



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Università degli Studi di Padova

Dipartimento di Studi Linguistici e Letterari

Corso di Laurea Magistrale in
Lingue e Letterature Europee e Americane
Classe LM-37

Tesi di Laurea

Bonnes nouvelles des étoiles de Jean-Pierre Luminet. Vulgarisation et traduction, du français vers l'italien

Relatore
Prof. Geneviève Henrot

Laureanda
Gloria Zanella
n° matr. 1143201 / LMLLA

Anno Accademico 2018 / 2019

Table des matières

Introduction	7
Chapitre I : La communication scientifique	11
1. La théorie de la communication de Roman Jakobson	11
2. La nature de la communication scientifique	13
2.1. La dimension verticale des langues	14
2.2. Les langues de spécialité et langues communes	14
3. Les niveaux de la communication scientifique en fonction des destinataires	15
3.1. La communication scientifique spécialisée des spécialistes du même domaine	15
3.2. La communication scientifique semi-spécialisée en situation d'enseignement	16
3.3. La communication scientifique non spécialisée dans la divulgation	16
4. La socioterminologie comme moyen d'analyse des terminologies	17
4.1. L'étude des terminologies : un cadre introductif	19
4.2. La terminologie spécialisée et ses caractéristiques	21
4.3. L'activité terminologique : le domaine d'étude, l'unité de base et les objectifs	22
4.4. La terminologie de vulgarisation	23
5. Le processus de formation de la terminologie scientifique	25
5.1. La composition à base de racines gréco-latines	25
5.2. La dérivation	26
5.3. Les emprunts	28
5.4. Les calques	29
5.5. Les figures de style : métonymie, synecdoque, métaphore	30
5.5.1. La métonymie	30
5.5.2. La synecdoque	30
5.5.3. Les études des modèles métaphoriques	31
5.5.3.1. Les fonctions et le rôle de la métaphore	33
5.5.3.2. Les métaphores comme ressorts dans la création des terminologies	34
5.5.3.3. Le processus de formation des métaphores scientifiques	36
5.5.3.4. Le transfert interlinguistique des métaphores terminologiques	37
Chapitre II : La glose	39
1. Une introduction à la glose	39
1.2. Paraphrase, reformulation et glose : candidats à la nomination des énoncés	40
1.3. Les différents types de glose : glose épilinguistique et glose métalinguistique	41
1.4. L'emploi d'une expression métalinguistique entre un mot et sa glose	41
2. Du mot glosé à la glose	42

2.1. Les néologismes et la glose	42
2.1.1. Les néologismes glosés	42
2.1.2. Les néologismes glosants	43
2.1.3. Les emprunts et la glose	44
2.1.4. L'emploi de <i>c'est-à-dire</i> et de <i>ou</i> entre l'emprunt et sa glose	45
3. Les marqueurs de glose	45
3.1. Les marqueurs à métaterme	46
3.1.1. Les marqueurs formés sur <i>appeler</i>	46
3.1.2. Le marqueur de glose à <i>savoir</i>	48
3.1.3. Les marqueurs formés sur <i>dire</i> : <i>autrement dit, ce qui veut dire, c'est-à-dire, je veux dire</i>	48
3.1.3.1. Le marqueur de glose <i>autrement dit</i>	48
3.1.3.2. Le marqueur de glose <i>ce qui veut dire</i>	50
3.1.3.3. Le marqueur de glose <i>c'est-à-dire</i>	51
3.1.3.4. Le marqueur de glose <i>je veux dire</i>	52
3.1.4. Le marqueur de glose <i>en d'autres termes</i>	53
3.2. Les marqueurs sans métaterme	54
3.2.1. Le marqueur de glose <i>bref</i>	54
3.2.2. Le marqueur de glose <i>comme</i>	55
3.2.3. Le marqueur de glose <i>donc</i>	56
3.2.4. Le marqueur de glose <i>en somme</i>	57
3.2.5. Le marqueur de glose <i>en particulier</i>	57
3.2.6. Le marqueur de glose <i>ou</i>	58
3.2.7. Le marqueur de glose <i>ou plutôt</i>	58
3.2.8. Le marqueur de glose <i>par exemple</i>	60
3.2.9. Le marqueur de glose <i>tel (que)</i>	60
4. En guise de conclusion	61
Chapitre III : La traduction scientifique	63
1. Les définitions de traduction	63
1.1. Les définitions de traduction scientifique	63
1.2. Les facteurs à garder qui conditionnent l'exercice de la traduction scientifique	65
1.2.1. Les facteurs extratextuels	65
1.2.2. Les facteurs sémantiques	66
1.2.3. Les facteurs syntaxiques	70
1.3. Les conditions d'exercice du traducteur du domaine scientifique	70
1.3.1. Le rôle du traducteur et ses compétences	70
1.3.2. Les approches du traducteur pour une compréhension globale du texte	73
1.3.3. La conception de « traduction spécialisée »	74
1.3.4. Les rapports entre les sous-systèmes conceptuels d'un domaine spécialisé	75
1.4. Les enjeux de la traduction scientifique	76
2. Les définitions de traduction scientifique de vulgarisation	79
2.1. Les conditions d'exercice de la traduction de vulgarisation	80
2.2. Les enjeux de la traduction scientifique de vulgarisation	81

