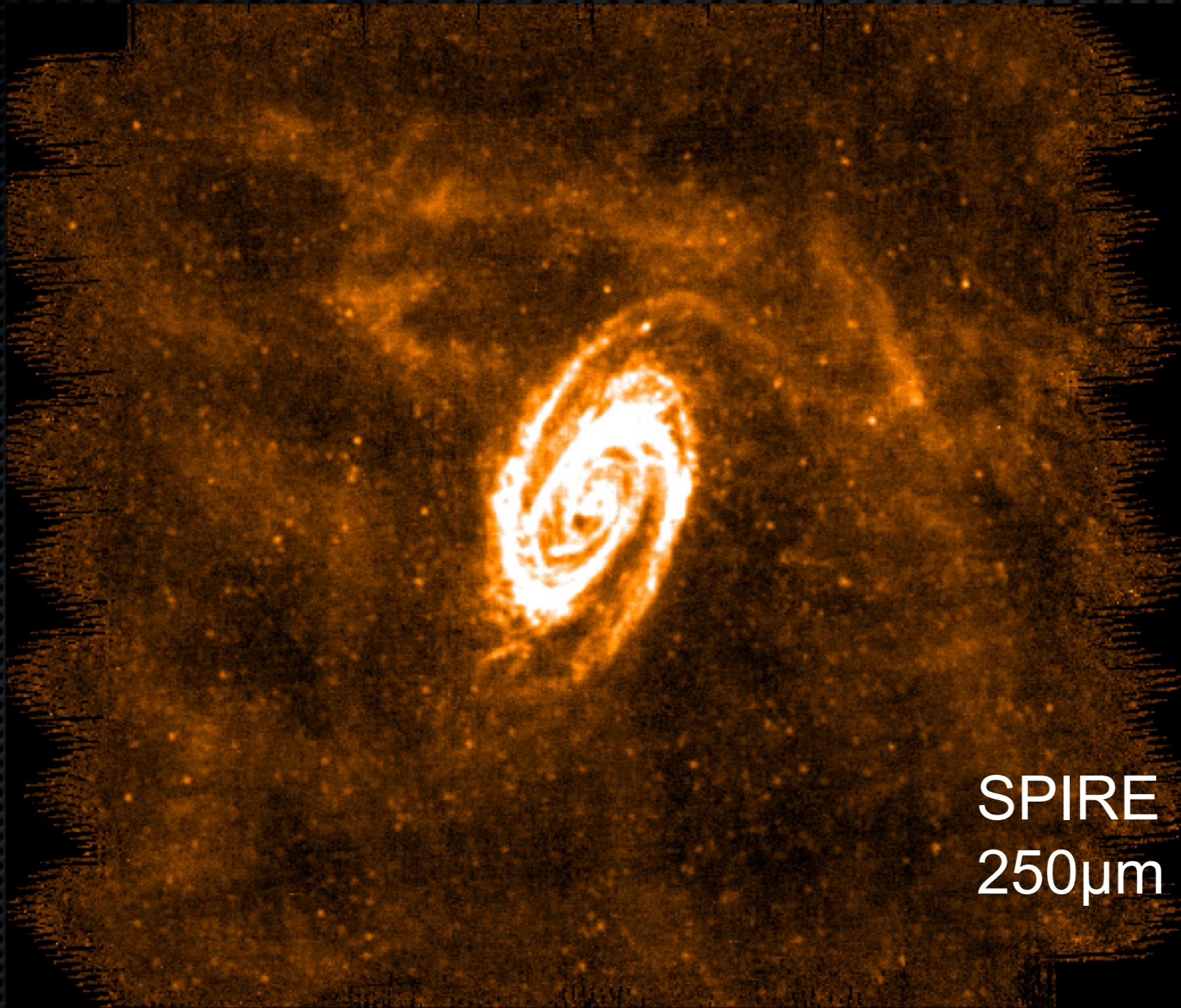


Herschel-PACS

Klaas et al.

La zone de recouvrement entre les galaxies, sombre dans le domaine visible à cause des grandes quantités de poussière qui l'obscurcissent, est très brillante en infrarouge: formation d'étoile enfouie.
Les amas qui s'y trouvent représentent 20% de l'émission totale à 100 μm

M81, une galaxie spirale froide?



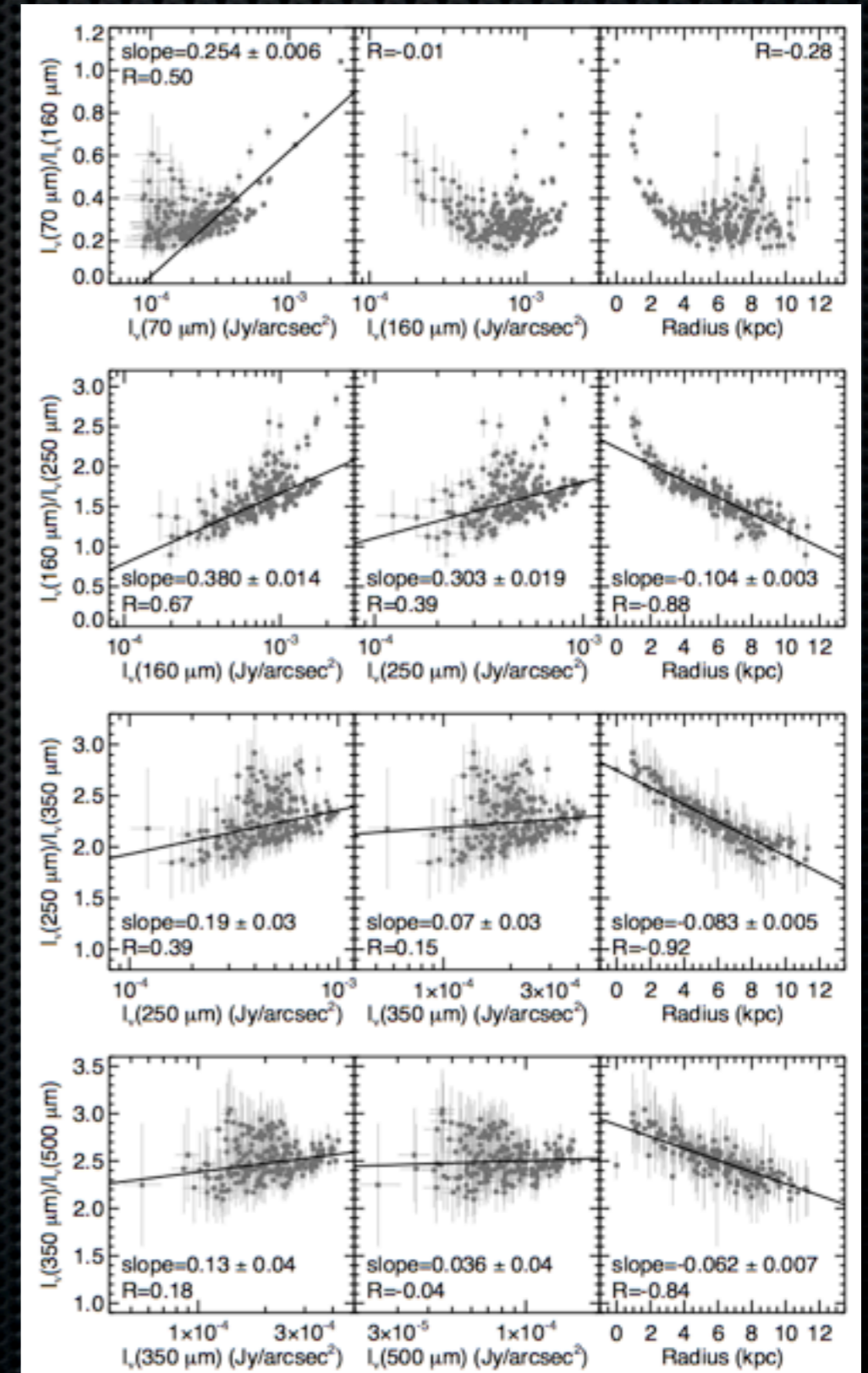
M81 - Couleurs infrarouges

- *Interprétation standard:*
 - La brillance infrarouge d'une région est liée à son activité de formation stellaire.
 - L'augmentation de l'activité de formation stellaire augmente la température de la poussière.
 - Donc les régions brillantes en infrarouge doivent aussi être plus chaudes.

M81 - Couleurs infrarouges

- *Interprétation standard:*

- La brillance infrarouge d'une région est liée à son activité de formation stellaire.
- L'augmentation de l'activité de formation stellaire augmente la température de la poussière.
- Donc les régions brillantes en infrarouge doivent aussi être plus chaudes.



