
L'astronomie dans le monde

L'âge d'or de la formation des galaxies dans l'objectif d'ISO

D'après le communiqué ESA du 4 novembre 1999

A la découverte des ancêtres de nos galaxies

Notre Galaxie, la Voie lactée, est aujourd'hui au repos. Mais il n'en était pas de même il y a des milliards d'années. ISO, l'observatoire spatial dans l'infrarouge de l'ESA, a pris des photos de l'âge d'or de la formation des galaxies, c'est-à-dire de cette époque où les galaxies ont pris la forme que nous leur connaissons aujourd'hui; ainsi découvrons-nous plus d'un millier de jeunes galaxies, très actives, véritables « machines » à produire des étoiles en permanence. Les résultats des missions d'ISO ont été présentés dans le cadre d'un atelier organisé au Château de Ringberg, en Allemagne, du 8 au 12 novembre 1999. Ils montrent que les ancêtres des galaxies que nous observons aujourd'hui étaient alors nettement plus actifs qu'on ne le pensait jusqu'à présent et que le nombre de naissances d'étoiles est bien supérieur à nos prévisions.

Ces travaux sont le résultat de l'analyse détaillée des missions dans l'espace lointain d'ISO, axées sur la détection des objets les plus faibles et les plus lointains jamais observés dans les longueurs d'onde de l'infrarouge. En astronomie, se projeter dans l'espace, c'est également se projeter dans le passé. ISO, en observant les galaxies lointaines, voyait en fait à quoi ressemblaient il y a dix milliards d'années, des galaxies comme la nôtre ou comme ses plus proches voisines. L'objectif des astronomes était d'apporter une réponse aux innombrables questions sur la formation et l'évolution des galaxies. Les galaxies se

sont-elles toutes formées à peu près à la même époque ou bien existe-t-il un processus continu de formation des galaxies dans l'univers?

Les premiers résultats fournis par les observations dans l'espace lointain d'ISO, présentés il y a environ un an, donnaient certains éléments de réponse. Les astronomes recherchaient alors avec ISO des signes de formation des étoiles dans l'univers lointain sachant que la naissance de nombreuses étoiles correspond pour une galaxie à une phase d'évolution intense. Ils ont constaté que les galaxies grosses productrices d'étoiles, et connaissant donc une évolution extrêmement active, étaient beaucoup plus courantes dans le passé qu'aujourd'hui.

Les premiers calculs reposaient sur des observations faites avec des télescopes optiques dont le champ de vision était obscurci par la poussière créée par les étoiles pendant leur cycle de vie. Or cette poussière devient lumineuse lorsqu'on l'observe avec des télescopes dans l'infrarouge; ce fut précisément cette poussière qu'ISO a utilisée comme traceur pour repérer la formation d'étoiles. ISO a apporté la preuve que de jeunes galaxies donnaient naissance à trois ou quatre fois plus d'étoiles que ne le laissaient prévoir les observations optiques, ce qui a constitué pour les astronomes une véritable révolution.

Ces nouveaux résultats complètent la somme des observations d'ISO. Une soixantaine d'astronomes venant, pour la plupart, d'Allemagne, de France, de Grande-Bretagne, d'Italie et de Finlande, ont comparé les données de pratiquement toutes les observations faites par deux instruments orientés sur six régions différentes du ciel de l'hémisphère sud et de l'hémisphère nord, notamment les célèbres Hubble Deep Fields (nord et sud), observées aujourd'hui par ISO dans les grandes longueurs d'onde de l'infrarouge.

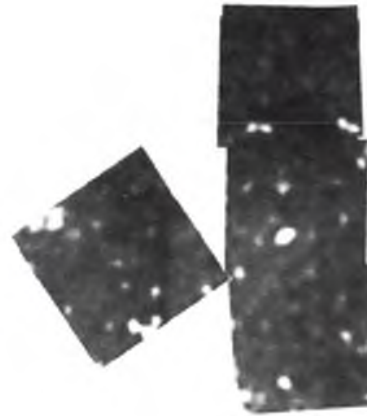
L'astronome italien Dario Fadda explique : « Aujourd'hui, nous pouvons confirmer sans réserve nos estimations de l'année dernière sur la formation des étoiles et nous pouvons également être beaucoup plus précis en ce qui concerne les galaxies que nous avons observées. Nous avons détecté plus d'un millier de jeunes galaxies lointaines, vues pour la première fois dans l'infrarouge. Bon nombre d'entre elles ont été observées au moyen de télescopes optiques mais le fait qu'elles soient lumineuses dans l'infrarouge signifie qu'elles sont « poussiéreuses » et donc que beaucoup d'étoiles nouvelles y sont nées. Nous constatons que les galaxies évoluent très rapidement ».

