

MÉMO B

De la lumière à l'image

Nous baignons dans la lumière. Elle nous entoure, paraissant à chacun évidente et familière. Pourtant, l'œil humain n'est sensible qu'à une infime partie du spectre lumineux, la région comprise entre 400 et 700 μm environ. Ainsi, à côté de la lumière visible, existe-t-il une lumière invisible constituant la grande majorité du spectre électromagnétique (voir *mémo A*). Pour connaître et explorer l'Univers de façon aussi complète que possible, les astrophysiciens ont besoin de collecter l'ensemble de ces lumières invisibles pour réaliser des images du ciel « invisible ». Jusqu'à présent, ce type d'images a souvent permis de mettre en lumière un Univers inattendu, comme un Univers variable à l'échelle de quelques heures dans le domaine de la lumière γ .

Comment procéder pour représenter des astres émettant des lumières invisibles sur des cartes visibles ? Cette question pose le rapport entre l'astrophysique et l'image. Par définition, une image est la représentation, analogique ou numérique, en deux voire trois dimensions, d'une réalité appréhendée par la mesure d'une grandeur physique. Une image de l'invisible est donc l'image d'une réalité impossible à observer à l'œil nu. La traduire en une image visible à nos yeux suppose de passer par une série d'étapes. La première d'entre elles consiste à utiliser un détecteur, instrument capable de capter la lumière invisible émise par une source lumineuse, puis à convertir la lumière reçue en courant électrique mesurable – le détecteur faisant office d'interface entre la lumière et le



Image de la galaxie M 51 (galaxie Whirlpool) dans l'infrarouge lointain, en trois couleurs : le rouge, le vert et le bleu correspondent à trois longueurs d'onde : 160, 100 et 70 μm (Photodetector Array Camera and Spectrometer / PACS).

signal. À titre de comparaison, il s'agit d'un procédé similaire à celui convertissant la lumière solaire en électricité au moyen de cellules photovoltaïques. Mais il existe bien d'autres moyens pour transformer la lumière en signal. Par exemple, les **bolomètres** conçus pour scruter le ciel dans le **rayonnement infrarouge** submillimétrique convertissent la lumière en une variation de la température d'un matériau qui l'absorbe. Ce modeste échauffement

induit une variation de résistance électrique de ce même matériau : la mesure de cette variation donne alors accès au flux lumineux incident.

La seconde étape, la digitalisation, consiste à traduire ce signal sous forme numérique pour le rendre apte au traitement informatique. Plus l'intensité de la source lumineuse est élevée, plus l'instrument donnera, « en sortie », un signal élevé. Les images numériques ainsi obtenues se composent de milliers, ou de millions, de carrés qui doivent être aussi petits que possible pour obtenir une image fine. L'image est ainsi formée d'une mosaïque de nombres représentant chacun l'information lumineuse reçue par chaque élément. Dans le vocabulaire de l'informatique, ces petits carrés portent le nom de **pixel** (« px » en abrégé), contraction de l'expression anglaise *picture elements*, c'est-à-dire « éléments d'image ». Il s'agit donc de la plus petite unité de surface permettant de définir la base d'une image numérique. Celle-ci n'est donc rien d'autre qu'un tableau à deux dimensions dont chaque case est un pixel. Pour obtenir informatiquement une image, il suffit

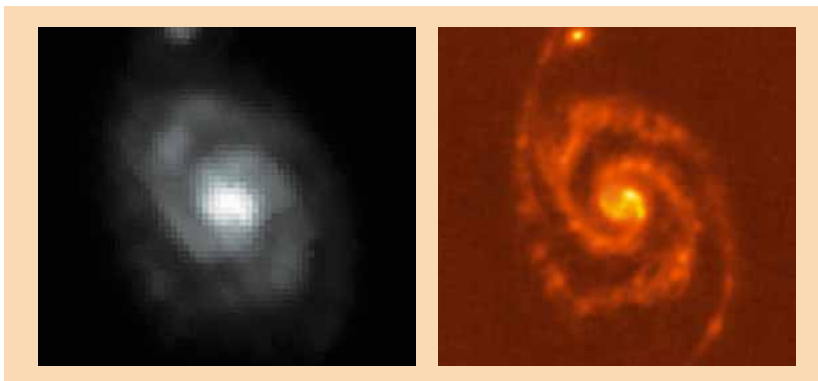
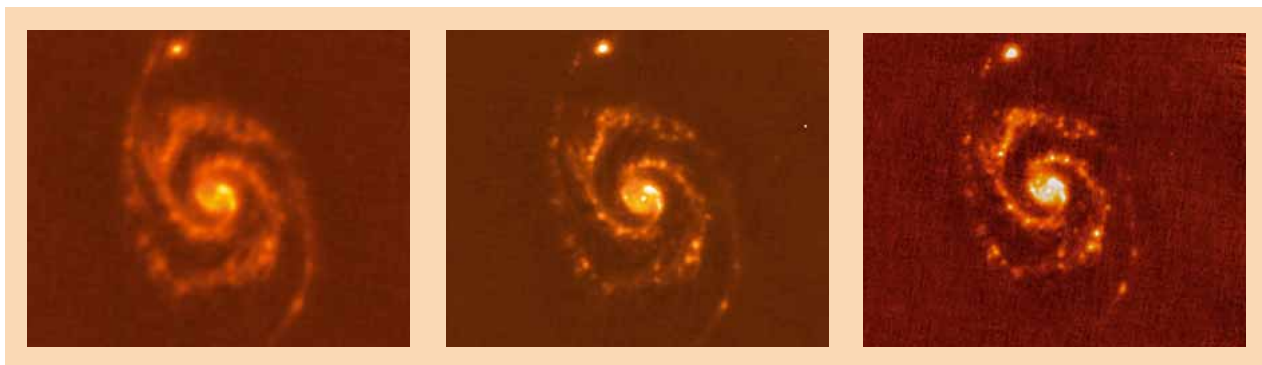


Image de la galaxie spirale M 51 (galaxie Whirlpool) dans l'infrarouge lointain (160 μm) par Spitzer/MIPS (à gauche) et par Herschel/PACS (à droite). Grâce à son miroir de 3,5 m, à comparer à 0,8 m pour Spitzer, Herschel permet des images d'une bien meilleure résolution.