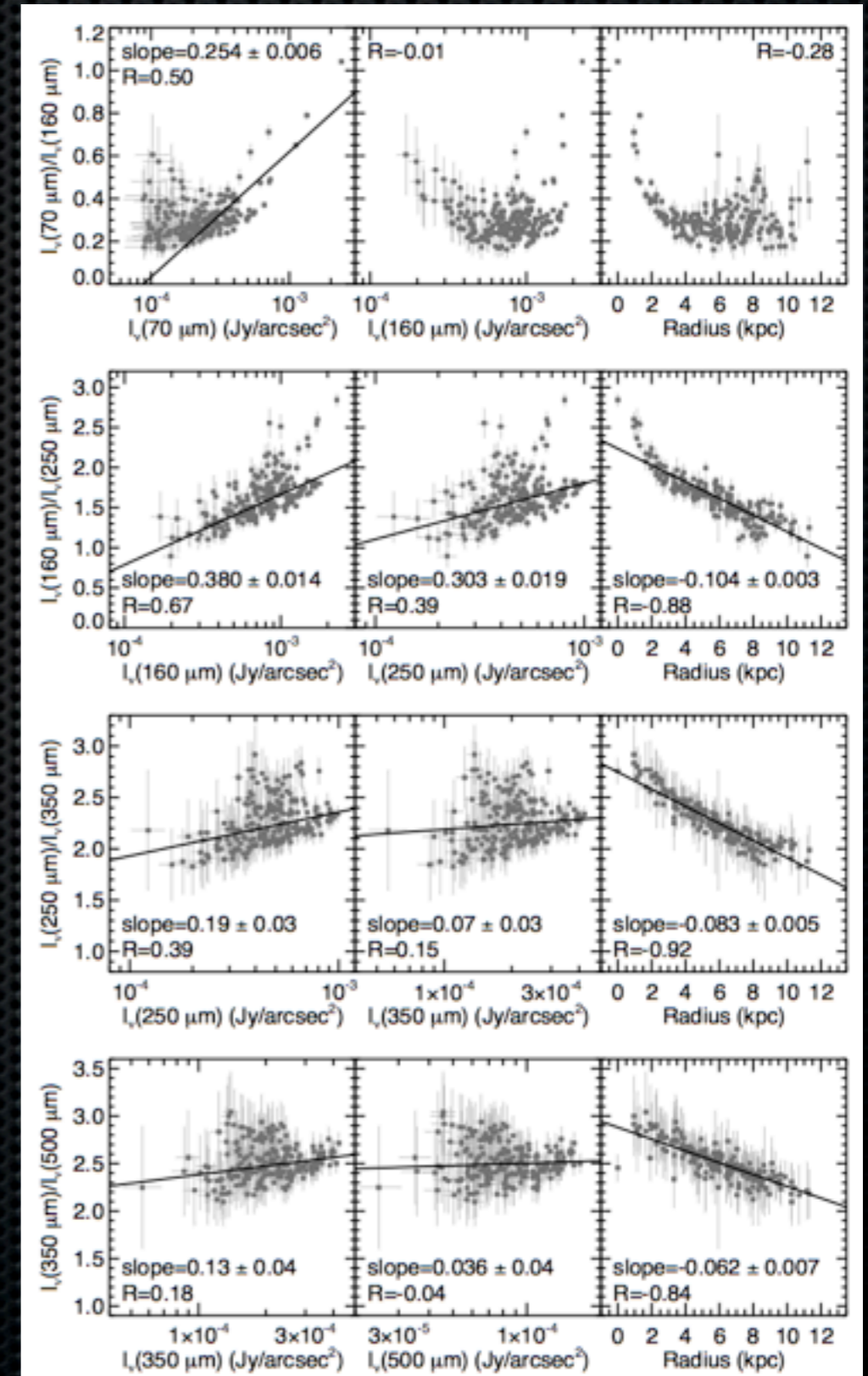
M81 - Couleurs infrarouges

✦ *Interprétation standard:*

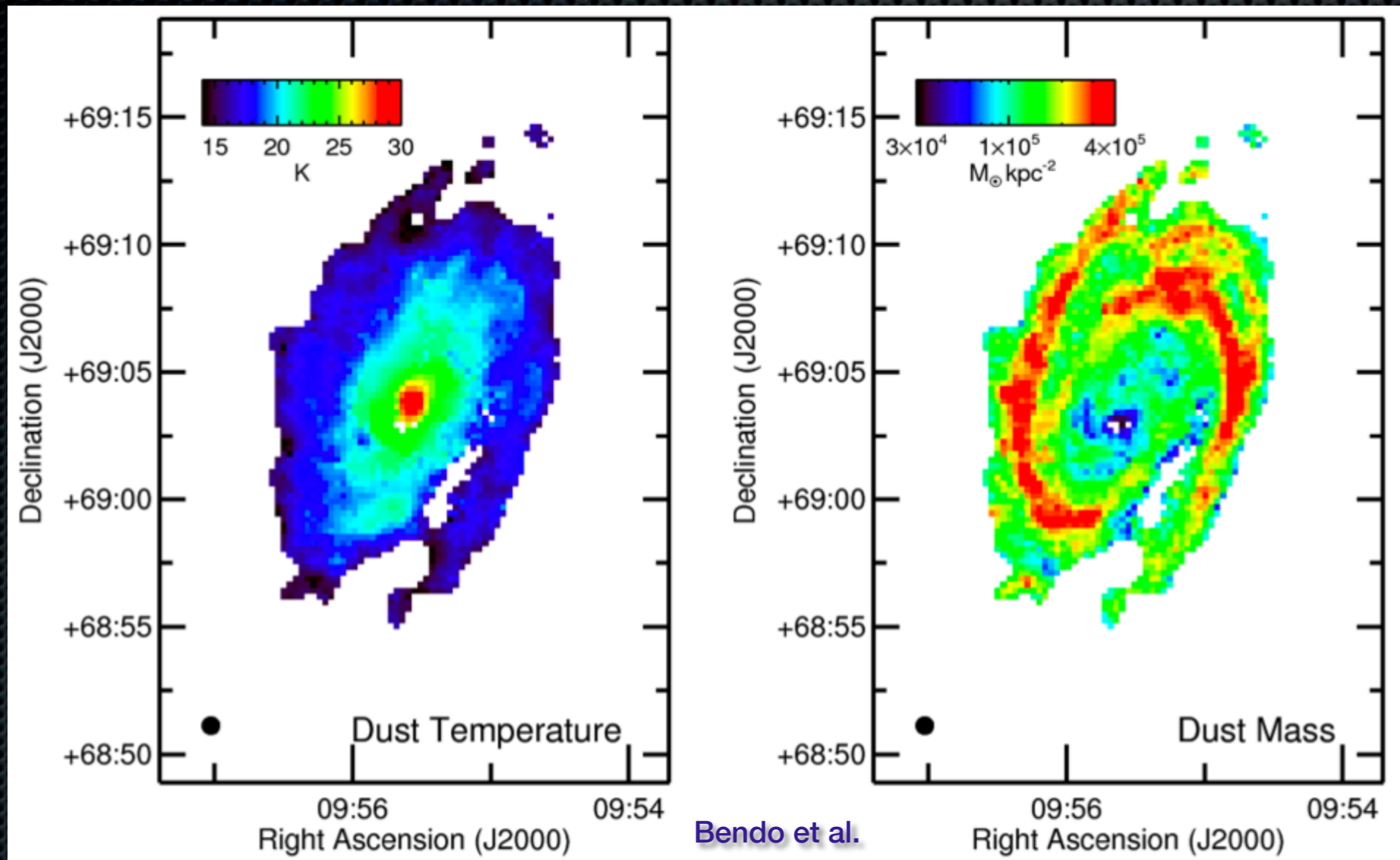
- ✦ La brillance infrarouge d'une région est liée à son activité de formation stellaire.
- ✦ L'augmentation de l'activité de formation stellaire augmente la température de la poussière.
- ✦ Donc les régions brillantes en infrarouge doivent aussi être plus chaudes.

✦ *Problème avec M81:*

- ✦ Les corrélations des couleurs avec la brillance sont présentes à courte longueur d'onde mais sont en général faibles ou absentes à grande longueur d'onde.
- ✦ Les corrélations sont toujours plus forte avec le rayon.



M81: Température et masse de poussières



La structure spirale infrarouge (brillante) n'est pas due à une augmentation du chauffage par les populations stellaires jeunes qui s'y trouve. La température de la poussière est surtout distribuée radialement. Les bras spiraux visibles en IR tracent en fait des empilements de poussières «poussés» par l'onde spirale.

