



**HAL**  
open science

## Le rôle des références dans le discours astronomique

Robin Girard, Emmanuel Davoust

► **To cite this version:**

Robin Girard, Emmanuel Davoust. Le rôle des références dans le discours astronomique. Colloque "une nouvelle donne pour les revues scientifiques?", Nov 1997, Villeurbanne, France. hal-02979151

**HAL Id: hal-02979151**

**<https://hal.science/hal-02979151v1>**

Submitted on 27 Oct 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Le rôle des références dans le discours astronomique

Robin Girard et Emmanuel Davoust  
*Observatoire Midi-Pyrénées, UMR 5572*  
*14 Avenue Belin, 31400 Toulouse*

## Résumé

Les astronomes "actifs" constituent une population d'environ dix mille auteurs qui publient principalement dans une douzaine de grands journaux astronomiques, dont quelques uns à thématique large. Nous avons examiné comment ces astronomes utilisent les références bibliographiques pour étayer leur discours, comment cet usage varie avec le thème abordé et comment il évolue face à l'inflation de la littérature astronomique. Nous avons travaillé sur 1179 articles de la revue européenne *Astronomy & Astrophysics*, échantillonnés tous les cinq ans entre 1975 et 1995.

Le nombre annuel d'article astronomiques inventoriés mondialement est passé de 14600 à environ 22000 en vingt ans. Cette inflation agit-elle sur le discours astronomique? L'effet attendu est un recours plus fréquent aux références, soit pour condenser le discours s'il doit tenir en moins de pages, soit parce que le nombre de références incontournables augmente. C'est ce deuxième effet que nous avons mis en évidence; le nombre de références par page (normalisée) est resté constant, mais le nombre de références par article a augmenté de 60% entre 1975 et 1995, reflétant la croissance (dans les mêmes proportions) de la littérature qui doit être citée, et du nombre de pages par article.

Nous avons regroupé les articles en deux catégories, suivant le nombre moyen de références par article. Contrairement à notre attente, les articles à fort taux de références (42 au lieu de 27) n'appartiennent pas à des fronts de recherches, mais à des thèmes où les observations, et non la théorie, dominant.

Nous avons enfin classé les références suivant leur rôle possible, un rôle actif, suivant qu'elles étayent ou au contraire contredisent le discours, ou bien un rôle instrumental, lorsqu'elles fournissent le contexte, une définition, une source de données. La grande majorité des références (65%) servent en fait à étayer le discours, et les autres utilisations identifiées représentent chacune moins de 10% du nombre total de références. Ceci reflète simplement la nécessité de rallier des forces amies autour du discours, pour convaincre. Notons cependant qu'une référence donnée ne sert que 1.65 fois dans le discours; les astronomes ne jugent en général pas utile de mettre trop d'emphase sur le contexte favorable. Lorsque le sujet est controversé, le nombre d'articles en contradiction avec le discours augmente, mais la parade des auteurs (du moins dans le cas étudié) est de faire appel à davantage de sources de données.

Ce discours formel de validation des connaissances que nous venons d'analyser est susceptible de changer profondément à moyen terme, si les groupes de discussion et autres réseaux informels sur internet prennent le pas sur les publications électroniques et les bases de *preprints*, qui ne sont actuellement qu'une copie conforme des articles sur support papier.

## 1. Introduction

Les sociologues des sciences utilisent souvent les références bibliographiques pour mesurer la production, l'impact et la qualité de la recherche scientifique. Le nombre et la fréquence des références dans les articles astronomiques ont fait l'objet de nombreuses études, par exemple pour

évaluer l'impact des recherches de divers groupes d'astronomes [11, 12, 16, 17, 18], la productivité des télescopes [1, 4], le temps de vie des articles [2, 13], les effets du financement sur la qualité de la recherche [3], les courants d'information entre astronomie et domaines voisins [7].

Mais ils ont jusqu'à présent attaché peu d'importance, du moins en astronomie, à la manière dont les références sont utilisées dans le discours astronomique à l'intérieur de l'article. Ces références jouent pourtant un rôle essentiel, celui de confirmer que la recherche présentée est correcte et intéressante, et de lui apporter ainsi une validation extérieure. Il est donc très utile du point de vue sociologique de mettre à jour les méthodes qu'utilisent les astronomes pour atteindre ce but, cela fournit en outre un manuel de style que tout astronome devra s'efforcer de suivre pour faire publier ses articles.

## 2. L'échantillon d'articles et de références

L'essentiel de la littérature astronomique mondiale est publié dans quatre grandes revues incontournables, deux américaines (*Astrophysical Journal* et *Astronomical Journal*), une britannique (*Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*) et une européenne (*Astronomy & Astrophysics*), auxquelles il faut ajouter des revues plus spécialisées (sur le Soleil, la mécanique céleste, les planètes, l'instrumentation astronomique, etc.); certains pays (l'Inde, la Russie, le Japon, l'Australie) publient une ou plusieurs revues astronomiques d'audience internationale.

L'ensemble de cette littérature est inventorié dans les volumes semi-annuels de *Astronomy & Astrophysics Abstracts*. Ceux-ci ont été utilisés par Davoust & Schmadel [6] pour quantifier la production astronomique mondiale sur les dernières décennies; ils ont constaté que le nombre d'articles publié annuellement est passé de 14600 en 1975 à près de 22000 en 1987; depuis, cette production semble stationnaire. Le nombre d'astronomes qui publient a augmenté plus lentement (de 13500 à 19000), du fait de la saturation progressive de l'embauche. Parmi ceux-ci, la moitié seulement publie plus d'un article par an.

Dans la présente étude, nous avons adopté comme source de références bibliographiques la revue européenne, désignée ci-après *A&A*, qui est la revue utilisée par la plupart des astronomes européens. Elle couvre la plupart des thèmes astronomiques, y compris celui du présent article (voir [10]), et a le mérite de présenter une table des matières où les articles sont classés suivant huit ou neuf thèmes.