NASA/JPL-Caltech / SINGS et ESA & The PACS Consortium

ESA & The PACS Consortium



ESA & The PACS Consortium

Image de la galaxie spirale M 51 (galaxie Whirlpool) données par Herschel/PACS dans trois longueurs d'onde : 160 μm (à gauche), 100 μm (au milieu) et 70 μm (à droite). On peut constater sur ces images que la résolution augmente quand la longueur d'onde diminue.

donc de créer un tableau de pixels dont chaque case contient une valeur numérique. La qualité d'une image dépend directement de sa définition, autrement dit du nombre de pixels enregistrés en hauteur (dans l'axe vertical) et en largeur (dans l'axe horizontal). Les spécialistes s'expriment en termes de « dimension informatique », soit le nombre de colonnes de l'image multiplié par son nombre de lignes. L'intervalle de nombres que peut porter un pixel s'avère également très important car il traduit la dynamique lumineuse dont le capteur sera capable de rendre compte.

La valeur stockée dans un pixel est codée sur un certain nombre de bits déterminant la couleur ou l'intensité du pixel. L'ultime étape du processus consiste donc à établir ce code. Dans toutes les disciplines de la communication, qu'il s'agisse de mots ou d'images, un code se définit comme une règle visant à convertir de l'information sous une autre forme de représentation. Un code exprime une idée, un concept. Pour les astrophysiciens qui veulent établir des cartes de l'Univers à partir d'une gamme d'énergie détectée par leurs instruments, il s'agit de définir une convention de couleurs. Chaque discipline possède la sienne : par exemple, sur les cartes de navigation aérienne, la coloration rouge indique la présence d'orages tandis qu'en agriculture, le vert désigne un espace cultivé. Le code de couleurs défini, il faut ensuite établir un *continuum* d'intensité par rapport à l'unité de base : par exemple, pour rester dans le domaine de l'agriculture, un spectre de verts allant de la culture intensive au désert en passant par différents pourcentages de déforestation. Ce spectre peut se définir comme une sorte de faux

arc-en-ciel. En astrophysique, la gamme des couleurs permettant de coder les sources lumineuses s'étend souvent du rouge au bleu indigo ; dans cette discipline, du plus froid au plus chaud, mais aussi du moins énergétique au plus énergétique...

Une fois l'image digitalisée et codée, tous les problèmes ne sont pas résolus pour autant. Pour l'astrophysicien, reste à régler la question de la résolution angulaire qui est égale au rapport entre la longueur d'onde dans laquelle s'effectue l'observation et la taille du miroir du télescope qui collecte la lumière. La résolution angulaire mesure la taille angulaire des plus petits détails perceptibles par le télescope, exprimés en degrés, en minutes, voire en secondes d'arc. Ainsi, à taille de miroir constante, plus la longueur d'onde de la lumière captée s'avère courte, plus les détails de l'image sont fins. Autre solution pour améliorer la finesse de l'image : augmenter le diamètre du miroir. Que se passe-t-il si l'on observe deux sources lumineuses angulairement proches ? Il existe deux cas de figures possibles. Si la séparation des deux sources est supérieure à la résolution angulaire, le télescope distinguera les deux sources. Dans le cas contraire, ces deux sources sembleront n'en former qu'une seule. Même dans l'hypothèse où le télescope a la capacité de séparer ces deux sources, il faut bien choisir son détecteur ! En effet, si les images des deux sources se projettent toutes deux sur le même pixel du détecteur, l'image obtenue ne montrera qu'une seule source. En conséquence, à longueur d'onde fixée, la finesse de l'image dépend à la fois du diamètre du télescope (il doit être aussi grand que possible) et de la taille des pixels (ils doivent être aussi petits que nécessaire).

Dès lors, on comprend pourquoi les astrophysiciens conçoivent et fabriquent des télescopes dont la taille augmente sans cesse : ainsi, entre Galilée qui observait les étoiles avec une lunette dont la lentille ne dépassait pas 6 cm de diamètre, et le télescope spatial Hubble doté d'un miroir de 2,4 m de diamètre, les astrophysiciens ont gagné un facteur 40 en résolution angulaire ($2,4 \text{ m} / 6 \text{ cm} = 40$). Autre exemple, celui d'Herschel, le plus grand télescope envoyé dans l'espace dont le diamètre atteint 3,5 mètres. De cet instrument qui détecte le rayonnement infrarouge et submillimétrique, les chercheurs attendent des informations extrêmement précises sur les systèmes solaires en cours de formation ou les processus physiques conduisant à la naissance d'étoiles et de galaxies. Mais, aussi sophistiqué et performant soit-il, dans cette longueur d'onde, la finesse de résolution de ce télescope ne dépassera pas celle de la lunette de Galilée. En revanche, Herschel va réaliser l'exploit d'observer dans les lumières invisibles du rayonnement infrarouge et submillimétrique, et d'apporter la lumière sur les mondes enfouis de l'Univers. Les astrophysiciens en sont sûrs : ils vivent une véritable révolution.

