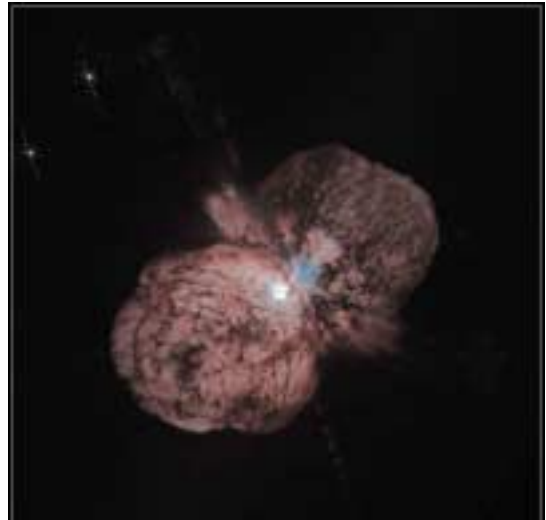


Bulles Célestes

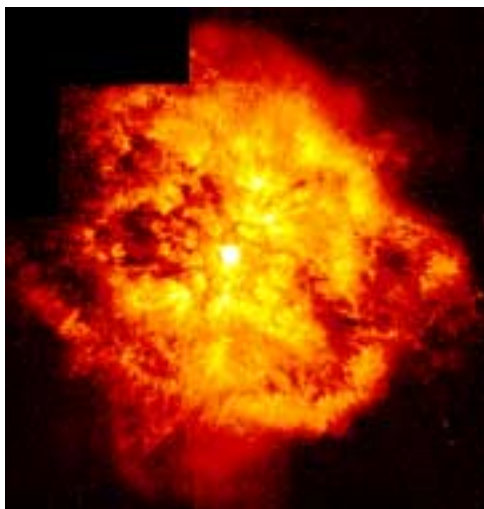
L'observation du Ciel profond révèle çà et là l'existence de bulles célestes de toutes formes et couleurs... Y aurait-il un gamin facétieux dans l'Univers ? En fait, non : il ne s'agit que de grosses étoiles chaudes qui jouent avec leur environnement...

Les étoiles massives sont les astres « simples » les plus puissants des galaxies. Elles sont célèbres pour leur mort spectaculaire : à la fin de leur vie, elles explosent en effet sous la forme d'une supernova, en donnant naissance à ces objets surprenants que sont les pulsars ou les trous noirs. Mais ce n'est là qu'un événement parmi tant d'autres de leur courte vie trépidante.

Les étoiles massives possèdent évidemment – sinon on ne les appellerait pas ainsi ! – une masse bien plus grande que celle de la plupart des autres étoiles : elles commencent leur vie avec une masse égale à 20 à 100 fois celle du Soleil. Notons au passage que la formation de ces astres d'exception est encore mal comprise. À cause de cette masse élevée, la température régnant en leur centre est beaucoup plus élevée qu'au centre du Soleil, et les réactions nucléaires qui s'y produisent sont plus nombreuses et plus rapides. Cette activité plus importante se traduit par une luminosité plus grande (100 000 à 10 millions de fois celle de notre Soleil !), une température de surface de plus de 30 000 degrés (contre 6 000 pour le Soleil), et... une vie beaucoup plus courte. Si notre Soleil vivra en tout quelque 10 milliards d'années, les étoiles massives brûlent la chandelle par les deux bouts, et ne vivent que quelques millions d'années.



η Carinae, photographiée par le HST.



WR124 et ses éjecta (photographie HST).

Les étoiles massives provoquent de nombreux phénomènes exotiques. Elles peuvent apparaître sous la forme de LVB (*Luminous Blue Variables*), qui connaissent des éruptions dramatiques et dont font partie les célèbres η Carinae¹ et HD 5980, ou d'étoiles de Wolf-Rayet (étoiles O évoluées qui éjectent un « vent » stellaire

¹ Voir l'article d'Yves Frémat : *Une Lumineuse Bleue Variable : l'étoile Eta de la Carène* (Galaxie n°7, février 1998).

très important). Et elles sont à l'origine de bulles célestes et de collisions entre vents stellaires.