3. Les conditions d'exercice de la traduction : encadrement théorique	82
3.1. Le projet de traduction	82
3.1.1. Les approches fonctionnelles dans la traduction	82
3.1.2. La théorie du <i>skopos</i> dans les théories fonctionnelles de la traduction	84
3.1.3. La théorie de l'action traductionnelle comme approche fonctionnelle	86
3.2. Les « stratégies de traduction »	86
3.2.1. La notion de « stratégies de traduction »	86
3.2.2. Les caractéristiques des stratégies de traduction	88
3.3. Les opérations de traduction	89
Chapitre IV : <i>Bonnes nouvelles des étoiles</i>	93
1.1. Jean-Pierre Luminet	93
1.2. L'activité scientifique de Jean-Pierre Luminet	93
1.3. L'art et l'écriture au service de la vulgarisation scientifique	94
1.4. Jean-Pierre Luminet comme vulgarisateur : ses domaines de spécialité	95
2. <i>Bonnes nouvelles des étoiles</i> : la présentation de l'œuvre	97
2.1. Caractéristiques stylistiques de <i>Bonnes nouvelles des étoiles</i>	99
2.2. Le lexique dans l'œuvre	100
2.2.1. Les planètes et les satellites : terminologie et marqueurs de glose	101
2.2.2. Les trous noirs : terminologie et marqueurs de glose	102
2.2.3. Les galaxies : terminologie et marqueurs de glose	104
2.3. L'emploi des expressions figées dans <i>Bonnes nouvelles des étoiles</i>	106
3. Caractéristiques syntaxiques de l'œuvre	107
3.1. Le rôle de l'interrogation	107
3.2. Les constructions impersonnelles	110
3.3. La phrase passive	111
3.4. La coordination	112
3.5. La subordination	117
3.6. La syntaxe des circonstancielles	120
Chapitre V : Les opérations traductionnelles	125
1. L'origine des opérations de traduction : Vinay et Darbelnet	125
2. Les typologies des opérations traductionnelles selon Hurtado Albir et Molina	127
3. L'usage des opérations de traduction dans <i>Bonnes nouvelles des étoiles</i>	130
3.1. L'emprunt	131
Trou de ver / Wormhole	131
3.2. Le calque	132
Hyperamas / Iperammaso	132
Terrocentrique / Terrocentrico	133
Crêpe stellaire flambée / Crêpe stellare infuocata	133
3.3. La transposition	136

Déguster en brochettes / Gustare come degli spiedini	136
Solarien / Del Sole	136
3.4. Un sous-procédé de la transposition : l'amplification	137
Endogé / Degli ambienti endogei	137
Spiraler / Seguire un moto a spirale	138
3.5. L'équivalence	139
Biscornu / Arzigogolato	139
Fontaine blanche / Buco bianco	140
Flonflons / Motivetti	140
Module d'exploration / Modulo di atterraggio	141
Pied de nez / Fare marameo	141
Se tenir les côtes de rire / Tenersi la pancia dalle risate	142
Soupe primitive / Brodo primordiale	143
Titanesque / Titaniano	144
Trou noir supergéant / Buco nero supermassiccio	144
3.6. La généralisation	145
Lueur / Lucina	145
3.7. La particularisation	145
Rabougri / Rinsecchito	145
Réservoir de la vie / Serbatoio di vita	146
Réservoir de glace / Giacimento di ghiaccio	147
4. En guise de conclusion	147
Conclusion	149
Annexes	155
Traduction : <i>La vie dans le système solaire</i>	157
Traduction : <i>Les trous noirs</i>	187
Traduction : <i>Les galaxies</i>	227
Concordancier	257
Arbres terminologiques du domaine	321
Riassunto	327
Bibliographie	353
Sitographie	361
Remerciements	363

Introduction

La traduction du genre de la vulgarisation scientifique se fonde sur l'équilibre entre la terminologie spécifique propre du domaine et la langue commune. En fait, le genre de la vulgarisation scientifique trouve ses fondements dans la communication scientifique, un moyen qui permet aux chercheurs et aux spécialistes de diffuser les résultats et les nouvelles découvertes à un public qui peut être composé de destinataires spécialisés du domaine ou simplement de lecteurs intéressés à la matière traitée. Selon Cortelazzo, pour ce qui concerne les domaines scientifiques, techniques et professionnels, les langues de spécialité qui dominent les textes assument aussi une dimension verticale qui se caractérise selon la typologie des destinataires : des spécialistes appartenant au domaine ; des non spécialistes qui apprennent les connaissances spécialisées à travers leur formation académique ; des non spécialistes intéressés aux découvertes scientifiques qui apprennent des connaissances globales et non spécialisées à travers le genre de la vulgarisation. En outre, selon Gaudin et ses études sur la socioterminologie, le partage du savoir et le contact entre le spécialiste et le lecteur profane sont les fondements de la vulgarisation, et pour cette raison, le discours de vulgarisation scientifique devient aussi un lieu de circulation entre les discours sources produits par les professionnels d'un domaine spécialisé et les discours d'écriture seconde qui sont élaborés par les vulgarisateurs, afin de faciliter la diffusion des connaissances aux lecteurs du grand public.