Bien que la publication de *A&A* ait commencé en 1969, nous avons décidé de compter les références à partir de 1975, estimant que la revue avait trouvé son rythme de croisière à cette date. Nous avons échantillonné les références tous les cinq ans, un intervalle assez petit pour déterminer la dépendance temporelle des références. Quatre volumes (de 400 à 600 pages chacun) ont suffi pour obtenir des statistiques fiables, avec un minimum de fluctuations (voir le tableau 1). En 1995, nous n'avons échantillonné que trois volumes (contenant 800 pages chacun).

Le nombre de thèmes croît dans le temps, ce qui reflète l'expansion de la recherche dans la plupart des thèmes. En 1975, les thèmes 7 et 8 n'en faisaient qu'un. En 1980, le thème 5 s'est divisé en deux sous-thèmes (atmosphères stellaires; évolution stellaire), et en 1984, les thèmes 6 et 7 se sont également dédoublés. Pour nous épargner du travail, nous avons trié à la main les articles des thèmes 7 et 8 en 1975, mais nous n'avons pas distingué les deux sous-thèmes de 5, 6 et 7. Ceci se justifie par la proximité des sous-thèmes. Les numéros des thèmes sont explicités dans le tableau 1.

Nous avons compté à la main toutes les références à la fin de tous les articles des quatre premiers volumes de 1975, 1980, 1985 et 1990, et des trois premiers volumes de 1995 de la revue *A&A*. Nous n'avons pas retenu les lettres et les notes de recherches, parce que ces articles plus courts n'ont

pas les mêmes objectifs que les articles plus complets, et, de ce fait, probablement un style et une rhétorique différents. Pour les mêmes raisons, nous avons également exclu la section *Supplement Series* de la revue, qui est réservée aux articles présentant essentiellement des données.

### 3. Evolution du nombre de références par article

Nous avons d'abord examiné si l'inflation galopante de la littérature a eu un effet sur le discours astronomique. L'effet attendu est un recours plus fréquent aux références, soit pour condenser le discours s'il doit tenir en moins de pages, soit parce que le nombre de références incontournables augmente.

Tableau 1. Nombre moyen de références par article et par thème dans A&A sur vingt ans. La dernière colonne est le nombre total d'articles

	Sujet	1975	1980	1985	1990	1995	n
1	Le Soleil	22.16	20.88	24.21	26.68	30.04	98
2	Systèmes planétaires	18.83	25.70	28.27	28.47	33.29	66
3	Mécanique céleste & astrométrie	10.83	11.33	16.67	19.00	26.38	36
4	Instruments & traitement de données	8.57	7.70	15.18	14.40	21.50	51
5	Etoiles	26.81	25.91	28.53	33.22	38.75	352
6	Cosmologie & astronomie extragalactique	25.94	27.02	35.73	34.80	43.96	227
7	Structure & dynamique galactique	30.07	29.65	36.96	29.00	43.88	106
8	Milieu interstellaire	29.32	34.17	36.08	34.04	39.90	143
9	Processus physiques & chimiques	16.50	18.75	25.69	23.00	22.20	100
10	Moyenne	24.07	24.65	30.15	30.45	37.20	

Le nombre de références par article a augmenté avec les années dans tous les thèmes astronomiques. Le taux de croissance est de l'ordre de 60% sur vingt ans. La littérature astronomique mondiale (estimée par le nombre d'articles cités dans les livraisons semi-annuelles de *Astronomy and Astrophysics Abstracts*) a augmenté dans les mêmes proportions dans cet intervalle de temps; ce fait fournit une explication évidente du phénomène observé : il y a tout simplement davantage d'articles à citer.

Le nombre de pages (normalisées à mille mots par page) par article a aussi augmenté à un taux voisin (55%); il est passé de 6.6 à 10.2. En fait cette tendance du nombre de pages par article à augmenter est générale; Trimble [15] donne les chiffres suivants pour le taux d'augmentation du nombre de pages par article entre 1950 et 1980-83 : mathématiques (77%), physique (27%), chimie (93%) et astronomie (82%).

En revanche, le nombre de références par page normalisée de A&A est resté relativement constant à 3.4 +/- 0.2. Autrement dit, c'est le nombre absolu de références, et non leur densité dans le texte, qui a augmenté avec les ans. Il y a davantage de résultats publiés à citer et à discuter si l'on veut être complet dans la rédaction d'un article, et cela nécessite plus de place dans la revue.

Ce résultat a une implication intéressante, à savoir que le nombre de références utiles (et donc citées) a augmenté en proportion avec le nombre total de références à citer. Il est tout de même rassurant de pouvoir se dire que l'inflation des articles n'est pas le résultat d'une invasion d'articles inutiles.

Abt [5] a trouvé une corrélation étroite entre le nombre de références  $nr$  et la longueur d'article  $al$  (normalisée à mille mots par page) des articles astronomiques publiés en 1986, telle que  $nr = 9.9 + 2.18 al$ . Cette relation prédit le bon nombre (légèrement surestimé, mais de moins d'une unité) de références dans A&A pour toutes les années, sauf 1995, où il est inférieur de cinq unités.

Ces tendances sont présentées dans la figure 1, où de légères différences de pente entre les trois courbes peuvent s'expliquer par des contraintes éditoriales et des fluctuations statistiques. Le nombre de références par article compté par Vin [19] dans six revues astronomiques en 1980-93 et par Abt [5] dans huit revues astronomiques en 1986 sont également indiqués. Les points correspondants sont voisins de la courbe en pointillé, ce qui signifie que notre échantillonnage de A&A est représentatif de la littérature astronomique mondiale.