Dario Fadda, du Service d'Astrophysique du Commissariat à l'Énergie atomique (CEA) à Saclay (France) a travaillé sur des données fournies par la caméra infrarouge ISOCAM embarquée sur ISO. Cette équipe ne sait pas encore avec précision à quelle distance se trouve chaque galaxie mais en utilisant un échantillon de cent galaxies dont on connaît l'éloignement, ses chercheurs pensent qu'ils observent l'univers à une époque qui correspond environ au tiers de son âge actuel.

Des galaxies derrière un rideau

Les résultats fournis par le photomètre ISOPHOT, autre instrument embarqué sur ISO pour effectuer des sondages profonds, aboutissent à un scénario identique, c'est-à-dire un univers plus jeune dans lequel des galaxies évoluent de façon très active, avec formation d'un grand nombre d'étoiles. ISOPHOT a principalement été utilisé pour l'étude du fond infrarouge cosmique, faible lueur infrarouge qui emplit la totalité de l'univers. Ce fond infrarouge a été émis par toutes les galaxies dans le passé, en particulier par la poussière chauffée lors de la formation d'étoiles.

L'équipe chargée d'ISOPHOT, dénommée consortium FIRBACK (Far InfraRed Background), a découvert, l'année dernière, les premiers objets qui contribuent au fond infrarouge cosmique; il s'agit de plus de deux cents galaxies lointaines subissant un processus d'évolution intense.



Le champ FIRBACK vu par ISO. Les taches plus ou moins brillantes sont des galaxies lointaines.

Mais les chercheurs ont découvert qu'il y avait beaucoup d'autres galaxies qui « déversaient » de l'énergie dans le fond infrarouge. Ces galaxies sont soit trop faibles soit trop éloignées pour être perçues comme des sources individuelles par ISOPHOT : les astronomes les détectent parce qu'elles forment des « bosses » plus lumineuses sur le fond infrarouge, comme si elles étaient cachées derrière un rideau. On parle alors de « fluctuations » dans le fond infrarouge. Pour les spécialistes, ce résultat est l'un des plus intéressants parmi ceux présentés à l'atelier de Ringberg.

Guilaine Lagache, principal auteur de la communication sur les fluctuations explique : « L'étude des fluctuations dans le fond infrarouge, après la première et importante étape qui a simplement consisté à détecter ces émissions, va éclairer d'un jour tout à fait nouveau la formation et l'évolution des galaxies. Cette découverte est aussi spectaculaire que ce que l'on attend de l'étude détaillée des fluctuations du fond cosmique qui seront mesurées par la mission Planck de l'ESA ».

Hervé Dole, de l'Institut d'Astrophysique spatiale (France) et membre de l'équipe FIR-BACK ajoute : « *Les résultats fournis par ISO nous permettent non seulement de mettre à l'épreuve les modèles d'évolution des galaxies mais imposent également de nouvelles contraintes d'observation à ce procédé. Aujourd'hui, nous savons de façon certaine que la formation d'étoiles a été beaucoup plus intense que ce que nous avions pensé précédemment et que l'activité maximale s'est produite lorsque l'univers avait entre trois et mille millions d'années, si l'on prend comme hypothèse que l'univers est vieux de quinze milliards d'années. Après quoi, et jusqu'à aujourd'hui, le rythme de la formation des étoiles a ralenti notablement.* »

* * *

L'ombre d'une planète

Si l'on n'a pas encore vu directement de planète extrasolaire, les types de détection indirecte se multiplient. Il y eut tout d'abord les perturbations du mouvement d'une étoile sous l'effet de l'attraction réciproque entre une planète et cette étoile. Cette méthode a permis les premières découvertes et en quelques années on est arrivé à cataloguer une trentaine de ces objets. Des moyens importants sont mis en œuvre dans ce travail et l'on ne devra pas attendre longtemps pour en connaître des centaines.