Comme affirme Jacobi, au niveau de la vulgarisation, la langue de spécialité tend à perdre les marques qui la caractérisent afin de coexister avec la langue commune qui trouve l'emploi comme un métalangage, où les termes spécialisés sont remplacés par des synonymes appartenant à la langue commune et au registre moyen. L'emploi de la synonymie plus vague et des marqueurs de glose, par rapport à la terminologie scientifique, permet d'établir un rapport de référence qui met en équivalence des termes communs à ceux plus techniques et complexes qui sont expliqués à travers des périphrases, des gloses ou des paraphrases explicatives. En particulier, la fonction des gloses métalinguistiques joue le rôle d'intermédiaire entre la langue de spécialité et la langue commune, en affirmant son caractère d'éclaircissement à propos de la singularité sémantique du terme, et à partir d'un terme particulier, la glose métalinguistique se dé-

ploie nécessairement dans une séquence caractérisée par une unité lexicale, un mot du discours, un morphème grammatical, une construction ou un contour prosodique. Par conséquent, le rapport entre le segment glosé et le segment glossateur constitue le nœud sémantique et discursif qui relie le processus de vulgarisation à partir des discours de spécialisation jusqu'à leur reformulation.

Le corpus de ce travail de traduction se fonde sur l'œuvre *Bonnes nouvelles des étoiles* qui s'insère dans le genre de la vulgarisation scientifique et devient intéressante à plusieurs titres, parce que le genre de la vulgarisation permet de donner la possibilité d'approcher les notions scientifiques de la syntaxe de la langue commune, propre aux lecteurs moyens. Après une lecture attentive et approfondie de l'œuvre, les activités de recherche terminologique seront conduites afin de trouver la correspondance entre les termes français et les termes italiens du domaine de l'astrophysique et de la physique qui caractérisent le texte et la glose, aussi grâce à l'emploi des stratégies et des opérations traductionnelles comme l'emprunt, le calque, la transposition, l'amplification, l'équivalence, la généralisation et la particularisation.

En particulier, la traduction exécutée concernera des thèmes qui offrent un panorama fait de zoom en arrière, à partir du système solaire jusqu'à la vision d'ensemble de l'Univers, à travers le genre de la vulgarisation. Les sections traduites qui feront l'objet d'étude sont : le deuxième chapitre *La vie dans le système solaire* dans la première partie *Nouvelles régionales : les planètes et le système solaire* de la page 33 à la page 54 ; la section sur *Les trous noirs* du cinquième chapitre *La formation des trous noirs et la relativité générale* dans la deuxième partie *Nouvelles nationales : les étoiles et la galaxie* de la page 170 à 198 ; enfin, le premier chapitre sur *Les galaxies* dans la troisième partie *Nouvelles internationales : les galaxies et l'Univers* de la page 201 à la page 223.

Pendant le processus de traduction en italien des sections sur *La vie dans le système solaire*, les *trous noirs* et les *galaxies*, les aspects approfondis concevront : 1) la communication scientifique à partir du schéma général de la communication de Jakobson et ses niveaux en fonction des destinataires, la socioterminologie, la terminologie spécialisée en fonction de glose, le processus de formation de la terminologie scientifique à travers la composition à base de racines gréco-latine, la dérivation, les emprunts, les calques, les figures comme la métonymie, la synecdoque et la métaphore ; 2) une

analyse des marqueurs de glose avec ses caractéristiques spécifiques ; 3) l'opposition entre la traduction scientifique et la traduction de vulgarisation à travers leurs définitions, leurs conditions d'exercice, les enjeux, les stratégies et les opérations traductionnelles utilisées ; 4) l'œuvre *Bonnes nouvelles des étoiles* avec ses caractéristiques lexicales, syntaxiques et stylistiques, la terminologie du domaine astrophysique ; 5) une réflexion métatraductologique et en considérant quelques exemples réputés les plus intéressants qui résulteront de l'emploi des opérations traductionnelles qui auront constitué un défi au niveau linguistique et qui auront fait l'objet d'étude du point de vue traductologique pendant le processus de traduction.

Les tâches de la traductrice incluront, d'abord, la recherche terminologique, ensuite la concordance en italien du vocabulaire et de la stylistique choisis par l'auteur, puis la syntaxe du discours dans le texte cible, enfin les stratégies et les opérations de traduction mises en œuvre en accord avec la fonction didactique du texte dans le genre de la vulgarisation. Premièrement, la recherche de la terminologie, caractérisée par la clarté et l'univocité du domaine de l'astrophysique et de la physique, pourra mener souvent à des termes peu accessibles directement. En fait, les dictionnaires en ligne montrent leurs limites, et donc une recherche plus approfondie du domaine est nécessaire, afin d'identifier le terme cible plus approprié. Pour cette raison, la lecture attentive des revues et des articles de vulgarisation et la consultation des liens électroniques de la *NASA* et *HubbleSite* seront indispensables non seulement pour avoir une idée claire des concepts exprimés dans le texte source, mais aussi pour apprendre les notions et la terminologie à propos des découvertes faites sur les planètes, les satellites dans notre système solaire, les caractéristiques des trous noirs et des trous de ver, et enfin sur les typologies des galaxies et leur formation. Deuxièmement, une fois identifiée la concordance, la rédaction d'un concordancier sera indispensable, non seulement pour classer les termes techniques et spécialisés du domaine, mais aussi pour désigner les termes appartenant à la langue commune qui présentent des emplois différents dans l'œuvre *Bonnes nouvelles des étoiles*. Troisièmement, les opérations traductionnelles seront le moyen pour résoudre les enjeux du texte et les problèmes de traduction que la traductrice rencontrera pendant le processus de traduction. À ce propos, Molina¹ et Hurtado Albir²