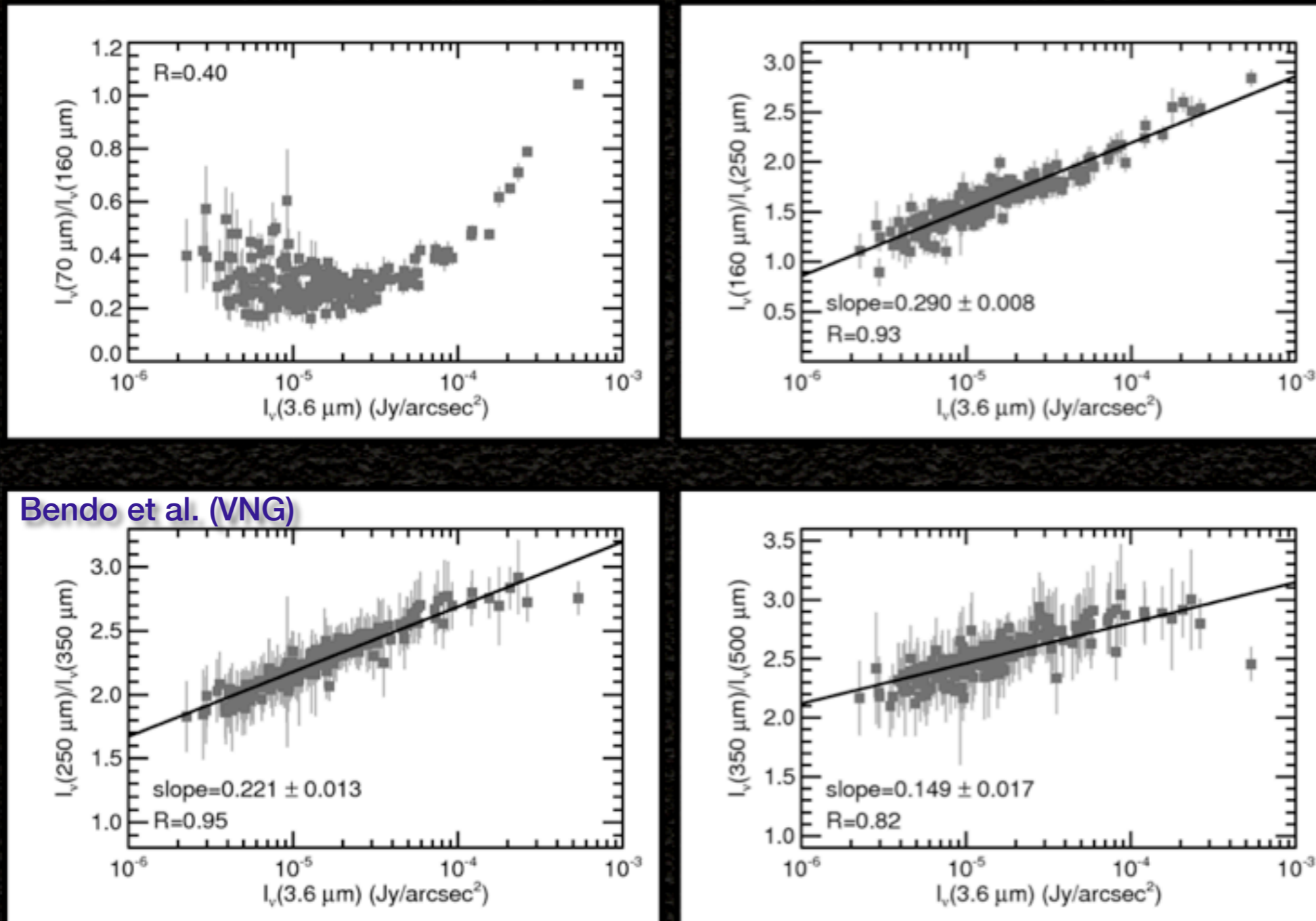
Source d'énergie pour l'émission FIR

Quelle est la composante des galaxies qui ne présente quasiment pas de structure spirale?