Toutes les étoiles émettent un vent stellaire. Nous connaissons bien celui du Soleil : il crée de superbes aurores polaires sur la Terre, Jupiter et Saturne lorsque ses particules plongent vers les pôles magnétiques de ces planètes. Mais le vent solaire paraît bien faible à côté de celui de ses consœurs plus massives. En effet, si le Soleil entier éjecte 10^{-14} masse solaire par an, les étoiles chaudes peuvent « cracher » jusqu'à un dix millième de la masse du Soleil par an, soit un Soleil entier tous les 10 000 ans pour des étoiles vivant plusieurs millions d'années !

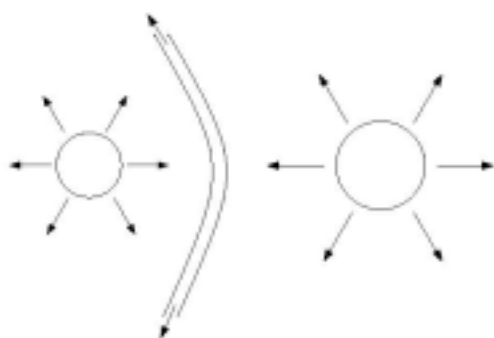


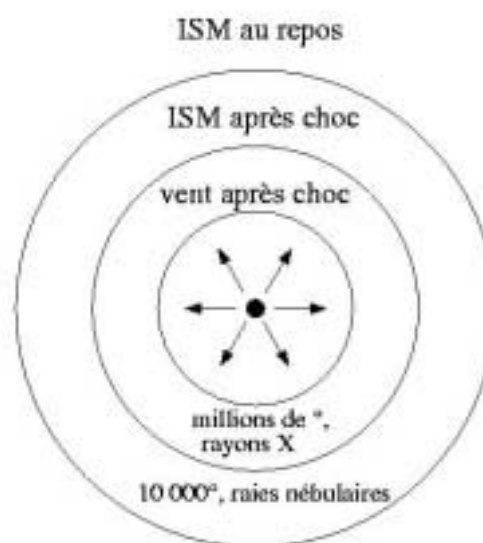
Schéma d'une collision entre les vents stellaires émis par les composantes massives d'une étoile double.

Pour donner une échelle plus parlante, sachez qu'une étoile massive peut perdre jusqu'à l'équivalent de la masse de Mars chaque jour, tandis que le Soleil ne perd qu'un milliardième de la masse de la Lune dans le même laps de temps. En une seconde, un dix millième de la Lune peut être émis par ces ogres géants... alors que le Soleil se contente d'un gros pétrolier (600 000 tonnes). Une étoile massive mettra au maximum 10 jours pour éliminer l'équivalent d'une Terre, alors que le Soleil mettra pour obtenir le même résultat... trois millions de siècles !

Et en plus, les particules émises voguent à la vitesse de croisière de 1 000 à 4 000 km/s (4 à 15 millions de km/h) ! Ce vent constitue donc une source d'énergie non négligeable. Sur la vie entière d'une étoile massive, cette énergie est en fait comparable à celle libérée par l'explosion d'une supernova ; on peut donc comprendre que l'émission du vent stellaire n'est pas sans conséquences.

Un des premiers phénomènes associés à ce vent concerne les systèmes binaires. Si les étoiles d'un système binaire sont toutes les deux massives et émettent un vent stellaire, ces vents finissent par entrer en collision. La température du gaz après collision s'élève jusqu'à quelques millions de degrés, et diminue par la suite. La signature de cette collision est l'émission de rayons X par le gaz très chaud, puis de lumière visible – par exemple des raies $H\alpha$ en émission.