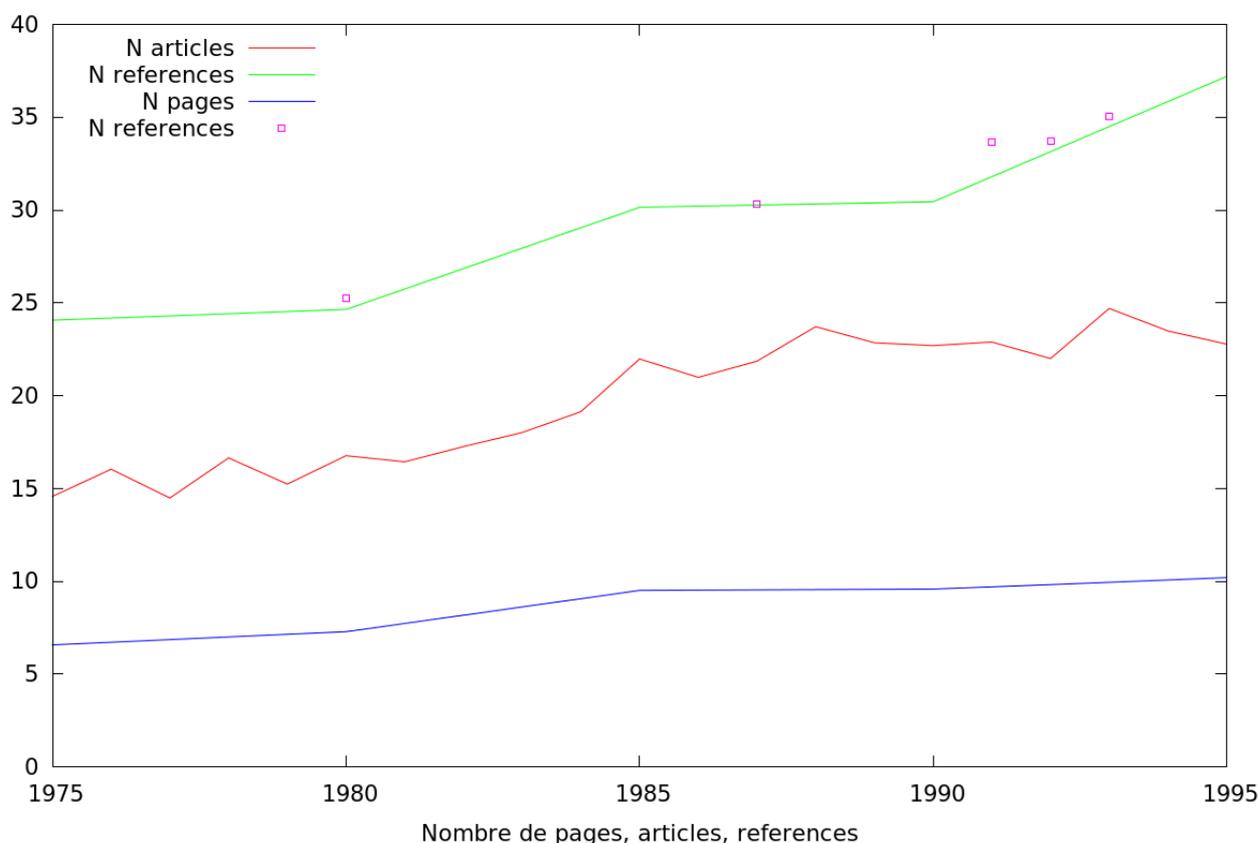


Figure 1. Evolution du nombre de références par article dans A&A (vert), d'articles par an dans Astronomy & Astrophysics Abstracts (rouge) et de pages normalisées par article dans A&A (bleu). Le nombre de références par article dans 6 ou 8 revues d'astronomie est aussi indiqué pour quelques années (carrés rouges)

De ce point de vue, le thème 9 (processus physiques et chimiques) se détache du lot parce que le nombre de références dans ce thème décroît depuis 1985 (voir la figure 2). Nous nous sommes assurés que ce n'est pas une fluctuation statistique; en effet, la tendance est encore plus marquée en comptant davantage d'articles par an. Il se peut que cet effet résulte du fait que c'est un thème frontière de l'astronomie; les astronomes n'arrivent sans doute pas à se tenir à jour de l'explosion de l'information dans les domaines voisins.

#### 4. Les références dans les différents thèmes

Le nombre de références par article augmente avec le temps, mais pas de la même façon dans tous les thèmes. On peut distinguer deux catégories de thèmes, ceux à fort taux de citation (les étoiles, l'astronomie galactique et extragalactique, le milieu interstellaire), avec une moyenne de 42 références par article en 1995, et ceux à faible taux de citation (le Soleil, la mécanique céleste, les instruments, les systèmes planétaires, les processus physiques et chimiques), avec une moyenne de 27 références par article en 1995. La figure 2 montre le nombre de références par article dans les différents thèmes aux cinq dates, et les chiffres sont donnés dans le tableau 1, où la dernière ligne donne la moyenne pondérée par le nombre d'articles dans chaque thème.

