

## XMM-Newton : en route vers une autre décennie de découvertes

Au mois de décembre 2016, cela faisait 17 ans que XMM-Newton fut lancé par une fusée Ariane V. Equipé de ses trois modules miroirs comportant chacun 58 miroirs imbriqués les uns dans les autres, XMM-Newton est à l'affût de l'émission X de sources cosmiques de tout genre. Malgré sa longévité, XMM-Newton reste à ce jour un des observatoires les plus sollicités au monde. Chaque année, les astrophysiciens proposent des programmes d'observation qui totalisent à peu près 6 fois le temps d'observation disponible! La compétition pour les observations avec XMM est donc très rude. Et a priori cela pourrait continuer encore comme cela pendant quelques années. De fait, les réserves de carburant et la performance des panneaux solaires indiquent que la mission pourrait encore fonctionner au moins 10 ans si les budgets le permettent<sup>1</sup> !

XMM-Newton c'est une success-story qui est aussi un peu liégeoise. En effet, les plus anciens se souviendront que les miroirs à rayons X de cette mission emblématique avaient été testés au CSL dans une cuve (Focal-X) spécialement conçue et aménagée pour la cause, et que l'ULg et le CSL (représentés par Jean-Marie Vreux et Claude Jamar) étaient co-investigateurs du consortium qui conçut le moniteur optique (OM), un télescope optique et UV de 30 cm qui observe la même région du ciel que les télescopes à rayons X.

Il n'est hélas pas possible de dresser un bilan exhaustif des découvertes réalisées avec XMM-Newton en quelques paragraphes. Néanmoins, les quelques exemples ci-dessous illustrent que XMM a fait passer l'astrophysique des rayons X d'une discipline obscure s'intéressant à quelques objets exotiques à une branche à part entière de l'astrophysique multi-longueur d'ondes moderne.

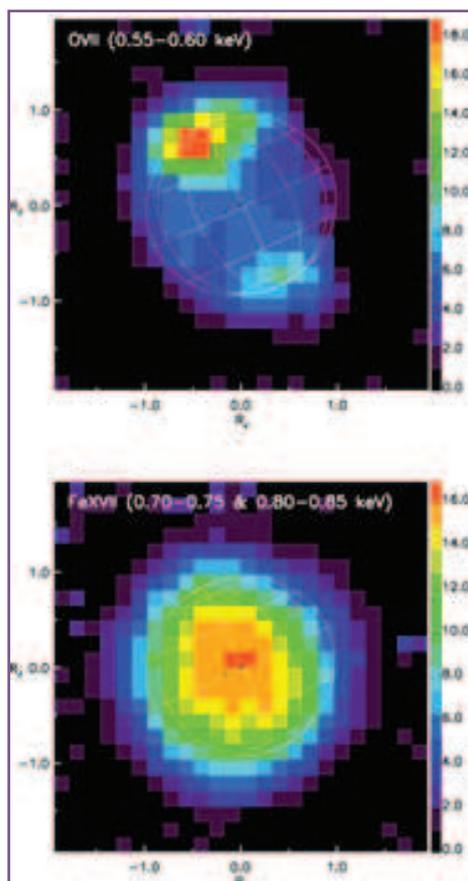


Figure 1: Images de Jupiter prises par XMM-Newton dans des bandes d'énergie étroites centrées sur deux raies spectrales. Alors que la raie de l'oxygène (en haut) est émise par échange de charges dans les régions polaires, celle du fer (en bas) est produite par réflexion fluorescente de l'émission X solaire sur la haute atmosphère jovienne. (Image © Branduardi-Raymont et al. 2016, A&A 463, 761).

[http://www.aanda.org/articles/aa/full\\_html/2007/08/aa6406-06/aa6406-06.html](http://www.aanda.org/articles/aa/full_html/2007/08/aa6406-06/aa6406-06.html)

Commençons par quelques résultats relatifs à des objets de notre voisinage cosmique direct: l'observation de comètes et de planètes du Système Solaire par XMM-Newton a permis d'établir l'échange de charge comme un mécanisme important de production de rayons X. Ce processus apparaît par exemple lorsque les particules hautement ionisées du vent solaire ou d'une magnétosphère planétaire rencontrent des atomes ou molécules du gaz froid (par exemple H<sub>2</sub>) d'une comète ou de la haute atmosphère d'une planète gazeuse (voir Fig. 1). Les ions positifs (par exemple O<sup>7+</sup>) se recombinent (en O<sup>6+</sup> dans notre exemple) en « volant » un électron aux atomes ou aux molécules. L'électron capté rejoint ensuite le niveau d'énergie fondamental en émettant des rayons X caractéristiques de l'ion recombiné.

L'extraordinaire longévité de XMM-Newton et la stabilité de ses instruments<sup>2</sup> ont permis de réaliser des études inédites sur la variabilité à long-terme de l'émission X de certaines sources. Ainsi, on a pu mettre en évidence l'existence de cycles de modulation de l'activité magnétique dans des étoiles froides similaires au cycle solaire de 11 ans (voir Fig. 2).