Source d'énergie pour l'émission FIR

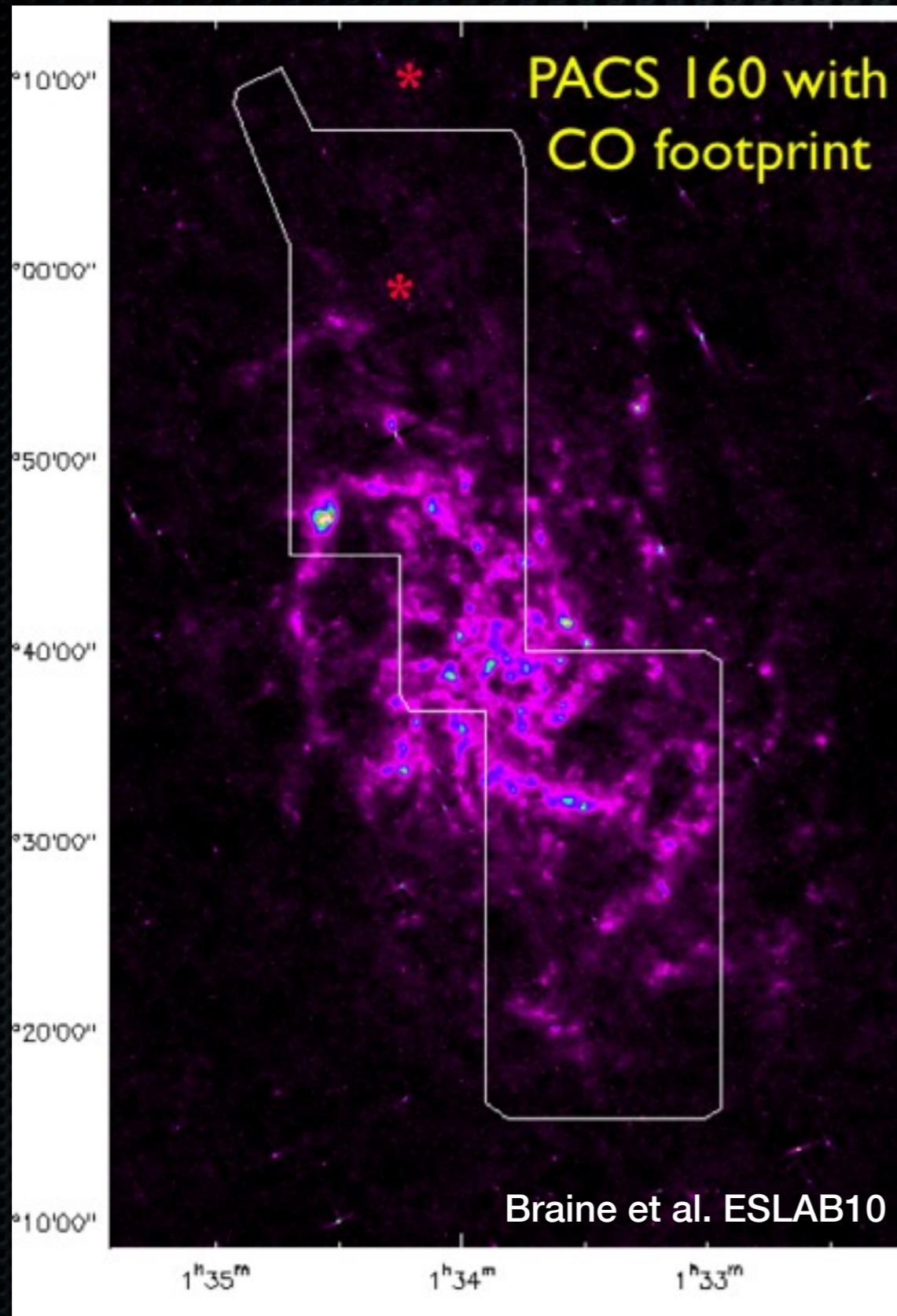


Source d'énergie pour l'émission FIR



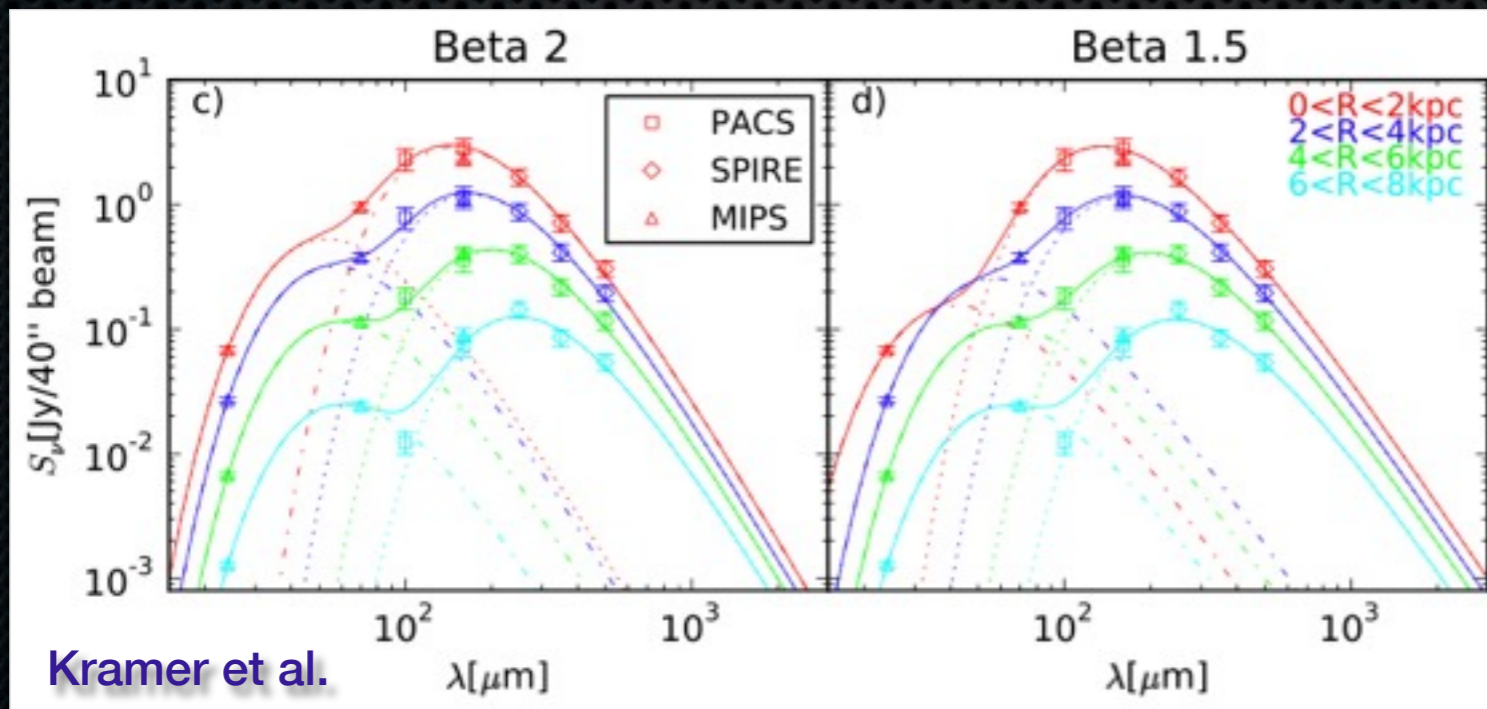
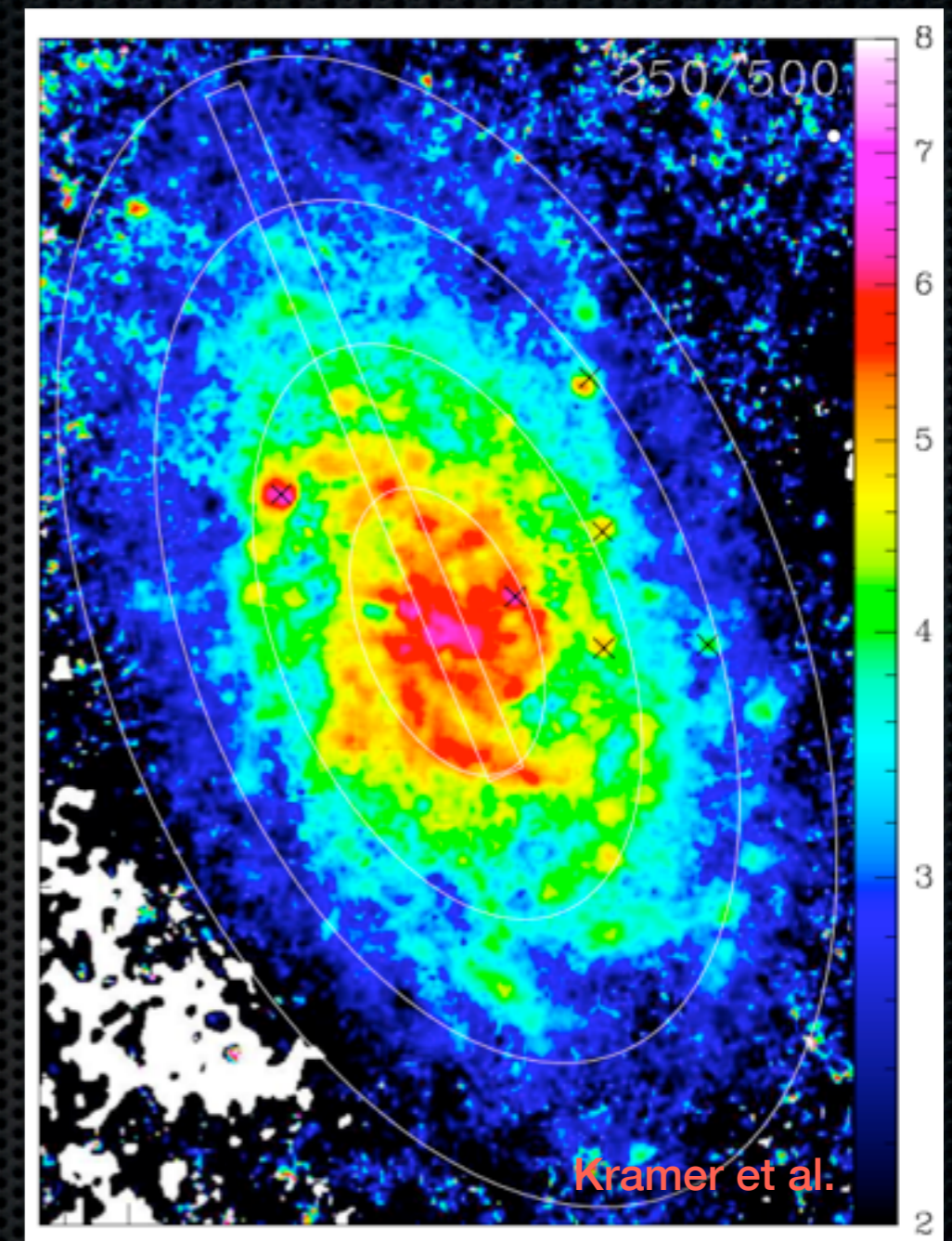
- A partir de $160 \mu\text{m}$, les couleurs infrarouges (température de la poussière) sont fortement corrélées avec l'émission infrarouge proche: les vieilles populations stellaires, $\geq 1 \text{ Gyr}$, responsables du champ de radiation moyen dans la galaxie.
- Il y a un changement de régime thermique entre 70 et $160 \mu\text{m}$.

M33 une spirale «chaude»?



M33 - Toutes les galaxies ne sont pas comme M81

- La structure spirale est visible dans la carte de température, mais un fort gradient radial aussi.
- Les SEDs calculées dans des ellipses concentriques montrent clairement que la poussière se refroidit à grand rayon.
- M33 est une galaxie relativement active, mais la plupart de la poussière (en masse) y est froide.



Formation d'étoiles dans la Galaxie

Formation d'étoiles dans la Galaxie

- Toutes les étoiles n'ont pas la même masse, mais les mécanismes qui déterminent la masse des étoiles sont mal connus.
 - Ces mécanismes sont à l'œuvre dès les premières phases de contraction des nuages interstellaires.

Formation d'étoiles dans la Galaxie

- Toutes les étoiles n'ont pas la même masse, mais les mécanismes qui déterminent la masse des étoiles sont mal connus.
 - Ces mécanismes sont à l'œuvre dès les premières phases de contraction des nuages interstellaires.
- Le processus de formation stellaire est loin d'être aussi efficace qu'on aurait pu le penser.
 - Quels sont les mécanismes de feedback? Trop de formation stellaire peut-il tuer la formation stellaire?

Formation d'étoiles dans la Galaxie

- Toutes les étoiles n'ont pas la même masse, mais les mécanismes qui déterminent la masse des étoiles sont mal connus.
 - Ces mécanismes sont à l'œuvre dès les premières phases de contraction des nuages interstellaires.
- Le processus de formation stellaire est loin d'être aussi efficace qu'on aurait pu le penser.
 - Quels sont les mécanismes de feedback? Trop de formation stellaire peut-il tuer la formation stellaire?
- Interactions entre la formation stellaire et le milieu interstellaire.