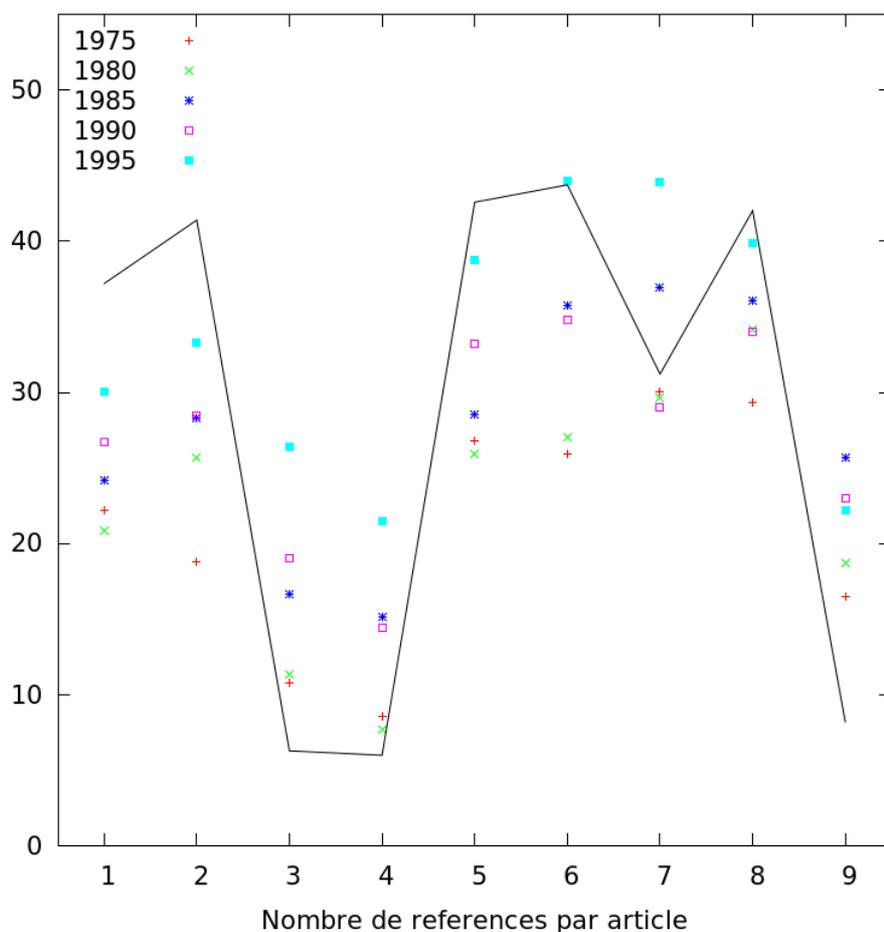


Figure 2. Distribution du nombre de références par article dans chaque thème en 1975 (croix rouges), 1980 (croix vertes), 1985 (étoiles bleues), 1990 (carrés roses), 1995 (carrés verts), et de la proportion d'articles observationnels sur vingt ans (en pourcentage, courbe continue). Les numéros des thèmes sont identifiés dans le tableau 1.

Nous avons testé deux hypothèses pour expliquer cette tendance.

Nous avons d'abord examiné si la différence pouvait être due à la dynamique interne du thème, s'il y a davantage de références par article dans les thèmes qui contiennent davantage d'articles. Dans un article précédent ([6], tableau 6a) nous avons compté le nombre d'articles publiés dans les différents thèmes dans la période 1969-1987. Avec ces données, nous ne trouvons pas de corrélation entre le nombre d'articles publiés et le nombre de références par article dans les différents thèmes.

Prenons par exemple les thèmes 1 à 4, qui ont un faible taux de citation. Si notre hypothèse est

correcte, il devrait y avoir le même (faible) nombre d'articles publiés dans ces quatre thèmes. Mais il y a au moins deux fois plus d'articles en 27 ans dans le thème 2 que dans les thèmes 1 ou 4. Inversement, il devrait y avoir le même nombre (élevé) d'articles publiés dans les thèmes 5 et 8, alors qu'il y en a au moins deux fois plus dans le premier que dans le deuxième. Cette tendance apparaît également dans la dernière colonne de notre tableau 1, bien qu'avec de grandes fluctuations, à cause de la petite taille de nos échantillons.

Ce manque de corrélation suggère que les articles ne citent pas nécessairement des références dans leur propre thème, à condition de supposer que le nombre d'articles de valeur (ceux qui méritent d'être cités) soit le même dans tous les thèmes. Ce fait a une implication intéressante, qui reste à vérifier, à savoir que certains thèmes, le 8 par exemple, doivent être étroitement liés à d'autres thèmes (extrayant de l'information de, ou la fournissant à, d'autres thèmes), puisqu'ils semblent citer davantage d'articles qu'il n'y en a à citer dans leur propre thème. Ils sont donc davantage pluridisciplinaires que d'autres thèmes, ce qui à nos yeux est une qualité.

Nous avons ensuite examiné une deuxième possibilité, qui s'est avérée la bonne, à savoir que la différence en taux de citation soit due au type de recherche, théorique ou d'observation, qui domine dans les différents thèmes. Nous avons classé tous les articles de notre échantillon en trois catégories, théorie, observation ou théorie-et-observation, et redistribué le nombre de références de cette dernière catégorie également entre les deux premières. Il y a deux fois plus d'articles théoriques qu'observationnels, et le rapport reste constant ( $0.64 \pm 0.02$ ) sur vingt ans. Mais il y a une tendance très nette suivant les thèmes (voir la figure 2); il y a moins de références par article dans les trois thèmes à forte dominante d'articles théoriques (mécanique céleste, instruments et analyse de données, processus physiques et chimiques). Cela peut s'expliquer si les articles théoriques citent uniquement des articles théoriques, alors que les articles d'observation, qui doivent fournir une interprétation des phénomènes observés pour paraître dans *A&A* (par opposition aux *Supplement Series* de cette revue), citent les deux types d'articles. Comme nous l'a suggéré Carlos Jaschek, cela peut également s'expliquer par le fait que les articles d'observation bénéficient de plusieurs grandes bases de données astronomiques qui fournissent un accès immédiat à la plupart des références à un objet céleste donnée.

La corrélation entre thème et taux de citation n'est pas aussi nette que celle entre thème et type (théorique ou observationnel), parce que, dans tous les articles, quel que soit le thème, les références concernent principalement des articles théoriques (plutôt que des observations, méthodes ou autres; à ce propos, voir la section 6).

Le nombre de références par article a aussi été étudié dans d'autres domaines scientifiques. Vin (19) donne les chiffres suivants pour l'année 1993 ; informatique (22.2), mathématiques (22.5), physique (26.3), chimie (39.5), biochimie et biologie moléculaire (44.1). Mais ces chiffres ne sont pas directement comparables à ceux qui concernent l'astronomie, parce que la longueur moyenne des articles peut varier d'un domaine à l'autre. En effet, Abt [5] remarque que, en 1986, les articles d'astronomie sont 1.8 fois plus long que les articles de physique.