¹ Molina L., Hurtado Albir A., "Translation techniques revisited: A dynamic and functionalist approach", *Meta journal des traducteurs*, vol. 47, n° 4, décembre 2002, pp. 498-512.

proposent la classification des dix-huit opérations³ de traduction à partir de leur considération par rapport à la fonctionnalité de l'opération dans son contexte et à la méthode choisie. Les opérations de traduction qu'ils ont proposé, sont : l'adaptation, l'expansion linguistique, l'amplification, le calque, la compensation, la compression linguistique, la création discursive, la description, l'élision, l'équivalence, la généralisation, la modulation, la particularisation, l'emprunt, la substitution, la traduction littérale, la transposition et la variation.

² Hurtado Albir A., *Traducción y Traductología : Introducción a la traductología*, Madrid, Catedra, 2001, p. 266-271.

³ Molina et Hurtado Albir incluent les propositions de Vinay et Darbelnet dans leur propre liste des opérations traductionnelles.

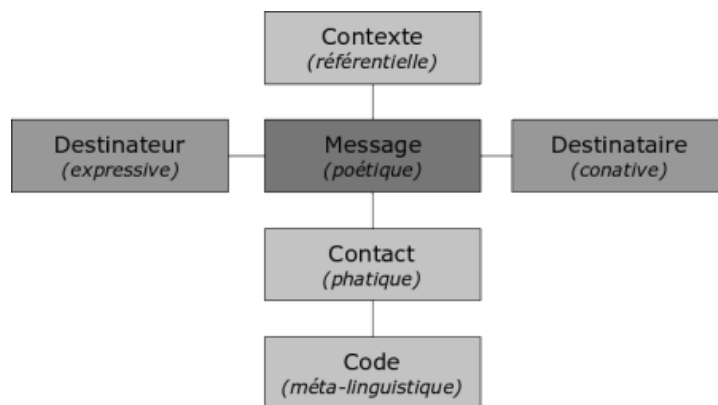
Chapitre I

La communication scientifique

1. La théorie de la communication de Roman Jakobson

La faculté du langage permet aux hommes de structurer leur pensée, d'organiser leur vision du monde et de communiquer en créant des relations psychosociales. La communication linguistique est un acte intentionnel et interactionnel qui implique l'utilisation du langage articulé comme système de signes directs, phoniques ; ou celle du langage écrit comme code de signes substitutifs du langage parlé.

La théorie de la communication humaine, qui a fait l'objet d'étude du linguiste Roman Jakobson⁴, considère en premier lieu l'encodage de l'information, c'est-à-dire la transformation du message abstrait en un système de signes concret, comme condition pour établir la communication. Dans le schéma élaboré par Roman Jakobson, qui constitue la base de la théorie de communication, sont impliqués six facteurs : le destinataire, le contexte, le message, le contact, le code et le destinataire. Le *destinateur* émet un *message* en utilisant un *code* particulier ; pour être opérant, ce message abstrait doit être adapté à un *contexte* concret. Le message passe par un *canal* physique avant de parvenir au *destinataire* qui va le décoder. Jakobson a établi que chacun de ces six facteurs produit une fonction linguistique différente qui est à la base de la communication verbale : expressive, référentielle, poétique, phatique, métalinguistique et conative.



La fonction *expressive* ou *émotive* est centrée sur le destinataire : elle témoigne les sentiments, les émotions de son émetteur. Toutes les marques énonciatives qui mon-

⁴ Jakobson R., *Essais de linguistique générale*, Paris, Éditions de Minuit, 1963.

trent la présence ou la subjectivité du destinataire, appartiennent à cette fonction. L'expression des sentiments et celle de la subjectivité au moyen des interjections et des exclamations exploitent cette fonction. Les fonctions expressive et référentielle sont deux fonctions à la base de la communication : la première est subjective et affective, tandis que la deuxième est objective et dénotative.

La fonction *référentielle* ou dénotative est centrée sur le contexte et le message. Son but est de donner des informations vraies et objectives ; certains linguistes l'appellent aussi fonction cognitive parce qu'il y a un rapport d'objectivité et de vérité entre le message et la réalité codée. Cette fonction est représentée par un contexte qui est en relation avec le fait de transmettre une information se référant à une réalité extralinguistique.