Nuage de formation stellaire dans l'Aigle



- $\sim 3^\circ \times 3^\circ$

Rouge : SPIRE 500 μm

Vert : PACS 160 μm

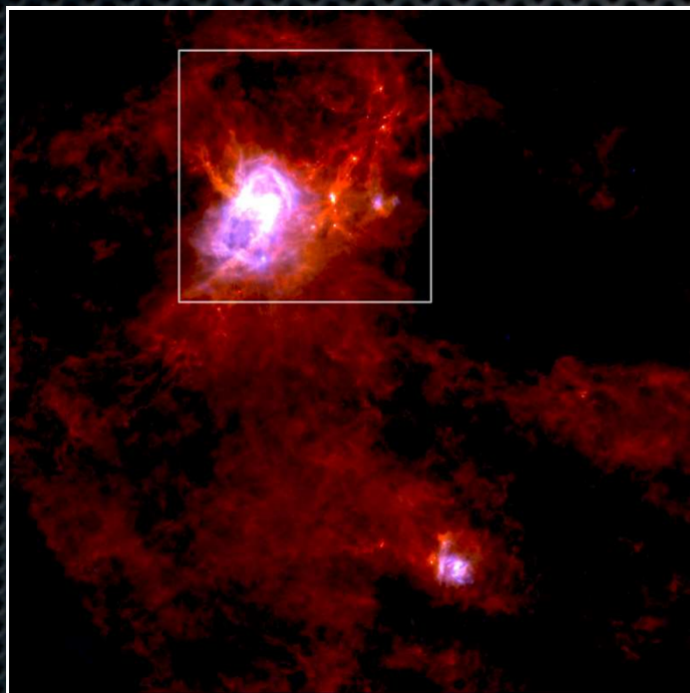
Bleu : PACS 70 μm

- +700 condensations pré-stellaires

- +300 objets stellaires jeunes

La formation stellaire dans les filaments

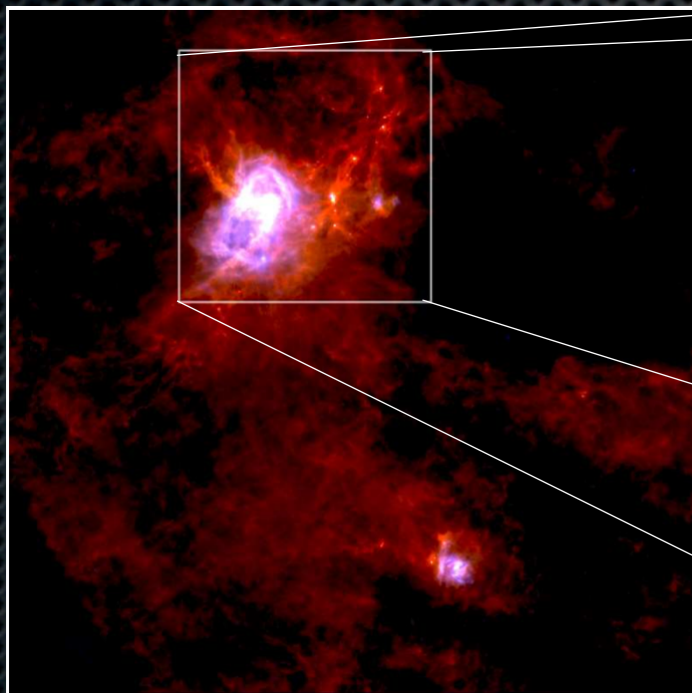
- Le milieu interstellaire est extrêmement structuré (sous l'effet de la turbulence) .
- Herschel met en évidence pour la première fois à très grande échelle le fait que les sites de formation stellaire sont intimement liés à la structure du milieu interstellaire.
- La physique du milieu interstellaire et de sa structuration sont les clefs pour comprendre l'origine de la masse des étoiles.



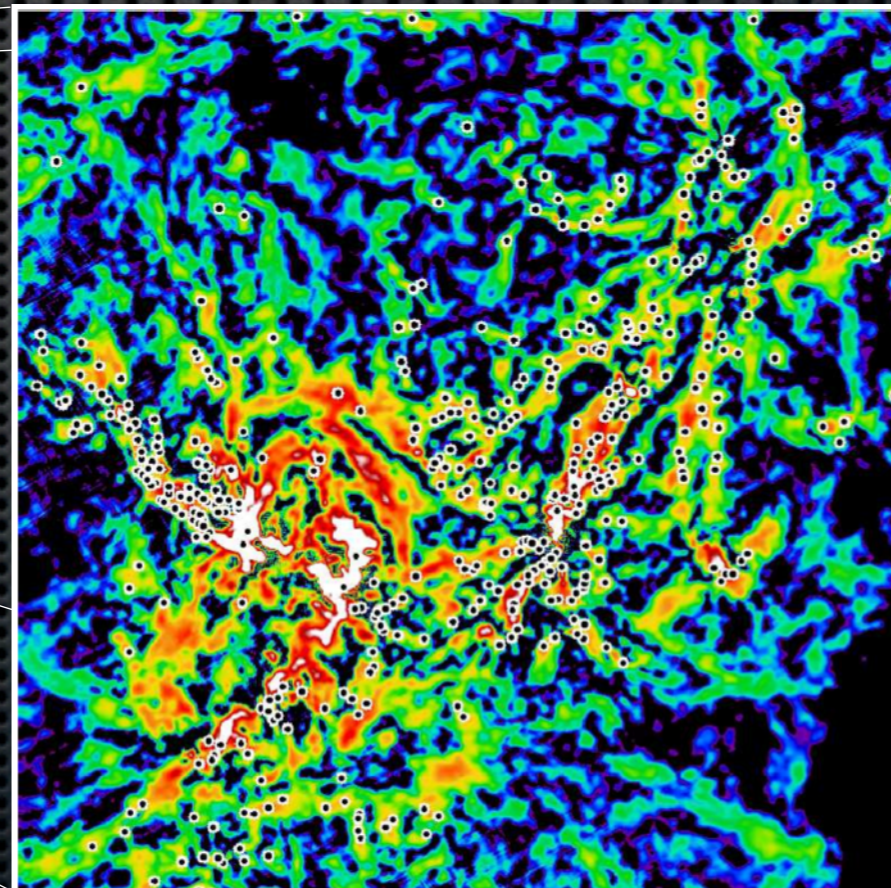
Aquila en trois couleurs
(70, 160, 250+350+500)

La formation stellaire dans les filaments

- Le milieu interstellaire est extrêmement structuré (sous l'effet de la turbulence) .
- Herschel met en évidence pour la première fois à très grande échelle le fait que les sites de formation stellaire sont intimement liés à la structure du milieu interstellaire.
- La physique du milieu interstellaire et de sa structuration sont les clefs pour comprendre l'origine de la masse des étoiles.