Nous n'avons pas trouvé de tendances avec la nationalité des auteurs. Abt [5] parvient à une conclusion semblable; il note qu'il n'y a pas de différence entre les revues d'astronomie américaines et les autres (à savoir une britannique, une européenne et une japonaise) dans le nombre moyen de références par article de même longueur. Il en conclue que les méthodes scientifiques sont les mêmes et que les auteurs ont tendance à copier le style des articles qu'ils lisent. Nous pouvons ajouter que, pour voir leurs articles publiés, les astronomes doivent se conformer à une norme assez stricte qui est renforcée au besoin par des *referees* dans le monde entier. Le fait que la très grande majorité des articles sont en anglais contribue également à cette uniformité.

## 5. Distribution des références dans le texte

Après avoir identifié les variations du nombre de références par article en fonction du temps et du thème considéré, nous analysons maintenant comment les références sont utilisées à l'intérieur de l'article lui-même.

Les références sont utilisées en moyenne  $1.65 \pm 0.13$  fois dans le texte, sans tendance marquée, ni avec le temps, ni avec le thème. Autrement dit, la référence typique n'est pas utilisée de façon répétitive dans le discours. Le cas où trois ou quatre références sont utilisées plus fréquemment peut se présenter, mais pas très souvent (20 à 30% des cas). En bref, les auteurs n'insistent pas sur les liens entre leur article et la littérature.

Les références sont utilisées en proportion croissante dans le résumé (1.1%), la conclusion (8.2%), l'introduction (30.2%), et le corps de l'article (60.5%). Ces pourcentages reflètent dans une certaine mesure la proportion de texte dans les différentes sections, sauf pour l'introduction, qui est de toute évidence une partie importante de l'article, où le contexte scientifique est traditionnellement présenté, avec un nombre approprié de références.

Il y a de légères différences entre les thèmes, puisque nous trouvons relativement plus de références (9 points en %) dans le corps de l'article (et, inversement, relativement moins de références dans l'introduction) dans les thèmes à prédominance observationnelle que dans les thèmes théoriques. Cela veut simplement dire que l'excès de références qui caractérise les thèmes à prédominance observationnelle (voir la section 4) est cité au cours de la discussion plutôt que dans l'introduction.

De ce point de vue, la mécanique céleste fait exception, car il y a trois fois plus de références dans les résumés d'articles appartenant à ce thème que dans ceux d'articles rangés dans les autres thèmes. Comme le résumé est la partie la plus visible de l'article, cela reflète probablement le besoin pressant des auteurs d'articles de mécanique céleste de justifier l'intérêt de leur travaux. Une autre caractéristique frappante de ce thème est que les références renvoient généralement à des articles très anciens. Il faut sans doute considérer ces caractéristiques comme celles de sujets d'intérêt académique.

## 6. Rôle des références dans le discours astronomique

Notre principal objectif est d'étudier le rôle implicite des références dans un article. Nous avons pour cela adopté une simple classification des références en six rôles possibles, qui sont énumérés dans le tableau 2.

La distinction entre les rôles 2 et 3 est parfois subtile; une recherche semblable est généralement citée dans l'introduction, sans jugement de valeur sur son contenu. Les rôles 3 et 4 peuvent être considérés comme actifs, alors que tous les autres sont considérés comme instrumentaux. Nous avons subdivisé ces deux rôles (après les avoir fusionnés) en références à de l'information théorique, observationnelle ou méthodologique. La distinction entre information théorique et méthodologique n'est pas toujours évidente, la dernière est en principe une référence à des moyens théoriques (une équation, un modèle) pour atteindre son objectif. Les références à des moyens d'observation (instruments, données) utilisés dans le discours sont classées rôle 6.

Si nous prenons le présent article comme exemple, nous classons les références comme suit. Dans l'introduction, toutes les références sont 1. Dans la section 2, Davoust & Schmadel [6] est 6. Dans la section 3, la première occurrence de Abt [5] est 3C, parce que nous n'avons pas paramétrisé notre corrélation, autrement ce serait 3A; Trimble [15], Vin [19] et la deuxième occurrence d'Abt [5] sont 3B. Dans la section 4, Davoust & Schmadel [6] est 6; Vin [19] est 2, puisque nous ne pouvons pas

comparer les chiffres cités aux nôtres, sinon ce serait 3B; la première occurrence de Abt [5] est 6, puisque nous utilisons implicitement les nombres de pages cités pour affirmer qu'il n'y a pas de comparaison possible en général, sinon ce serait 3B; la deuxième occurrence d'Abt [5] est 3B. Dans la section 7, toutes les références sont 6.

Nous avons ainsi classé toutes les références des articles de 1995 dans notre échantillon. Les résultats sont présentés dans le tableau 2 et la figure 3, et discutés ci-dessous.

*Tableau 2. Fréquence des références (en pourcentage) suivant leur rôle dans le texte, dans les neuf thèmes de l'astronomie. Les trois dernières lignes sont les trois types de rôle actif et la dernière colonne est la moyenne sur vingt ans*

Rôle \ Thème	1	2	3	4	5	6	7	8	9	M
1 Contexte scientifique	9.16	10.61	19.24	13.10	10.07	9.49	5.20	2.91	13.84	10.4
2 Recherche semblable	11.06	7.52	19.70	19.05	13.49	15.51	13.69	2.68	6.59	12.1
3 Information favorable	67.57	76.55	40.79	52.38	57.93	57.25	65.53	72.48	67.99	62.1
4 Information conflictuelle	7.83	2.56	5.31	0.00	14.47	10.73	5.67	21.47	8.61	8.5
5 Définition	1.79	1.80	2.08	4.76	1.52	0.00	3.03	0.46	0.00	1.7
6 Source de données, instruments	2.60	0.95	12.88	10.71	2.53	7.02	6.87	0.00	2.97	5.2
A Théorie	51.31	62.34	51.59	75.00	46.94	47.19	46.07	45.18	52.56	53.1
B Observations	32.20	27.19	22.07	20.45	33.85	42.87	39.77	50.31	32.69	33.5
C Méthodologie	16.49	10.46	26.34	4.55	19.20	9.93	14.16	4.51	14.75	13.4

--- La plupart des références (62% en moyenne, et 65% si on exclut la mécanique céleste) renvoient à de l'information en faveur des résultats de l'article et, de ce fait, ont un rôle actif. Ce n'est pas là un résultat surprenant, notre seul mérite est de quantifier cet effet. La mécanique céleste se distingue avec un faible taux de 40%, parce que le contexte est deux fois plus important que dans les autres thèmes.