La fonction *poétique* est centrée sur le message et elle est exprimée par tout ce qui « apporte un supplément de sens au message par le jeu de sa structure, de sa tonalité, de son rythme »⁵. Les jeux de mots et l'utilisation des figures de style comme la comparaison, la métaphore, la métonymie, l'euphémisme sont des procédés qui se rapportent à la fonction poétique du langage. Dans cette fonction, le langage joue sur son propre code.

La fonction *phatique* est en rapport avec le canal ou le contact ; elle a pour but d'établir la communication, de la maintenir et enfin de terminer le contact physique et psychologique avec le récepteur. Un exemple peut être le terme « allô ! » utilisé pour commencer la communication ; d'autres marques de la fonction phatique qui font débiter, maintenir ou interrompre la conversation sont : « bonjour », « salut », « n'est-ce pas », « eh bien », « bon », « vous m'entendez ? », « au revoir », « à demain ».

La fonction *métalinguistique* est orientée vers le code et elle est représentée par tout ce qui est destiné à donner des explications sur le code utilisé : la langue. Par exemple, dans la définition d'un terme utilisé dans un message, on utilise la fonction métalinguistique. Cette fonction définit le sens des signes qui risque de ne pas être compris. La fonction métalinguistique trouve sa place surtout dans les exposés scientifiques et techniques, par le biais d'expressions telles que « c'est-à-dire », « je veux dire que », « autrement dit ».

⁵ Vanoye F., *Expression Communication*, Paris, Armand Colin, 1990, p. 53.

Enfin, la fonction *conative* est référée au destinataire et elle est utilisée par l'émetteur pour que le récepteur agisse en fonction du message, par exemple, accomplisse un acte ou satisfasse une injonction. Cette fonction se manifeste à l'aide des éléments verbaux orientés directement vers le destinataire, autrement dit, vers le « tu ».

2. La nature de la communication scientifique

Dans la communication⁶ du domaine scientifique, les chercheurs sont les émetteurs des résultats acquis au cours des recherches et les destinataires ont des connaissances plus ou moins développées selon qu'ils sont des chercheurs du même domaine, des professeurs qui enseignent aux élèves ou aux étudiants, un public non spécialisé qui veut approfondir la matière pour son intérêt personnel.

La linguistique, la sémiotique et les langues de spécialité sont les fondements à la base de l'étude de la communication scientifique. D'un côté, la linguistique et la sémiotique du texte fournissent un vaste répertoire de concepts et d'outils employés pour décrire et éclairer les formes et les structures verbales qui vont au-delà de la phrase. De l'autre côté, l'analyse des langues de spécialité cherche à trouver les éléments verbaux qui sont spécifiques de la communication dans les domaines scientifiques, techniques et professionnels. Ces deux perspectives d'étude sont utiles pour orienter et définir l'acte de communication des spécialistes, surtout dans la communication scientifique. L'homme de science peut être considéré comme un écrivain, mais il faut réfléchir sur ce nouveau rôle : « It is a simple matter to establish the fact that communication plays a fundamental role in science, but what form or forms should this communication take ? »⁷. Chaque micro-langue trouve ses fondements dans une macro-langue et grâce à un système linguistique d'usage général, une langue de spécialité se développe dans une communauté. Une fois située dans la communication générale, la communication spéciale assume une dimension verticale. Elle se développe sur trois niveaux différents d'une pyramide idéale, qui toutefois construisent une intersection et interagissent : les spécialistes du domaine de la recherche scientifique ; les non spécialistes apprenants dans les domaines de la pédagogie et de la formation qui apprennent des connaissances

⁶ Castelli M., *Generi testuali e comunicazione scientifica, Un'indagine sulla scrittura formativa e divulgativa*, Perugia, Guerra Edizioni, 2012.

⁷ Ebel H.F., Blifert C., Russey W., *The art of scientific writing*, Weinheim, Wiley-VCH Verlag, 2004, cité dans Castelli M., 2012, *op.cit.*, p. 9.

spécialisées ; les non spécialistes non apprenants dans le domaine de la vulgarisation qui apprennent des connaissances globales non spécialisées. Dans le niveau de la divulgation, le savoir est diffusé à travers la traduction en langue commune des concepts exprimés par le langage spécifique du domaine scientifique.

2.1. La dimension verticale des langues

L'acculturation scientifique passe par l'acquisition et la maîtrise de la langue de spécialité. G. Berruto, dans son œuvre sur la sociolinguistique, propose une définition de langue de spécialité :

Per lingua speciale si intende una varietà funzionale di una lingua naturale, dipendente da un settore di conoscenze o da una sfera di attività specialistici, utilizzata, nella sua interezza, da un gruppo di parlanti più ristretto della totalità dei parlanti la lingua di cui quella speciale è una varietà, per soddisfare i bisogni comunicativi (in primo luogo quelli referenziali) di quel settore specialistico; la lingua speciale è costituita a livello lessicale da una serie di corrispondenze aggiuntive rispetto a quelle generali e comuni della lingua e a quello morfosintattico da un insieme di selezioni, ricorrenti con regolarità, all'interno dell'inventario di forme disponibili nella lingua⁸.