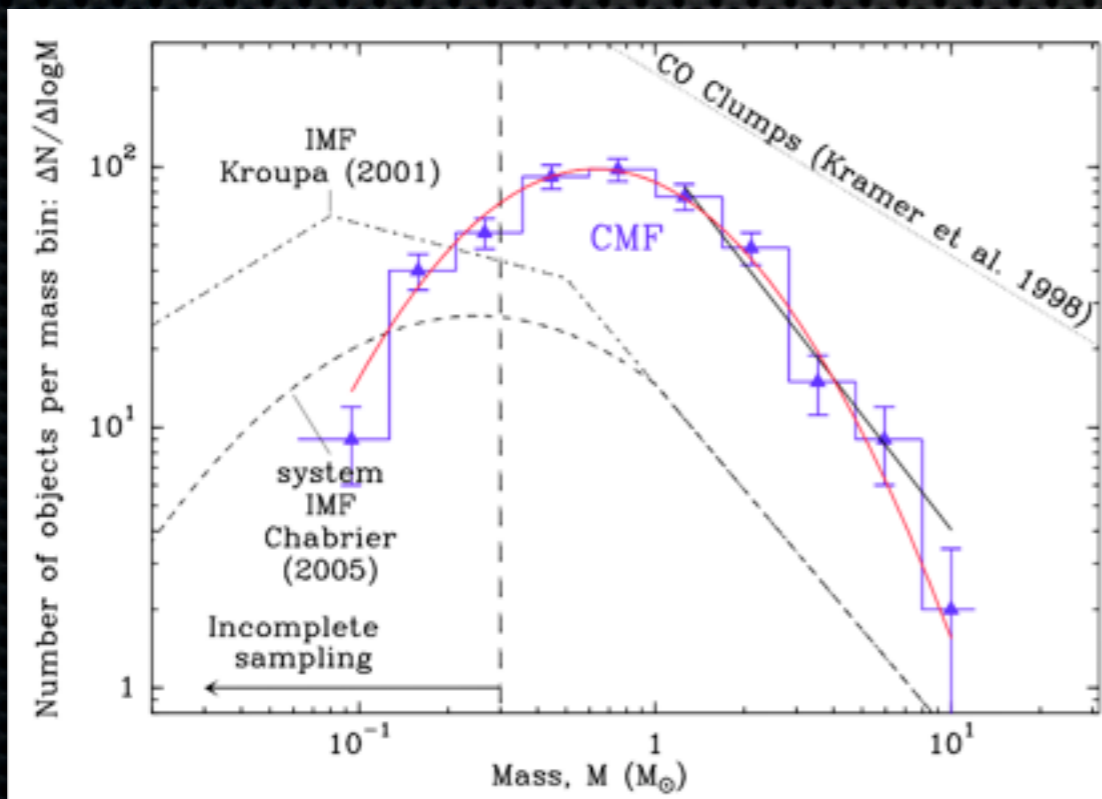
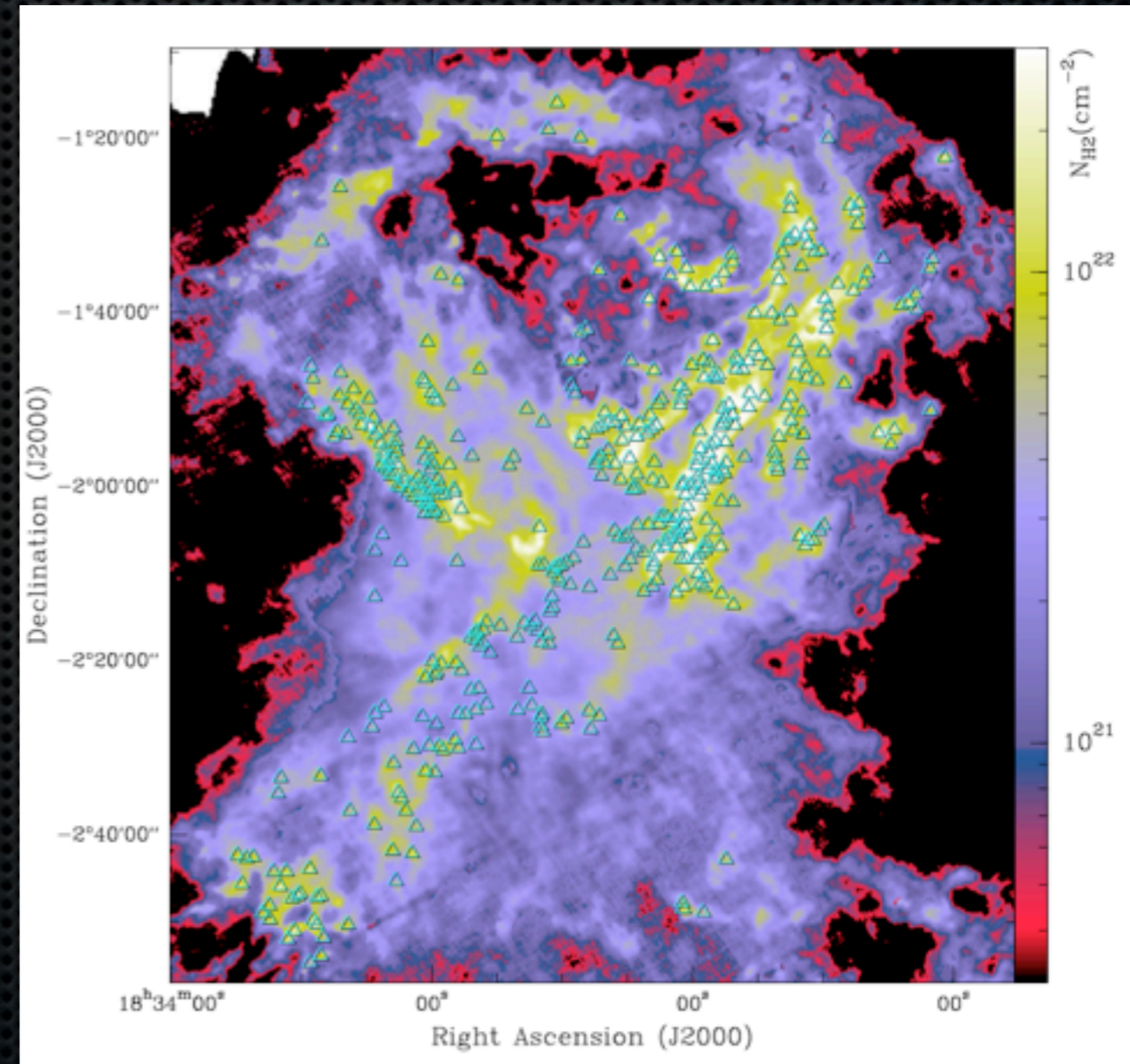
Aquila en trois couleurs
(70, 160, 250+350+500)



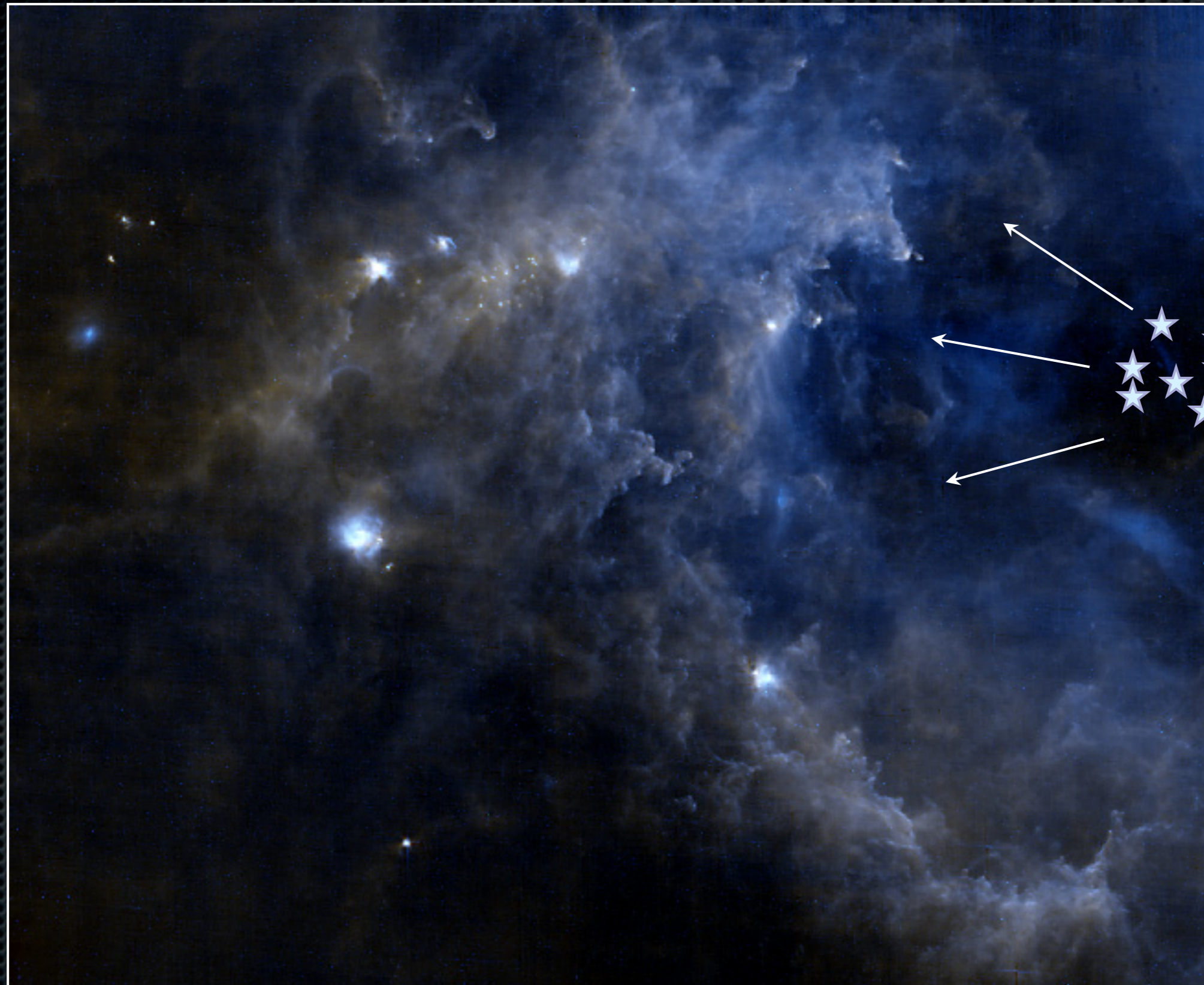
Traitement d'image pour détecter les filaments,
avec cœurs pré-stellaires superposés

Fonction de masse des coeurs pré-stellaires

- La couverture spectrale d'Herschel permet de déterminer la masse des coeurs des nuages.
- La fonction de distribution de cette masse est nettement différente de celle des nuages moléculaires.
- Elle commence à ressembler de très près à la fonction de masse initiale des étoiles.