--- Tous les autres types de références représentent au plus 10% du total.

--- Les références à des informations contradictoires, rôle également considéré comme actif, fluctuent autour de 8%. Il y a évidemment un biais ici, dans la mesure où un article de recherche avec une majorité d'indices contradictoires serait très difficile à publier. Nous estimons qu'un grand nombre de références à des indices contradictoires est un signe de bonne santé, et que l'absence de controverses témoigne d'un thème statique, sans rupture importante en vue; de ce point de vue, les thèmes 5 et 8 ont un score très positif. Il est tout à fait remarquable que le thème 8 (milieu interstellaire) ait de forts taux de références à la fois à des informations en faveur de l'article et à des informations au contraire conflictuelles; mais comme il y a très peu de références jouant d'autres rôles, les chiffres ne sont pas très élevés en valeur absolue. Le thème 8 sort néanmoins de l'ordinaire, et son mode de citation mérite d'être étudié davantage.

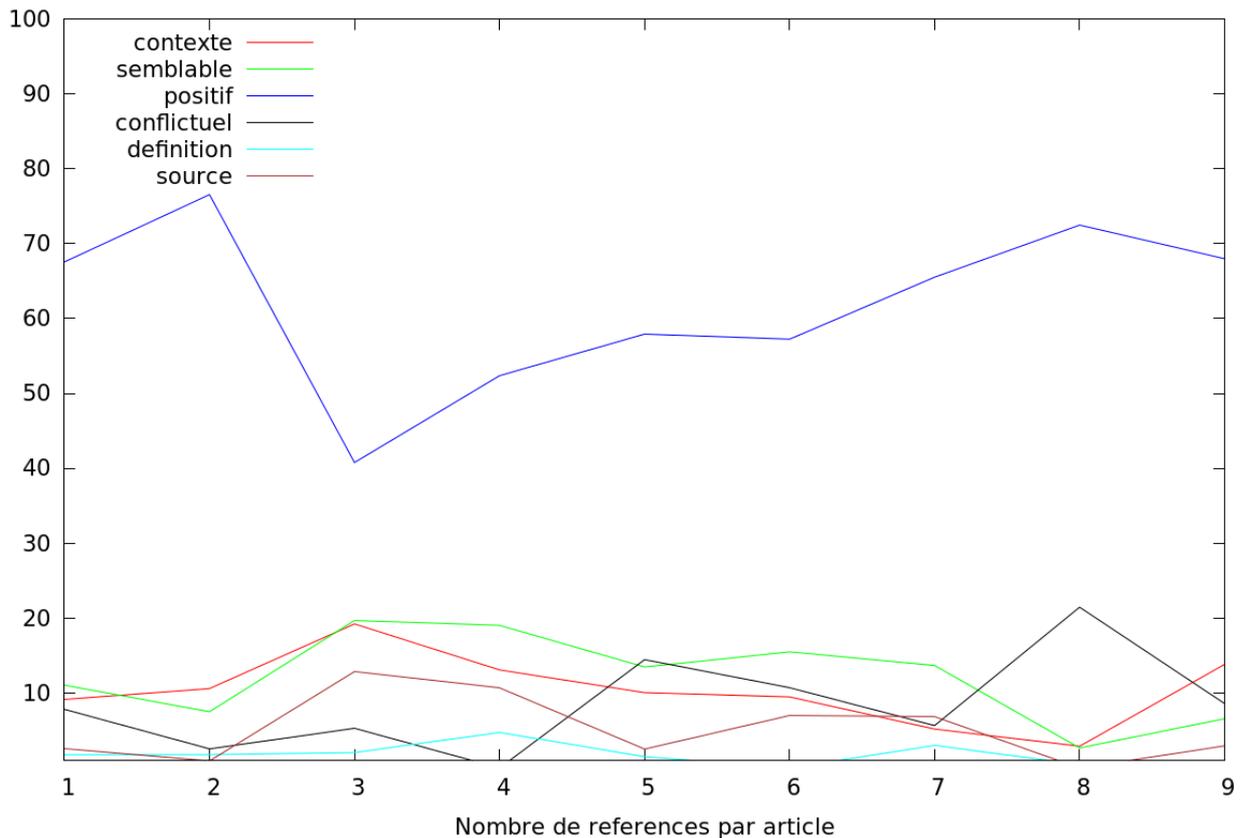


Figure 3. Importance relative des différents rôles des références dans les neuf thèmes astronomiques. Contexte (rouge), recherche semblable (vert), information positive (bleu), information conflictuelle (noir), définition (cyan), source de données et instruments (marron). Les numéros des thèmes sont identifiés dans le tableau 1

--- Les références au contexte et à des recherches similaires ne représentent que 22% du total. Du fait qu'elles sont généralement confinées dans l'introduction, nous nous attendions à ce que leur nombre relatif soit de l'ordre de 30%, chiffre qui correspond au taux de références dans l'introduction (voir la section 5). La raison de cette différence est que le débat scientifique commence dès avant la fin de l'introduction, avec des références (généralement) en faveur du projet.

Nous nous tournons maintenant vers les taux relatifs de références théoriques, observationnelles et méthodologiques.

--- La proportion de références à des articles théoriques est assez constante, avec une valeur moyenne de 53%. Les thèmes 2 (62%) et 4 (75%) sont ceux qui se détachent le plus du lot.

--- La proportion de références à des articles d'observation dépend du thème à peu près de la même façon que le nombre absolu de références (voir la figure 1), qui à son tour dépend du type (observationnel ou théorique) du thème. Si nous prenons par exemple les thèmes 5 à 8, qui sont à prédominance observationnelle, ils produisent 1.56 fois plus de références que les autres thèmes (voir la section 4), et ces références sont 1.54 fois plus observationnelles que celles des autres thèmes. Autrement dit, il y a une bonne corrélation entre le thème des articles citants et cités.