Les langues de spécialité sont comme des variétés langagières qui permettent de maintenir différencié l'usage hétérogène de la langue dans les domaines spécialisés. Pendant longtemps, la recherche sur les langues de spécialité s'est limitée à des recherches terminologiques ou lexicales. Toutefois, il est impossible de réduire les langues de spécialité seulement au lexique sans considérer la syntaxe. La morphosyntaxe et l'organisation textuelle sont elles aussi essentielles. Les langues de spécialité restent à un haut niveau de communication pour les spécialistes du domaine scientifique : pour cette raison la distance de la langue commune est maximale afin d'éviter des ambiguïtés de désignations et des incompréhensions.

2.2. Les langues de spécialité et langues communes

Selon la dimension verticale⁹, les niveaux linguistiques dans les langues de spécialité sont au moins deux : le premier est caractérisé par le contact linguistique direct entre les spécialistes du domaine qui fondent une certaine économie verbale sur un partage de savoir spécialisé ; le deuxième naît du contact entre spécialiste et profane, dans la vulgarisation à travers les médias, dans les domaines où des notions techniques

⁸ Berruto G., *La sociolinguistica*, Bologna, Zanichelli, 1974.

⁹ Cortelazzo M. A., *Lingue speciali la dimensione verticale*, Padova, Unipress, 1994.

sont livrées aux interlocuteurs profanes. Les termes scientifiques des langues de spécialité peuvent faire obstacle à la communication, raison pour laquelle sont nécessaires certaines opérations textuelles d'acclimatation. En particulier, au niveau de la vulgarisation, la langue de spécialité perd ou atténue certaines caractéristiques afin de se rapprocher de la langue commune utilisée comme métalangage. En outre, au niveau lexical, les termes¹⁰ des vocabulaires spécialisés sont, si possible, remplacés par des mots appartenant à la langue commune et sont expliqués par des périphrases, des gloses ou des paraphrases, des métaphores ou des analogies pour exprimer les concepts techniques.

Enfin, dans la migration du sous-système d'une langue de spécialité au système du lexique commun, un terme technique peut garder le contenu sémantique ou ajouter un sens métaphorique, une connotation caractérisée par l'évocation¹¹.

3. Les niveaux de la communication scientifique en fonction des destinataires

Dans la communication scientifique actuelle, les rapports entre spécialistes et novices montrent des liens socioculturels et sociopolitiques entre les langues de spécialité et les langues communes. Les particularités étudiées par les spécialistes du domaine relèvent des différents niveaux : lexical, syntaxique et textuel. Pour cette raison, il faut distinguer trois pôles de discours scientifique : le discours scientifique primaire, le discours à vocation didactique et le pôle de l'éducation scientifique non formelle.

3.1. La communication scientifique spécialisée des spécialistes du même domaine

Les discours scientifiques des revues primaires sont écrits par des chercheurs pour d'autres spécialistes, ce sont des traités réservés à des usages très limités et classés dans les bibliothèques universitaires, dans les centres de documentation à caractère pédagogique ou à vocation de haute formation et de recherche. Les discours scientifiques ésotériques sont produits dans les revues savantes, ils sont écrits par les chercheurs pour les spécialistes et ils visent à la production des connaissances. À la différence des textes de vulgarisation scientifique, les discours scientifiques produits par les chercheurs et les savants présentent les résultats des recherches et s'appuient sur le modèle expérimental

¹⁰ Hermans A., « La définition des termes scientifiques », *Meta, Journal des traducteurs*, vol. 34 (3), Montréal, Presses de l'Université de Montréal, 1989, pp. 529-532.

¹¹ Cortelazzo M. A., 1994, *op. cit.*

qui a une structure d'exposition stable : introduction, matériel, méthodes, résultats, discussion et conclusion. Un autre aspect pertinent dans les textes des spécialistes est que la science semble parler seule : c'est-à-dire que celui qui écrit se tient discrètement en retrait, derrière des tournures passives, impersonnelles, moyennes, ou des sujets indéfinis comme « on ».

3.2. La communication scientifique semi-spécialisée en situation d'enseignement

Les discours à vocation didactique, comme par exemple les manuels d'enseignement scientifique, sont publiés dans des contextes précis et ils ont une diffusion dans des cercles déterminés d'utilisateurs. Les discours scientifiques, pédagogiques et dogmatiques sont développés dans les manuels pour enseigner et apprendre la science, qui ont comme destinataires les élèves et les étudiants. Dans l'enseignement semi-spécialisé pour les élèves de l'école supérieure ou les étudiants à l'université, leur langue maternelle est utilisée pour consolider les notions et les concepts scientifiques afin de garantir un langage précis et correct et d'augmenter l'attention des jeunes et de la société envers le domaine scientifique.

3.3. La communication scientifique non spécialisée dans la divulgation

Dans le pôle de l'éducation scientifique non formelle, la vulgarisation du savoir circule largement dans la presse, les documents de culture scientifique et les médias qui proposent la science des spécialistes aux novices et au grand public. Malgré la forme du discours scientifique qui présente plusieurs degrés au niveau de la spécialisation, le vulgarisateur est en mesure de faire l'analyse et l'interprétation d'une catégorie de discours scientifique grâce à la connaissance des domaines scientifiques des disciplines différentes et à la comparaison des enjeux communicatifs historiques et sociaux. En fait, la vulgarisation du discours scientifique est une reformulation, un effort qui met en contact mots, symboles et chiffres. Dans les domaines scientifiques, tout est objectif, personne ne peut manipuler le langage ; cependant il faut humaniser la science à travers un éclairage qui permet d'analyser les caractéristiques des discours¹². Selon J. Pradal, le fait de vulgariser constitue une véritable nécessité culturelle :

¹² Jacobi D., Schiele B., *Vulgariser la science : le procès de l'ignorance*, éd. Champs Vallon, 1988.