Parmi tous ces objets, beaucoup ont des orbites très serrées conduisant à des périodes de révolution courtes — et des vitesses de révolution élevées, ce qui en facilite la détection et crée un beau cas de « biais » observationnel. La probabilité d'observer un transit, c'est-à-dire le passage de la planète devant le disque de l'étoile, est d'autant plus grande que l'orbite est petite. En effet, si l'orbite est immense, il faut que son plan soit parfaitement orienté pour permettre un alignement Terre-planète-étoile. Si la planète est proche de l'étoile cette contrainte est beaucoup moins forte. Les conditions idéales sont réalisées pour le système HD209458.

L'équipe de Geoffrey Marcy avait décelé des variations régulières de la vitesse de cette étoile, avec une période étonnamment courte de trois jours et demi. Cela correspond à une distance planète-étoile de 7 ou 8 millions de kilomètres. La possibilité d'observer un transit était réelle puisque l'étoile elle-même mesure plus d'un million de kilomètres de diamètre. Les astronomes programmèrent un télescope automatique pour observer l'étoile de façon continue. L'observation était très simple puisqu'il suffisait de mesurer l'intensité de l'astre et de noter une éventuelle diminution d'éclat lors du passage de la planète. L'instant des passages pouvait même être prévu à partir des données de vitesse radiale.

Un affaiblissement de 1,7 pour cent fut constaté à l'instant prévu le 7 novembre, et d'autres mesures lors de transits ultérieurs confirmèrent les premières observations. Un objet sombre traverse bien le disque de la planète à intervalles réguliers de 3,524 jours. Des mesures de 1991 par le satellite Hipparcos ont révélé cinq transits anciens permettant d'affiner cette période.

Ces transits constituent une preuve définitive de l'existence des planètes extrasolaires, et marquent la conquête d'un Graal de l'astronomie contemporaine. Ces observations ont permis aussi la première mesure des dimensions (1,6 fois celles de Jupiter). La masse n'étant que 0,63 fois celle de Jupiter, la densité de la planète est très faible. Il s'agit donc d'un Jupiter « gonflé ».

La nouvelle planète se verra probablement attribuer un nom un jour prochain. Les paris sont ouverts en faveur de *shadow* (=ombre).

* * *

Rayonnement X : L'Univers dévoilé

D'après le communiqué ESA du 22 novembre 1999

L'astronomie dans le rayonnement X est une discipline relativement jeune, très populaire auprès des astrophysiciens. On a constaté, il y a quelques dizaines d'années, que l'Univers constituait une importante source de rayons X. Les observations entreprises dans ce

domaine se sont multipliées à un rythme exceptionnel, permettant de découvrir de nombreux phénomènes remarquables.

Les rayons X provenant de l'espace ne peuvent pénétrer l'atmosphère terrestre, ce qui oblige les astronomes travaillant dans ces longueurs d'onde à se servir d'instruments placés sur des fusées, des ballons stratosphériques ou des satellites. Les premières émissions de rayons X d'origine solaire ont été détectées dans les années 50 à partir de fusées-sondes. Ce type de campagne a déjà permis, jusqu'aux années 70, de répertorier plus de 40 sources de rayonnement X.

Depuis lors, les satellites ont permis de réaliser des études plus approfondies. Le premier satellite consacré à l'étude du rayonnement X a été baptisé UHURU. Lancé en 1970, il a contribué à identifier 339 sources différentes à travers le ciel. Plusieurs autres plates-formes lui ont succédé, dont le satellite Einstein, porteur de miroirs et de détecteurs à incidence rasante capables d'enregistrer l'image des sources de rayonnement X. Einstein a étudié plus de dix mille sources différentes.

EXOSAT (1983-1986) a constitué la première mission d'observation de l'ESA dans le rayonnement X. Placé sur une orbite très excentrique de 191 700 km d'apogée, ce satellite a permis de mener de très longues campagnes d'observations au dessus des ceintures de radiations et de faire considérablement progresser la connaissance des diverses sources de rayonnement X.

Le lancement en 1990 du satellite américano-germano-britannique ROSAT a représenté une autre étape importante. Cette plate-forme a permis d'explorer systématiquement le ciel et d'identifier quelque 100 000 sources de rayons X, avant d'être récemment mise hors service.

La mise sur orbite de XMM représentera le début d'un âge d'or pour l'astronomie X, qui pourra compter également sur deux autres satellites importants : l'américain Chandra, lancé en juillet 1999, qui constitue le troisième des grands observatoires spatiaux de la NASA, et ASTRO-E, cinquième mission japonaise d'observation dans le rayonnement X dont le lancement est prévu au début de l'année 2000.