## 7. Un cas d'école, de Vaucouleurs et la constante de Hubble

Gérard de Vaucouleurs (1918 - 1995) est l'un des astronomes les plus remarquables de la deuxième

moitié de ce siècle; il a été très productif, avec 208 articles publiés entre 1969 et 1985 [6], et très cité, avec 686 citations en 1982 (dépassé uniquement par Chandrasekhar; [14], [16]). Il a en particulier joué un rôle fondamental dans le débat sur la constante d'expansion de l'univers, la constante de Hubble. Ces qualités très enviabiles nous ont incités à choisir sa série de huit articles dans la revue *Astrophysical Journal* entre 1977 et 1993 (voir [8], [9] et les références qui y sont citées) comme point de départ d'une analyse du talent rhétorique. Les lecteurs pourront objecter que cette revue n'est pas *A&A*, mais cette série d'articles est tout simplement unique. Qui d'autre aurait écrit une série homogène de huit articles ou plus ces vingt dernières années sur l'un des grands sujets d'actualité de l'astronomie contemporaine?

Le nombre total de références dans cette série d'articles est légèrement au dessus de la moyenne (50 +/- 15 par article) pour un thème observationnel, et leur fréquence d'apparition dans le texte est nettement au dessus de la moyenne. L'article VIII, qui parut quatorze ans après les sept premiers, et constitue le dernier mot de de Vaucouleurs sur la valeur de la constante de Hubble, contient 72 références différentes, mais elles apparaissent 466 fois dans le texte (soit une fréquence de 6.5 par référence). Si l'on exclut ce dernier article, la fréquence est de 2.0 par référence (comparable au 1.65 moyen pour *A&A*).

Ayant présent à l'esprit le fait que ces articles sont au fond un débat entre deux échelles des distances dans l'univers, celle de de Vaucouleurs et celle de Sandage & Tammann (ci après ST), nous trouvons que les autocitations et les références à ST apparaissent avec la même fréquence élevée dans le texte (2.5, si l'on exclut l'article VIII). Dans ce dernier article de compilation, les références à d'autres articles ont une fréquence plus élevée (8.7) que les autocitations (5.2) et les références à ST (4.0). En excluant les autocitations, les références à ST et l'article VIII, nous trouvons que la fréquence des références est normale (1.7). C'est donc le débat avec ST qui augmente cette fréquence. Il est intéressant de remarquer que, dans les listes bibliographiques, le nombre d'autocitations augmente de façon monotone de 5 dans l'article I à 32 dans l'article VII, alors que le nombre de références à ST reste assez constant, entre 5 et 7. L'auteur rappelle en renfort ses autres articles au fur et à mesure que le débat progresse.

Si la distribution des références dans le texte est inhabituelle, le découpage du discours en huit articles en est la cause. L'introduction est toujours très courte et contient une très petite proportion (6%) de références, puisque la plupart d'entre elles sont utilisées pour structurer le débat dans le texte (72%) et les appendices (17.2%). La plupart des articles ont des appendices, cela fait partie du style de de Vaucouleurs qui y fait souvent appel, ainsi qu'à des renvois en bas de page; le discours y gagne en clarté et concision, et, inversement, l'article y gagne en précision et complétude. Mais, dans la présente série d'articles, le nombre d'appendices et de renvois (respectivement 2 et 6 par article en moyenne) sont anormalement élevés.

Le débat intense (mais courtois) modifie les proportions de références utilisées dans différents buts. Il n'y a que 40% de références (autocitations incluses) en faveur du discours, à comparer à 62.1% en moyenne dans *A&A*, parce que les références à des informations conflictuelles (15% au lieu de 8.5) et à des sources de données (25% au lieu de 5.2%) sont plus fréquemment utilisées que de coutume. L'auteur est de toute évidence en territoire ennemi, et doit faire davantage usage de données pour compenser l'absence de forces amies.

Les données peuvent être citées, mais elles peuvent également être présentées dans des figures et des tableaux. Le nombre de figures augmente progressivement dans la série, révélant un recours de plus en plus fréquent à une présentation visuelle de l'information au fur et à mesure que la discussion progresse, une sage stratégie puisque les figures sont plus faciles à appréhender que des chiffres. Il y a aussi davantage de tableaux dans la deuxième moitié des articles, mais pas de progression frappante.

Finalement, quittant le domaine de la scientométrie, le lecteur ne peut que rester admiratif devant le talent avec lequel l'auteur le mène à travers la complexité du débat scientifique, maintenant le suspense en ne révélant la valeur adoptée de la constante de Hubble que dans l'article VII.

## 8. Quel avenir pour le discours astronomique ?

On peut maintenant s'interroger sur l'évolution possible de ce discours formel de validation des connaissances dans un monde en mutation permanente.

Notre étude a montré que, en réponse à l'augmentation du nombre d'articles à citer, le nombre de pages et de références par article augmente, et la densité de références reste constante. Mais l'évolution vers les publications électroniques et les bases de *preprints* va-t-elle modifier cette tendance?

Deux des quatre grandes revues d'astronomie (*Astrophysical Journal* et *A&A*) ont une version électronique, et la base de *preprints* de *Los Alamos National Laboratory* qui a des miroirs un peu partout dans le monde, à Jussieu pour la France, a une section astrophysique qui reçoit actuellement une dizaine d'articles par jour (contre 7 en 96 et 5 en 95). Mais il est peu probable que cette tendance, même si elle se généralise, modifie la rhétorique, car ces publications électroniques ne sont actuellement qu'une copie conforme des articles sur support papier.

Incidentement, il a été suggéré que ces publications électroniques enregistrent le nombre de téléchargements d'un document électronique donné, pour mesurer son impact. Mais il est évident que cette mesure n'est pas fiable, car elle peut facilement être biaisée par un robot, par les amis de l'auteur, ou par un groupe de pression qui fait télécharger le document par tous ses membres. Les outils d'analyse bibliométriques ne vont donc pas s'en trouver modifiés.