Il existe, sur le plan du langage et de l'expérience, un fossé profond entre l'homme de science dans sa spécialité et le grand public, et cette séparation est pleine de dangers pour notre civilisation et la science elle-même. La science, qui a pour raison d'être de supprimer le mystère de la magie, a créé son propre mystère et sa propre magie¹³.

En fait, la complexité de la communication scientifique et la diffusion des connaissances ont permis aux usagers d'atteindre une position d'importance non seulement à l'égard du public destinataire qui a les connaissances pour se rapprocher du genre de la vulgarisation, mais aussi pour un public potentiel non spécialisé intéressé au savoir scientifique.

La diffusion de l'information et l'acculturation de la science ont produit un désir d'appropriation des savoirs qui mène à la vulgarisation scientifique, à l'étude de l'intérêt de l'être humain et de ses capacités de compréhension. En fait, les fonctions de la « vulgarisation scientifique et technique » sont plusieurs : celle-ci permet la diffusion de la connaissance, l'acculturation, la consolidation du tissu social et elle est fondée sur l'idéal de partager le savoir. Les potentialités de la vulgarisation ont aussi une finalité d'intégration sociale et professionnelle, où s'enracinent la cohésion sociale et l'exercice d'une profession. En fait, en comparant le travail du vulgarisateur à celui du traducteur, on doit tenir compte des mots nouveaux fabriqués, des mots polysémiques de la langue commune incapables de parler de science. On peut voir que les transformations et les glissements du sens sont en relation avec les facteurs extralinguistiques comme l'appartenance du scripteur à un groupe socioprofessionnel, sa position sociale et ses points de vue dans le domaine scientifique. La traduction des textes techniques en langue courante est le fondement principal de la vulgarisation, et l'analyse de la terminologie dans le discours vulgarisateur montre la structure hétérogène du système linguistique. Il présente des sous-codes qui coexistent et sont en relation socio-culturelle avec la communauté linguistique, dans laquelle les termes scientifiques sont nécessaires, pourtant ils doivent être reformulés à travers les mécanismes de la substitution, la définition, la comparaison et l'analogie.

4. La socioterminologie comme moyen d'analyse des terminologies

La terminologie est une branche cousine de la lexicologie, une discipline qui développe l'étude des vocables véhiculant des significations socialement réglées et insé-

¹³ Pradal J., *La vulgarisation des sciences par l'écrit*, Strasbourg, Conseil de l'Europe, 1968, p. 16.

rées dans les pratiques institutionnelles ou de connaissance. L'étude synchronique des termes vise à la circulation des savoirs, l'étude diachronique se focalise sur l'histoire des sciences, des techniques, des idées et des discours socialement réglés. Le vocabulaire de la communication scientifique fait l'objet d'étude de la socioterminologie. Le terme *socioterminologie* est apparu au début des années 1980 sous la plume de J.-C. Boulanger, P. Lerat, M. Slodzian ; mais le concept de *socioterminologie* s'est affirmé en 1990, avec le développement de la linguistique en perspective de diffusion des connaissances. La définition du terme *socioterminologie* élargie par E. Faulstisch est : « La socioterminologie est une discipline qui s'intéresse au mouvement du terme dans les langages de spécialité »¹⁴. Dans ses études de recherche, M. Diki-Kidiri affirme que la socioterminologie :

s'est donné comme objectif d'étudier comment les locuteurs (utilisateurs, sujets, etc.) réagissent aux termes techniques, les utilisent ou les rejettent, et que cela induit comme relation de communication, et comme jeu et enjeu de pouvoir¹⁵.

De plus, la terminologie évolue vers un modèle textuel et sociolinguistique qui constitue la terminologie sociocognitive, la théorie communicative et la terminologie culturelle. Le courant socioterminologique fondé sur l'emploi des termes en synchronie et en diachronie, leur apparition, leur circulation, leur appropriation et la demande sociale, contribue au développement de recherche dans le genre de la vulgarisation scientifique. En considérant le continuum des textes scientifiques du point de vue linguistique et socioterminologique, on doit aborder une dimension cognitive des pratiques langagières. Le chapitre « Diachronie et métaphores dans les sciences » de François Gaudin¹⁶ analyse les savoirs « à grand écho social et culturel »¹⁷ accompagnés de la terminologie, dans laquelle la dimension sociale et la circulation de la terminologie impliquent ce qu'on désigne du nom de vulgarisation. Dans les œuvres de vulgarisation, l'auteur essaie de laisser de côté les termes scientifiques ou techniques, en permettant au lecteur de s'approprier des connaissances à travers les mots communs. L'étude de la diffusion so-

¹⁴ Faulstisch E., « Principes formels et fonctionnels de la variation en terminologie », *Terminology*, vol 5, 1998/1999, p. 95.