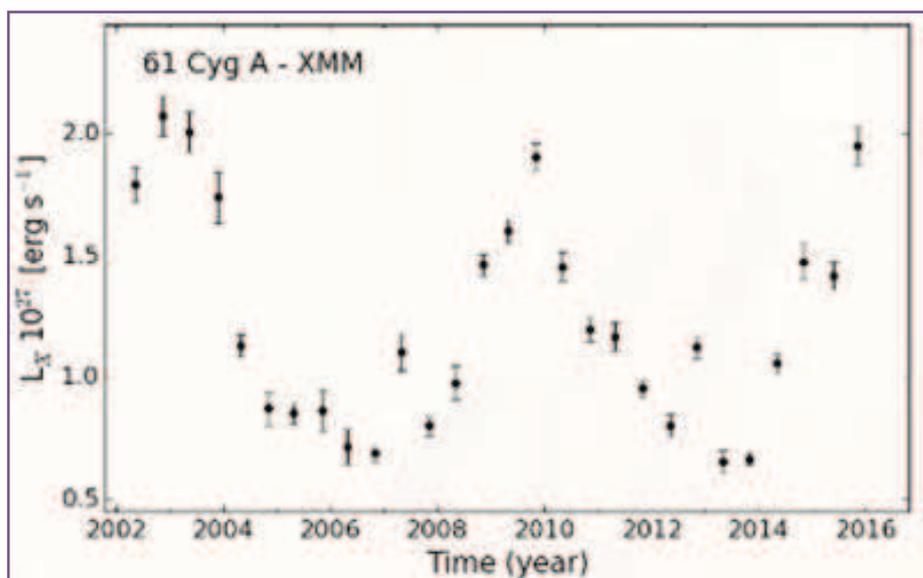


Figure 2 : Evolution de l'émission X de l'étoile 61 Cyg A révélant un cycle de 7.3 ans. (Image © Robrade & Schmitt 2016, <http://www.cosmos.esa.int/web/xmm-newton/2016-workshop> id. 112).

1 L'ESA vient de prolonger la durée des opérations jusqu'en décembre 2018 au moins.

2 Contrairement à ceux de Chandra dont les performances se sont fortement dégradées au cours du temps, les instruments de XMM-Newton n'ont connu qu'une très faible diminution de leur sensibilité.

XMM-Newton et son alter-ego américain Chandra sont les premiers observatoires à rayons X équipés de spectromètres à haute résolution. La résolution spectrale de l'instrument RGS (Reflection Grating Spectrometer) à bord d'XMM a permis pour la première fois d'établir la composition chimique du gaz chaud, très ténu, qui baigne les amas de galaxies, révélant l'enrichissement de ce gaz en éléments chimiques produits par des supernovae dans les galaxies de ces amas. Ce résultat permet de mieux comprendre l'histoire des processus de formation d'étoiles et témoigne en même temps d'une boucle de rétroaction complexe : l'explosion de supernova marquant la fin de vie d'une étoile dans une des galaxies propulse du gaz enrichi dans le milieu intra-amas (voir Fig.3), et une partie de ce gaz « retombe » ensuite sur les galaxies les plus massives de l'amas.

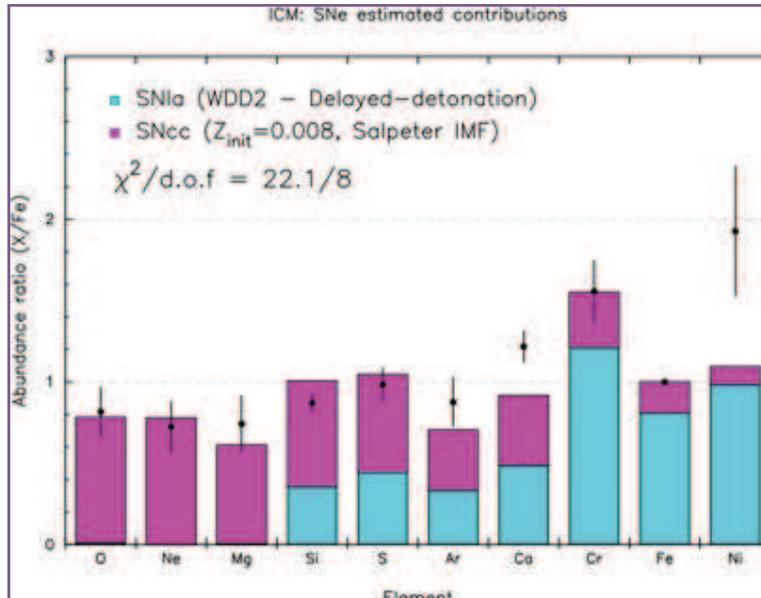


Figure 3 : Comparaison des abondances du gaz intra-amas de galaxies avec des prédictions de modèles de supernovae. (Image © Mernier et al. 2016, A&A 595, A126) [http://www.aanda.org/articles/aa/full\\_html/2016/11/aa28765-16/F3.html](http://www.aanda.org/articles/aa/full_html/2016/11/aa28765-16/F3.html)

La sensibilité d'XMM et la présence d'un moniteur optique ont permis d'étudier le voisinage des gigantesques trous noirs supermassifs qui trônent au cœur des noyaux de galaxies actifs (AGN). Dans une technique qu'on appelle « la cartographie par réverbération », on met à profit la variabilité de l'émission X du disque d'accrétion qui entoure le trou noir pour sonder la répartition de matière autour du trou noir. Un nuage de matière illuminé par une soudaine bouffée de rayons X issus des régions les plus internes du disque d'accrétion va s'illuminer en photons UV qui nous arriveront avec un délai temporel par rapport aux rayons X. Ce retard dépend de la distance à laquelle se trouve le nuage de matière par rapport au disque. L'utilisation conjointe des instruments à rayons X et de l'OM permet de quantifier le délai temporel et donc de mieux comprendre l'interaction entre les trous noirs supermassifs et leur environnement.