En revanche, il est clair que d'autres modes de communication, comme les groupes de discussion, les listes de diffusion et autres réseaux informels sur internet sont en train d'occuper une place sans cesse croissante dans le débat scientifique. Si on ajoute à cela qu'une volonté est en train d'émerger de s'affranchir du circuit commercial qui ralentit et contraint fortement le processus de publication, on peut aisément penser qu'un processus nouveau de validation et d'archivage des avancées scientifiques est susceptible de voir le jour à moyen terme. Cela restera sans doute un texte formel, mais dont la rhétorique pourra s'appuyer sur des hyperliens à des débats électroniques, à des images, plutôt que sur des références bibliographiques; la structure et la lecture d'un tel document ne sera plus du tout linéaire.

Il faut néanmoins préciser que tout cela ne devrait pas bouleverser la logique du raisonnement scientifique, et que, pour être validé, un document nouveau devra faire état d'une majorité d'informations en faveur de ce qui est avancé. Mais ces informations pourront être très différentes de références bibliographiques, et présentées dans un ordre chaotique plus proche de celui de la pensée créatrice que du raisonnement a posteriori.

## 9. Conclusion

L'analyse statistique du nombre et de la distribution des références dans le texte de 1179 articles échantillonnés dans la revue *A&A* sur vingt ans fournit un manuel de style pour l'usage des références en astronomie.

Le nombre de références par article augmente sans cesse avec les ans, au rythme de l'accroissement du nombre d'articles publiés dans le monde et du nombre de pages par article. Le cas des références

dans le thème des processus physiques et chimiques constitue une exception frappante, puisqu'elles ne font que décroître depuis 1985. Les astronomes sont censés se tenir à jour de l'inflation de la littérature astronomique au prix de celle dans les domaines voisins, et de faire usage des références en conséquence.

Le nombre de références par page de mille mots reste constant (3.4 +/- 0.2 références par page), ainsi que le nombre de fois qu'une référence donnée est citée dans l'article (en moyenne 1.65 fois). Le nombre de références peut augmenter dans le temps, mais elles doivent être utilisées avec modération dans le texte. Pas plus de 60% des références ne doivent être utilisées pour soutenir les affirmations de l'article, et, pour rester crédible, environ 10% des références doivent être à des informations conflictuelles, soit 70% de références à rôle actif.

Le nombre de références par article dépend du type (à prédominance théorique ou observationnelle) du thème. Les auteurs peuvent utiliser 1.5 fois plus de références si leur article appartient au deuxième type.

L'introduction de l'article joue un rôle particulier, avec un grand nombre de références (30.2% en valeur relative) par rapport à son volume. un tiers d'entre elles doivent fournir des informations en faveur (et une fois sur dix contre) le projet spécifique de l'article.

Il n'y a pas de tendance avec la nationalité dans la façon d'utiliser les références; la conformité est de règle.

L'analyse d'une série d'articles de de Vaucouleurs sur la constante de Hubble montre que, dans les articles appartenant à un front de recherche, il faut consacrer davantage de place aux données et aux informations conflictuelles. Les auteurs peuvent alors faire davantage appel aux données et relever leur taux d'autocitation dans le texte pour défendre leur point de vue.

Les conseils ci-dessus sont bien sûr à ne pas prendre au pied de la lettre, ils constituent simplement un résumé des résultats de notre étude.

Enfin, nous faisons quelques remarques spéculatives sur ce que l'avenir réserve au rôle des références dans le discours astronomique.

**Remerciements.** Gérard de Vaucouleurs ne se doutait certainement pas que ses articles seraient utilisés de cette façon quand il nous a donné un ensemble de tirés à part il y a bien des années, et il n'aurait pas non plus approuvé cet usage. Mais cette étude a été menée avec tout le respect qui est dû à sa mémoire, et se veut une louange de sa recherche et de son enseignement. Ceci est le texte d'une communication présentée au Colloque "une nouvelle donne pour les revues scientifiques?", ENSSIB à Villeurbanne les 19-20 novembre 1997 et au Colloque INRA "La revue scientifique dans tous ses états" à Montpellier, le 5 février 1998. La traduction en anglais de cet article a été publiée dans *A&A* [10].

## **Bibliographie**

[1] : Abt, H.A., 1980, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* 92, 249

[2] : Abt, H.A., 1981, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* 93, 207

[3] : Abt, H.A., 1984, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* 96, 563

[4] : Abt, H.A., 1985, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* 97, 1050

- [5] : Abt, H.A., 1987, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* 99, 1329
- [6] : Davoust, E., Schmadel, L., 1991, *Scientometrics* 22, 9
- [7] : Davoust, E., Bercegol, H, Callon, M., 1993, *Les Cahiers de l'ADEST*, numéro spécial, Juillet 1993, p. 44
- [8] : de Vaucouleurs, G., 1993, *Astrophysical Journal* 415, 10
- [9] : de Vaucouleurs, G., Bollinger, G., 1979, *Astrophysical Journal* 233, 433
- [10] : Girard R., Davoust E., 1997, *Astronomy & Astrophysics* 323, A1
- [11] : Jaschek, C., 1992, *Scientometrics* 23, 377
- [12] : Peterson, C.J., 1987, *Journal of the Royal Astronomical Society of Canada* 81, 30
- [13] : Peterson, C.J., 1988, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* 100, 106
- [14] : Trimble, V., communication privée
- [15] : Trimble, V., 1984, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* 96, 1007
- [16] : Trimble, V., 1985, *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society* 26, 40
- [17] : Trimble, V., 1993a, *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society* 34, 235
- [18] : Trimble, V., 1993b, *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society* 34, 301
- [19] : Vin, M.-J., 1995, *DESS de gestion de l'information scientifique et technique*, Université d'Aix-Marseille III, centre de St Jérôme.