Nuage moléculaire de la Rosette



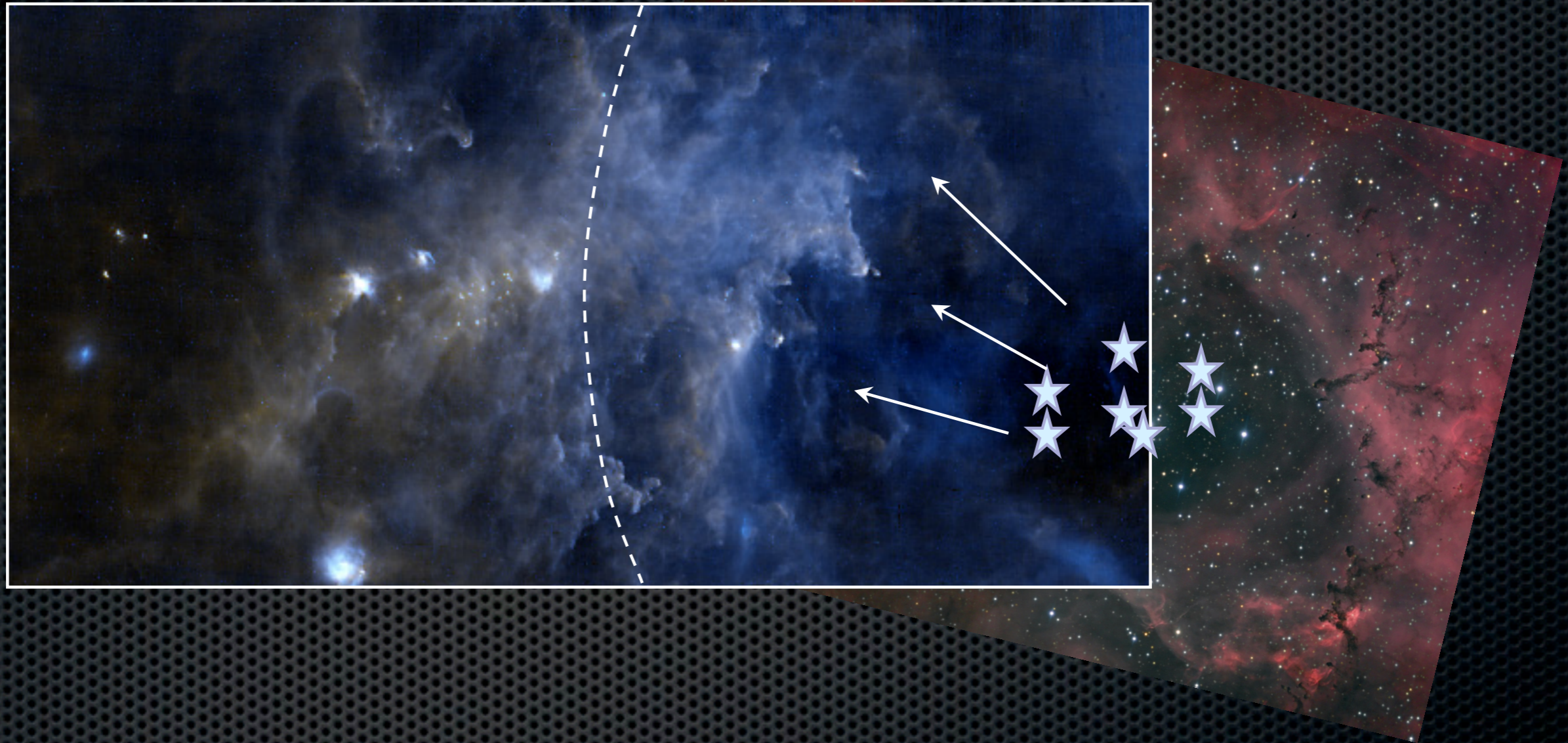
2 pc

PACS 70, 160 μm

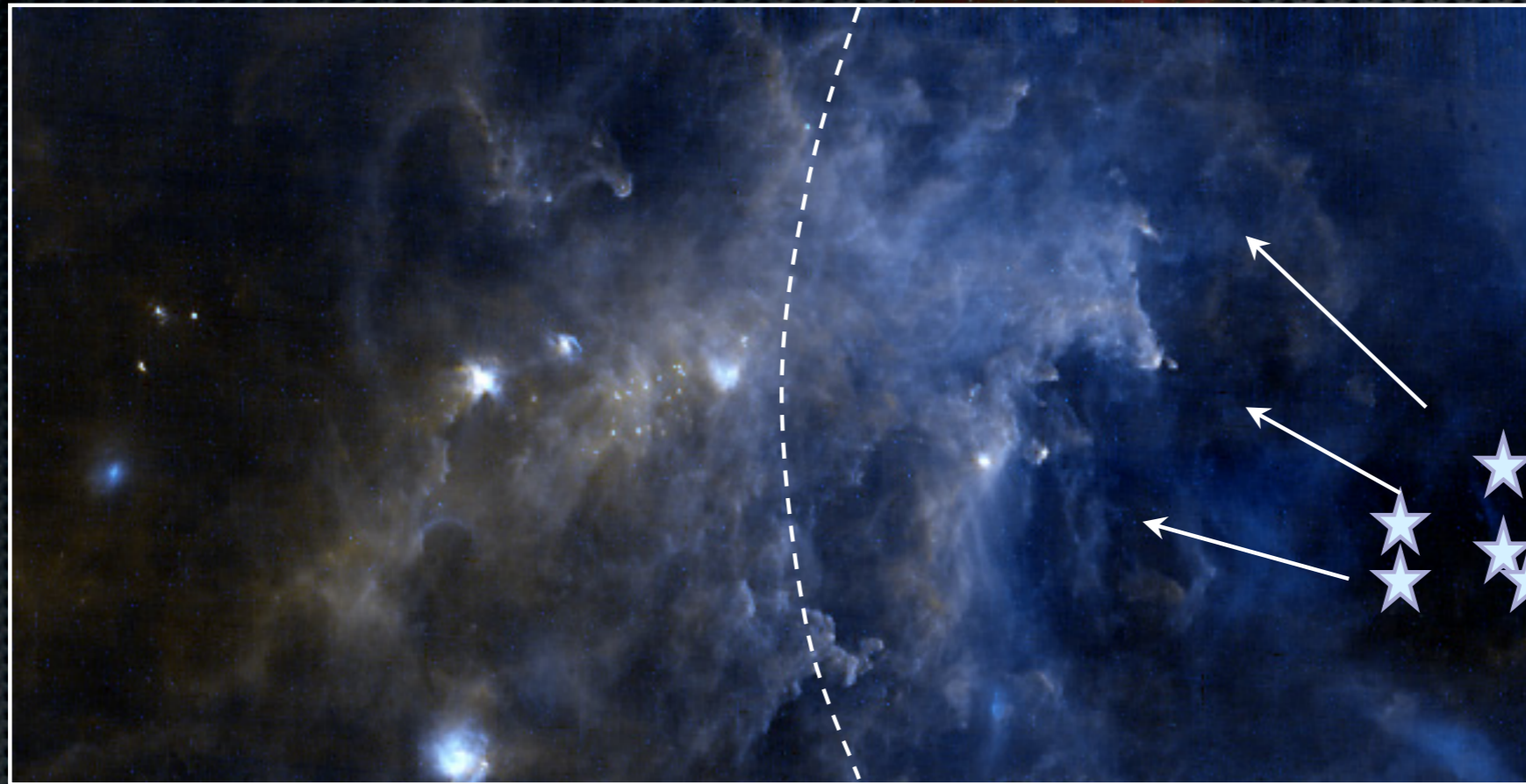
Transition gaz ionisé <> gaz moléculaire