Mais XMM joue aussi un rôle dans la quête de la matière sombre. En 2014, la détection d'une mystérieuse raie d'énergie 3.5 keV dans les spectres X d'objets aussi différents

que la Galaxie d'Andromède et l'amas de galaxies de Persée suscita beaucoup d'intérêt dans la communauté astrophysique. Selon certaines théories, il pourrait s'agir de la signature de la désintégration de particules de matière sombre. Cette explication est cependant controversée, puisque de récents calculs de physique atomique suggèrent qu'il pourrait plutôt s'agir d'une raie produite par échange de charges... Quoiqu'il en soit, les scientifiques ne manquent pas d'idées pour tester ces différentes hypothèses et proposeront sans nul doute de nouvelles observations avec XMM-Newton qui contribueront à une meilleure connaissance de l'Univers.

Et les astrophysiciens liégeois dans tout cela? XMM-Newton nous a permis d'étudier l'émission X des étoiles massives. Ces objets de plus de 10 fois la masse du Soleil possèdent des vents stellaires des milliards de fois plus denses et énergétiques que le vent solaire. C'est dans des chocs hydrodynamiques au sein de ces vents stellaires que l'émission X se forme. L'ajustement de modèles aux profils de raies observés avec le RGS nous a révélé des détails inédits sur les propriétés des vents stellaires (voir Fig. 4). D'autre part, des observations d'étoiles massives solitaires ont révélé une variabilité de l'émission X qui est probablement due à des structures dans le vent en rotation avec l'étoile. Finalement, dans des systèmes binaires, formés de deux étoiles massives liées par la force de gravité, nous avons pu étudier le phénomène de la collision des vents stellaires et la variabilité de l'émission X qui résulte du mouvement des deux étoiles autour de leur centre de masse commun.

**Gregor Rauw (ULg)**

*Un grand merci à Gregor pour ce bilan historique et scientifique de XMM-Newton. Rappelons que Gregor et son équipe sont non seulement fortement impliqués dans ce projet mais aussi dans son successeur ATHENA (voir Notre Espace #27 et #42).*

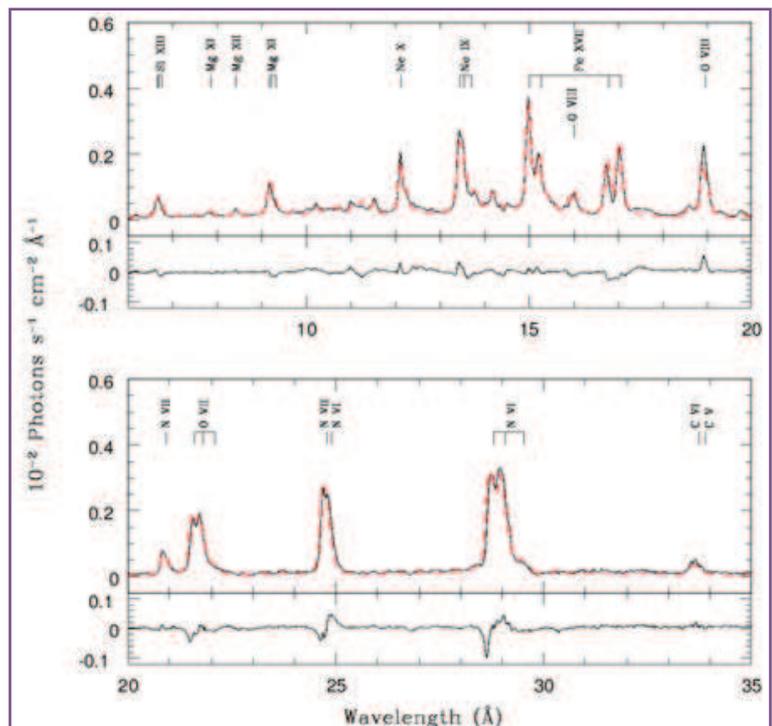


Figure 4 : Spectre X de l'étoile massive ζ Puppis. La ligne continue noire donne le spectre observé avec le RGS, la ligne interrompue rouge indique le meilleur ajustement d'un modèle de vent stellaire (Hervé et al. 2013, A&A 551, A83). [http://www.aanda.org/articles/aa/full\\_html/2013/03/aa19734-12/F3.html](http://www.aanda.org/articles/aa/full_html/2013/03/aa19734-12/F3.html)