L'Europe étudie déjà la réalisation d'une installation d'astrophysique dans le rayonnement X de prochaine génération baptisée XEUS. Cette installation utilisera la Station spatiale internationale et offrira une marge importante de croissance et d'évolution. Elle devrait disposer des capacités lui permettant d'observer les tout premiers trous noirs, créés aux premiers temps de l'Univers.

La mission XMM (Miroirs multiples pour l'étude des sources du rayonnement X) constitue la deuxième « pierre angulaire » du programme scientifique à long terme de l'ESA. Ce nouveau télescope spatial ouvre la voie à des découvertes encore plus extraordinaires que celles qui ont été effectuées jusqu'ici. Ses miroirs de grande surface et ses caméras ultrasensibles vont permettre aux astronomes d'étudier très précisément les sources de haute énergie et de mieux dévoiler ainsi les mystères entourant le passé et l'avenir de notre Univers.

174 miroirs d'une extrême finesse

Le rayonnement X émis par les objets célestes est caractérisé tout à la fois par sa grande énergie et sa fugacité. Il convient, pour le mesurer et l'étudier de manière optimale, de le concentrer sur un nombre suffisant de capteurs sensibles. Les modules miroirs de XMM ont été dotés de capacités exceptionnelles. L'observatoire spatial dispose de trois télescopes de forme cylindrique. Chacun d'entre eux est équipé de 58 miroirs concentriques extrêmement fins, hautement polis et d'une forme très étudiée, s'emboîtant les uns dans les autres. Les rayons X, captés sous une incidence très rasante, sont dirigés vers les instruments scientifiques situés au plan focal des télescopes, à l'autre extrémité du satellite.

La surface totale des trois modules de miroirs dépasse les 120 m², ce qui équivaut à celle d'un court de tennis. La capacité de collecte des trois télescopes de XMM est la plus importante jamais obtenue, très supérieure à celle dont dispose le satellite d'étude du rayonnement X le plus récent.

La conception et l'assemblage des modules de miroirs, leurs essais en vue d'une utilisation spatiale et enfin leur étalonnage précis constitue une prouesse dont peuvent s'enorgueillir les responsables d'XMM. Les fines coques de nickel des miroirs, recouvertes d'une couche

d'or réfléchissante, ont été réalisées par réplique — comme des copies-carbone — à partir d'une forme primitive. Elles ont été usinées au millième de millimètre près, puis polies jusqu'à atteindre une finesse bien supérieure encore.

Emboîtés les uns dans les autres comme des poupées russes, les miroirs ont été centrés et dirigés les uns par rapport aux autres avec une précision de 25 microns, ce qui représente le quart de l'épaisseur d'un cheveu.

Un télescope spatial multispectral

Le satellite transporte trois ensembles d'instruments scientifiques, capables non seulement de capter l'image des sources de rayonnement X mais également de distinguer précisément la « couleur » de ce rayonnement.

Le foyer principal de chacun des trois modules de télescope est équipé d'une caméra photonique européenne (EPIC). Cette caméra de pointe, dotée de puces de silicium capables d'enregistrer les plus faibles rayonnements X, est en mesure de détecter les plus rapides variations d'intensité des sources étudiées.

Des structures en réseau situées à la sortie de deux des modules miroirs dirigent la moitié environ du rayonnement reçu vers un foyer secondaire, équipé de ses propres caméras. Ce spectromètre à grille de réflexion « étale » le spectre des longueurs d'onde (de manière similaire à un prisme pour la lumière visible), ce qui permet d'analyser de manière plus détaillée la présence de différents éléments, tels que l'oxygène ou le fer.

Le troisième instrument embarqué sur XMM est un télescope conventionnel d'une très grande sensibilité, chargé d'observer — de manière simultanée — les mêmes régions que les télescopes X, mais cette fois dans l'ultraviolet et le visible, fournissant ainsi aux astronomes des données complémentaires sur les sources de rayonnement X étudiées. Ce télescope orbital de 30 cm sera aussi sensible qu'un instrument de 4 m situé au sol.