Mais les étoiles chaudes sont capables de se comporter artistiquement et de sculpter

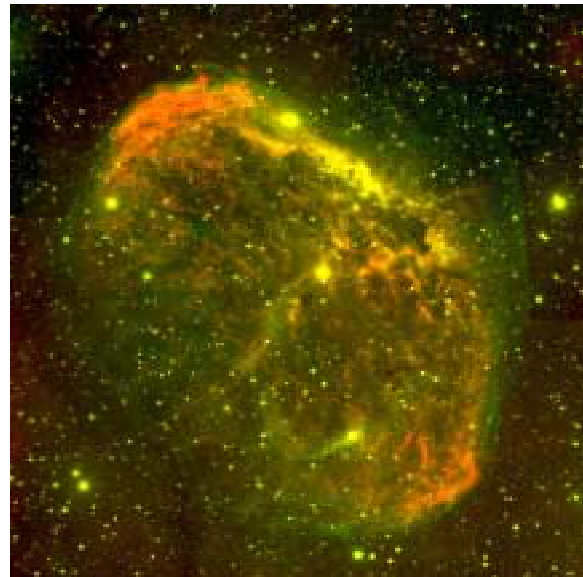


Représentation schématique d'une « bulle » stellaire.



La « Bubble Nebula », vue par le HST

Poussé violemment, celui-ci, initialement au repos, doit commencer à s'ébranler pour atteindre finalement une vitesse de quelques dizaines de km/s. Le vent, lui, voyage à quelques milliers de km/s, et doit pratiquement s'arrêter devant le mur constitué par ce gaz « froid » et lent ; son énergie cinétique se transforme donc en chaleur : la température du gaz peut ainsi atteindre quelques centaines de millions de degrés. Il se refroidit ensuite jusqu'à quelques millions de degrés, et émet des rayons X. Ce gaz chaud, très énergétique, va continuer son expansion, en poussant l'ISM à la manière d'un chasse-neige. Notez que l'ISM s'échauffe lui aussi, mais un peu moins : sa température va se maintenir aux alentours de 10 000 K, et on pourra l'observer en lumière visible comme toutes les autres nébuleuses...



NGC 6888, autour de l'étoile de Wolf-Rayet WR 136.

La « bulle » céleste a donc une structure en pelures d'oignon : au centre, le vent stellaire qui circule librement ; ensuite le vent brusquement freiné, chaud et émetteur de rayons X ; puis le milieu interstellaire mis en mouvement, légèrement échauffé et visible (on observe des raies nébulaires en émission) ; et enfin, plus loin, le milieu interstellaire non perturbé au repos.

Peut-on observer ces bulles ? Oui, et sous différentes formes. Ainsi on observe des bulles autour des étoiles massives adultes et isolées : ce sont les bulles interstellaires. On peut en trouver autour d'étoiles massives de Wolf-Rayet, plus évoluées : ce sont les bulles WR ; ces « bulles » atteignent des diamètres d'une dizaine de parsec.



Des « superbulles » dans les nébuleuses N70 (à gauche) et dans N11 (à droite) du Grand Nuage de Magellan.

Mais parfois les étoiles sont groupées, en amas ou association OB². Dans ce cas, l'action collective des vents de l'amas crée une « superbulle » dont la taille atteint une centaine de parsec. De nombreux exemples sont connus, par exemple dans les Nuages de Magellan. Et parfois, les étoiles massives sont en si grand nombre et elles sont si puissantes que les bulles qu'elles créent deviennent comparables à l'épaisseur d'une galaxie. Alors, les bulles vont finalement éclater dans le milieu intergalactique, laissant s'échapper le gaz chaud créé par les vents stellaires.



La galaxie M82, dans le visible (à gauche) et en rayons X (à droite).

² Les associations dites OB sont constituées d'étoiles massives, jeunes et très chaudes, appartenant aux classes spectrales O et B.

C'est ce qui se passe par exemple pour M82, apparemment normale dans le visible... mais surprenante en rayons X !

Le vent : ce terme semble si inoffensif... mais le vent solaire est déjà capable de provoquer des coupures des systèmes électriques ou de communication sur Terre. Que se passerait-il si nous étions voisins d'une étoile massive dont le vent est 10 milliards de fois plus important ? Pour le moment, nous nous contenterons d'admirer les sculptures que ces étoiles d'exception composent dans l'Univers... Rendons-leur cependant hommage, car sans elles point de Soleil, de Terre, d'uranium dans nos centrales, de calcium dans nos os, ... Nous sommes tous leurs enfants !

Yaël Nazé (IAGL)