Transition gaz ionisé <> gaz moléculaire

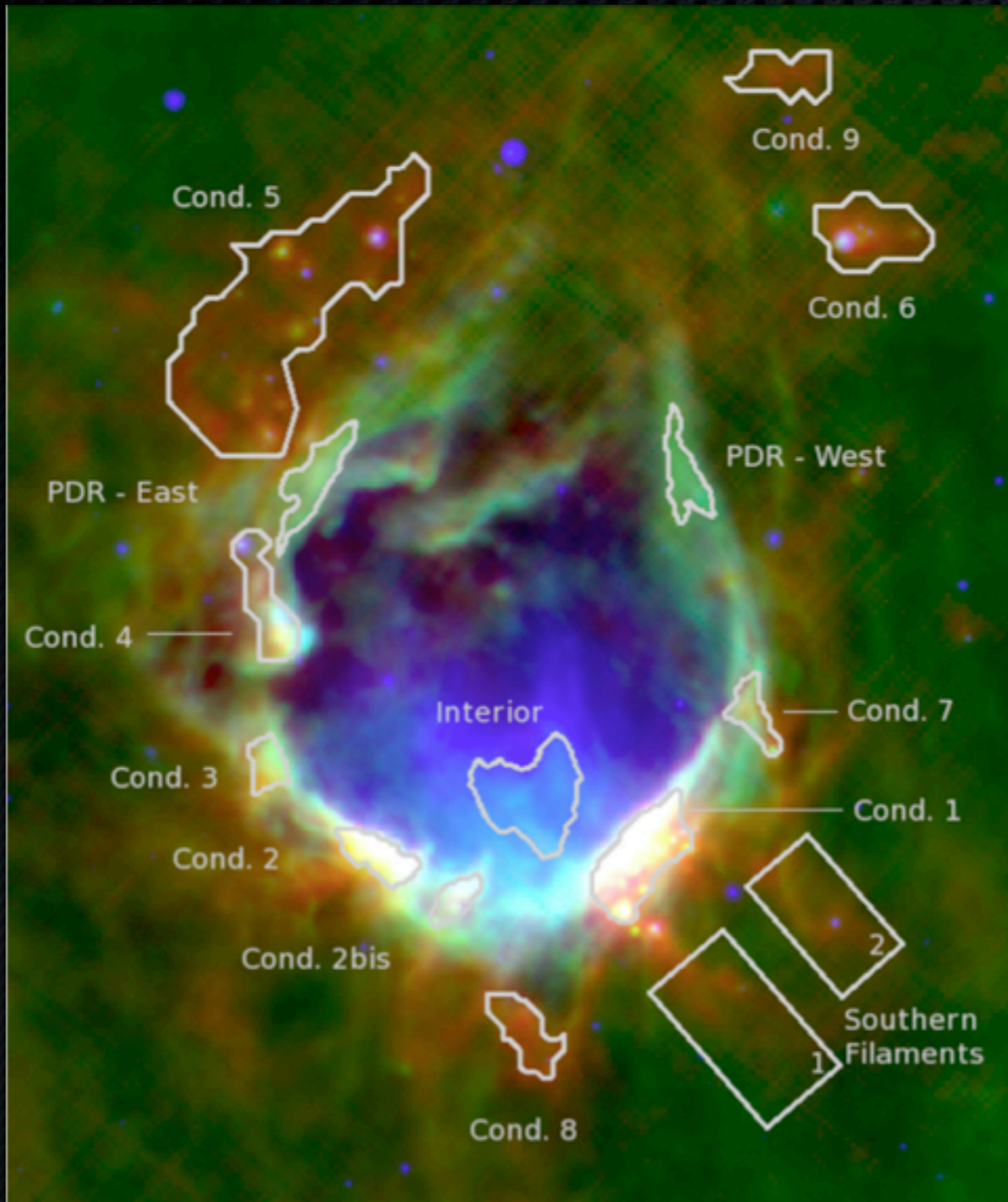


Transition gaz ionisé <> gaz moléculaire

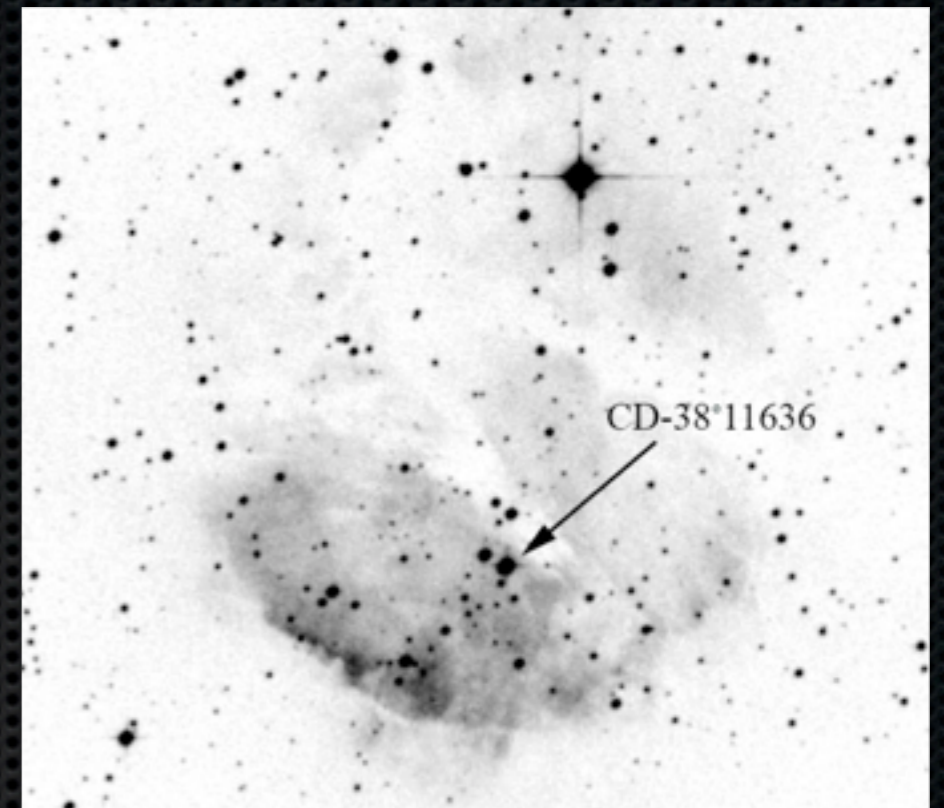


- Le champ ultraviolet de l'amas sculpte toute la région.
- La position de l'interface permet de donner un âge à la région.
 - 10 pc à 10 - 20 km/s donne 1 - 2 Myr.
- La formation stellaire induite se développe dans les poches de gaz froid et dense, près de l'interface avec la bulle ionisée.

RCW 120 - la bulle parfaite



Bleu: 24 μ m poussière chaude, Vert: 100 μ m,
Rouge: 250 μ m poussière froide

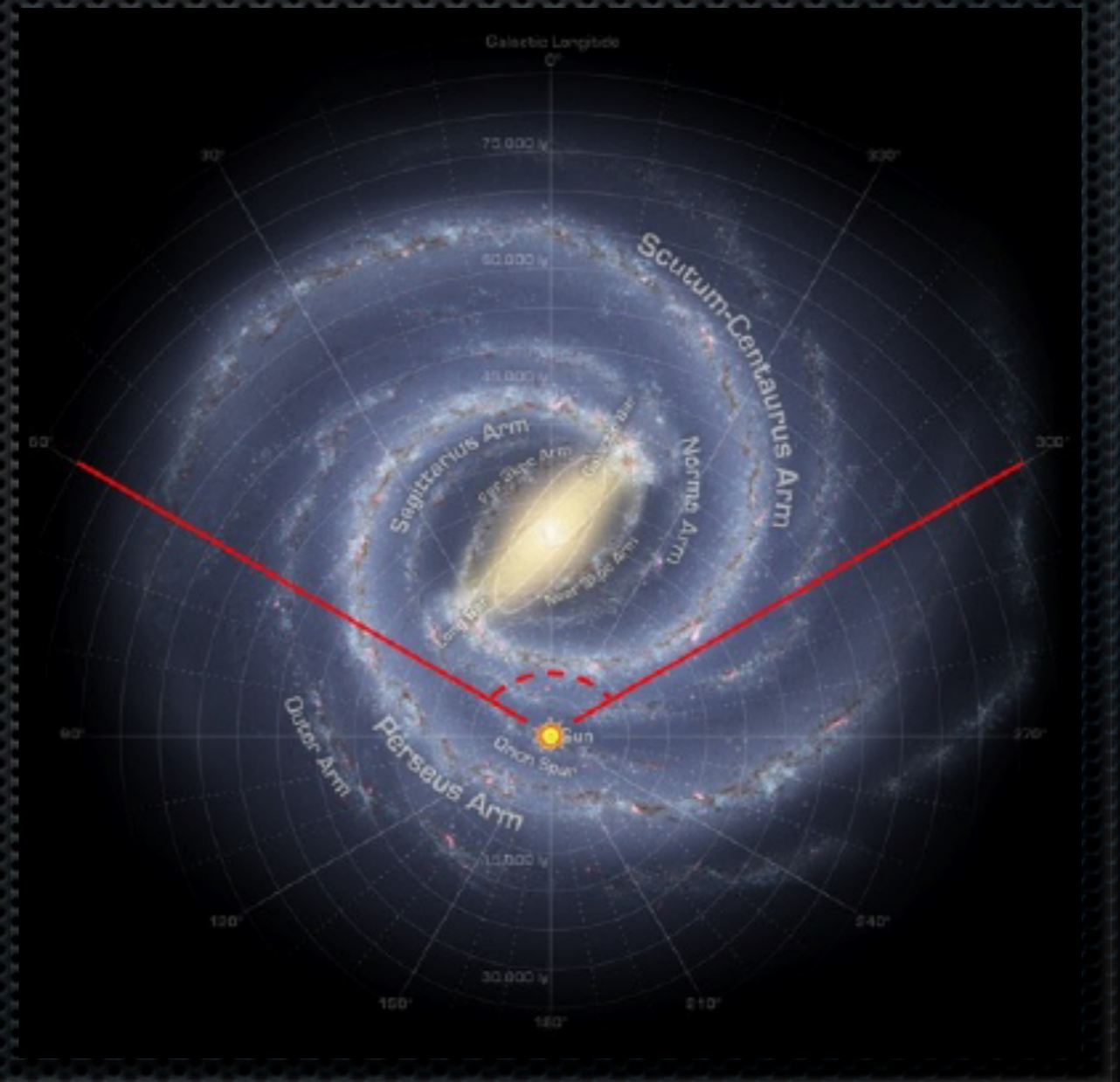


H α - gaz ionisé par les étoiles massives

Exemple type du mécanisme «collect and collapse»: la formation d'un amas génère une bulle de gaz chaud et ionisé sur le bord de laquelle une nouvelle génération d'étoiles se prépare.

Notre Galaxie

Relevé systématique du quadrant interne de notre galaxie pour déterminer la luminosité, la masse et le spectre des structures de la poussière à toutes les échelles, depuis les objets stellaires jeunes massifs jusqu'aux bras spiraux.



IRAS 60