A la découverte de nouveaux mystères

XMM aura pour mission d'explorer les profondeurs cachées de l'Univers, théâtre de phénomènes d'une violence extrême aboutissant à la formation et à la destruction d'étoiles

et de galaxies entières, ou à la disparition de la matière elle-même. Un peu comme l'éclairage urbain qui indique par sa couleur la nature du gaz employé, les instruments scientifiques d'XMM révéleront les secrets les plus intimes des sources de rayons X, leur composition chimique et leur température, éléments essentiels à la compréhension des processus physiques qui les entourent.

XMM permettra aux astronomes de reconstituer l'histoire des supernovae, étoiles détruites il y a longtemps par une explosion et dont les restes, source de rayonnement X, peuvent constituer les matériaux de base de nouvelles étoiles ou de nouvelles planètes. L'observatoire dirigera ses instruments vers des régions où subsistent les restes encore chauds de supernovae. Ces vestiges pourraient contribuer à expliquer l'origine mystérieuse des rayons cosmiques qui baignent l'Univers.

La mission étudiera également le rayonnement émis par les « étoiles vampires », dont les champs gravitationnels intenses « aspirent » la substance d'étoiles voisines, dans d'étranges et terrifiants tourbillons.

Les caméras ultra-rapides du satellite enregistreront les pulsations rythmées et mystérieuses de certaines sources de rayonnement X, ainsi que les brefs éclairs témoignant peut-être du choc explosif de deux trous noirs dans une lointaine galaxie.

Les astronomes d'XMM porteront une attention particulière à ces énigmatiques trous noirs, cimetières cosmiques de matière et de lumière, où les rayons X perdent leur énergie et où le temps lui-même ralentit.

Les yeux couverts d'or de l'observatoire de l'ESA devraient contribuer à fournir une meilleure vue d'ensemble de l'univers, permettant de mieux comprendre comment les galaxies rassemblent des millions d'étoiles, et comment ces galaxies elles-mêmes forment des groupes et des amas éparpillés dans l'univers cosmique. Grâce à XMM, les chercheurs tenteront enfin de mieux appréhender la nature de la matière noire invisible qui occupe l'espace interstellaire.

Une mission à haute altitude

XMM sera le plus gros satellite scientifique jamais construit par les européens. Il devrait être lancé en décembre 1999 par Ariane-5, depuis le Port spatial de l'Europe, à Kourou.

Après séparation avec le lanceur, le satellite sera placé sur une orbite très excentrique de 48 heures, culminant à une distance de 114 000 km de la Terre pour repasser ensuite à moins de 7000 km de notre planète.

Cette orbite a été choisie pour plusieurs raisons. Elle assure tout d'abord une liaison optimale entre le satellite et les stations de poursuite au sol. Elle permet ensuite à XMM de franchir rapidement les ceintures de radiations terrestres sans risquer d'endommager ses délicats instruments scientifiques. Elle offre enfin — et c'est là le principal — des périodes d'observations particulièrement longues aux astronomes.

* * *

Nova Aquilae 1999 no. 2

Une nova relativement brillante est apparue dans la constellation de l'Aigle au début du mois de décembre. C'est un amateur portugais, Alfredo Pereira, qui a découvert cet astre non loin de δ Aql, le 1 décembre.

Le 3 décembre, la magnitude était passée de 6 à 4. La nova à son maximum était alors bien visible à l'œil nu.

La première nova de l'Aigle observée cette année avait reçu le numéro officiel d'étoile variable V 1493 Aql. La deuxième s'appellera V 1494, aucune autre étoile variable n'étant venue s'ajouter à la liste de l'Aigle.

* * *

Malédiction martienne

La sonde Mars Polar Lander semble avoir suivi les traces du Mars Climate Orbiter, perdu en septembre dernier.

On se souvient que le MCO devait être satellisé mais que, par suite d'un mélange incompréhensible d'unités métriques et anglo-saxonnes, la correction de trajectoire nécessaire avait été mal interprétée. La sonde s'écrasa sur le sol martien.



Mars Polar Lander. (© NASA)

Le Polar Lander, comme le nom l'indique, devait atterrir en douceur le 3 décembre, près du pôle sud de la planète. Peut-être l'a-t-il fait? En tout cas, au moment où nous écrivons ces lignes, le contact radio n'a toujours pas pu être établi et il reste bien peu d'espoir de le faire.

Outre la sonde proprement dite, deux pénétrateurs (« Scott » et « Amundsen ») devaient s'enfoncer dans le sol à la vitesse de 640 km/h et procéder à des analyses concernant, notamment, la présence d'eau. La durée de vie de ces appareils n'était que de quelques heures, et l'échec de cette partie de la mission est maintenant bien scellé.

Les ingénieurs vont tout tenter pour comprendre ce qui a pu se passer. L'avenir des missions martiennes prévues dès 2001 en dépend. Le satellite Mars Global Surveyor qui tourne autour de la planète rouge depuis plus de deux ans pourrait être dirigé au-dessus du site d'atterrissage. La résolution optique du MGS n'est pas suffisante pour apercevoir le lander lui-même, mais on devrait déceler le parachute s'il s'est déployé.

* * *

Survol de Io

La sonde Galileo réussit mieux que ses dernières collègues martiennes, malgré ses déboires avec son antenne principale. Elle continue à parcourir le système jovien et vient de procéder à un (ultime?) survol du satellite Io, à une altitude de 300 km.

La manœuvre n'a pas été exempte de surprises cependant. Quelques heures avant l'approche les particules chargées associées au champ magnétique de Jupiter ont complètement saturé l'électronique de Galileo. Une partie des observations critiques n'ont pu être faites. Heureusement, au dernier moment, les ingénieurs ont réussi à ressusciter l'équipement de sorte que tout n'a pas été perdu.

* * *

Sites web du millénaire et site du mois

Si l'article de Luc Désamuré (page 305) sur les subtilités du Y2K vous incite à en savoir plus, pourquoi ne pas faire un tour sur la multitude de pages web consacrées à ce non-événement? En commençant — à tout seigneur tout honneur — par celles du Bureau des Longitudes (www.bdl.fr/Granpub/an2000), et aussi celles de l'Observatoire de Paris (www.obspm.fr/savoirs/contrib/millenaire.fr.shtml) et de la Société Astronomique de France (www.iap.fr/saf). On y apprend par exemple que le premier janvier prochain marquera le centième anniversaire de la journée de 24 heures. Eh oui! Jusqu'alors on n'égrenait jamais les heures de 0 à 24 et nos aïeux ne connaissaient que le partage du jour en deux fois douze heures. Il est sagement rappelé la définition sans ambiguïté des dictionnaires français (*Larousse, Robert*) pour le mot siècle « période de cent années numérotées de 1 à 100, de 101 à 200, etc. » Le vingtième siècle ne s'éteindra donc qu'avec la fin de l'an 2000.

Remarquons que ni le célèbre dictionnaire *Webster* de la langue anglaise, ni l'*American Heritage* ne donnent cette précision. Il apparaît cependant que, si le mot *century* peut désigner n'importe quelle période de cent ans, *Century* avec une majuscule, désigne une période telle que 1901 — 2000.

D'une autre nature, le site [www/multimania.com/autocoup/lune5](http://www.multimania.com/autocoup/lune5) est un bon candidat pour revendiquer le titre de site du mois ou de la semaine, à défaut du siècle ou du millénaire. On y remet en question la réalité des missions lunaires Apollo de la NASA. Toutes sortes d'arguments sont avancés qui laisseraient certainement sans réponse pas mal d'entre nous. Présentée comme canular du siècle, l'épopée lunaire a dû demander pas mal d'efforts à la NASA pour réaliser tant de documents magnifiquement truqués. Au fil de la lecture, on se prend à penser que l'auteur croit ce qu'il écrit. Dans un site parallèle, toujours consacré à la Lune, une analyse critique de documents de la sonde Clementine prouve l'existence de la vie sur la Lune. Ne pas rater!

Erratum

Un lecteur attentif nous fait remarquer une erreur de transcription du texte latin du manuscrit du monastère de Saint Jacques (*L'éclipse du 2 août 1133*, par Luc Désamuré, *Le Ciel*, octobre 1999, pages 234 et suivantes). Nous écrivons *magnitudine* et *maximo*, alors que le folio 8, dont la photo se trouve en page 236, porte les mots *multitudine* et *nimio*. En fait, le texte transcrit dans l'article provient des MGH (*Monumenta Germaniae Historica*) qui sont plus lisibles que l'original du monastère, et qui ont la réputation d'être très fidèles. Les voilà pris en faute, et nous aussi par la même occasion. Bravo et merci à M. Lucio Fini pour son intérêt et sa perspicacité.