¹⁵ Diki Kidiri M., « Une approche culturelle de la terminologie », *Terminologies nouvelles*, n° 21, 2000, pp. 27-31.

¹⁶ Gaudin F., *Socioterminologie. Une approche sociolinguistique de la terminologie*, Bruxelles, De Boeck/Duculot, 2003, pp. 205-248.

¹⁷ Gaudin F., 2003, *op. cit.*, p. 205.

ciale du savoir dans les écrits scientifiques peut se développer dans la direction de la vulgarisation à partir de la spécificité des terminologies et de leurs usages sociaux.

4.1. L'étude des terminologies : un cadre introductif

En partant de sa définition, le mot « terminologie » désigne au moins trois concepts différents : d'abord, l'ensemble des principes conceptuels qui régissent les études des termes ; ensuite, l'ensemble des règles qui permettent de réaliser un travail terminographique ; enfin l'ensemble des termes d'un domaine de spécialité donné. Les considérations à propos de la terminologie affirment que la première acception vise la discipline, la deuxième, sa méthodologie, la troisième désigne l'ensemble des termes d'un domaine donné. Dans le cadre introductif général, du point de vue de la linguistique, premièrement la terminologie étudie le lexique spécialisé des domaines ; deuxièmement, du point de vue d'une discipline scientifique, la terminologie est le reflet de son organisation conceptuelle, un moyen d'expression et de communication ; enfin, du point de vue de l'utilisateur, la terminologie est un ensemble d'unités de communication évaluées à travers des critères d'économie, de précision et d'adéquation de l'expression¹⁸.

Dans la considération de l'attitude linguistique des terminologies, il y a au moins deux façons de désigner : le nom savant et le nom commun, comme par exemple dans les disciplines des sciences naturelles, de l'astronomie et de la médecine. En fait, la pratique de la langue de spécialité, vue comme un jargon obscur utilisé par les spécialistes, tient hors de portée la compétence et l'autorité qu'ils ont à propos du savoir en soulignant les rapports inégaux entre groupes sociaux. Pour cette raison, quand les propriétés sémantiques des terminologies scientifiques et leur stabilité diachronique restent inconnues dans le discours de vulgarisation, elles se qualifient comme néologismes. Non seulement la perspective néologique est le résultat d'une perception du destinataire, quand les termes scientifiques sont ressentis comme étrangers, mais aussi le lecteur éprouve un sentiment néologique qui varie en fonction du degré de familiarité qu'il entretient avec le domaine de spécialité et sa terminologie¹⁹. Au-delà des règles de formation du néologisme, l'analyse du terme scientifique montre qu'il tend à s'autonomiser dans le texte,

¹⁸ Cabré M. T., *La terminologie, Théorie, méthode et applications*, Paris, A. Colin, 1998.

¹⁹ Gardin B. *et al.*, « À propos du 'sentiment néologique' », *Langages*, 36, Larousse, 1974, pp. 42-45.

en fait il apparaît à travers des combinaisons syntaxiques simples ou élaborées et son signifié est indépendant de son environnement linguistique.

Dans l'analyse terminologique, on appelle cotexte²⁰ la phrase qui enchâsse le terme pivot : le cotexte gauche représente toute la série des mots qui précède le pivot ; le cotexte droit est toute la série des mots qui suit le pivot. En outre, la différence de sens entre les mots de la langue commune et les termes scientifiques, construite par le lecteur, dérive du degré d'autonomie du cotexte ; même si les mots de la langue commune sont polysémiques et dépendent du cotexte, est évidente la constatation que les termes scientifiques tendent à la monosémie et obéissent à la règle de bi-univocité. Selon cette règle, chaque concept, idéalement, est désigné par un seul signe et un signe renvoie à un seul et même concept²¹.

En affirmant que dans les terminologies, les termes scientifiques spécialisés sont internationaux, il est clair qu'ils nomment de façon identique dans la communauté scientifique mondiale. Vu que dans le passé, le latin remplissait cette fonction surtout dans la classification d'histoire naturelle, aujourd'hui ce rôle est joué par l'anglais, mais aussi avec des exceptions et des possibilités de traduction dans d'autres langues. Évidemment, les terminologies formées tiennent à une stabilité diachronique, mais elles fonctionnent jusqu'au moment où elles deviennent anciennes et caduques : de cette façon, un remplacement a lieu grâce à une nouvelle nomenclature.

Quand le vocabulaire spécialisé, qui caractérise le discours scientifique primaire, est remplacé par une équivalence sémantique d'un terme pseudo-équivalent plus courant dans les textes de vulgarisation, alors la terminologie est en contact avec le lexique général afin de diffuser les connaissances.

Enfin, le concept de traduction appliqué au discours de vulgarisation scientifique est focalisé sur deux types de substitution : celle de la séquence linguistique en langue source liée à celle en langue cible ; celle du terme scientifique lié à la métaphore qui, à travers l'image, permet de comprendre le concept en le simplifiant.

²⁰ Jacobi D., *La communication scientifique : discours, figures, modèles*, Grenoble, Presses universitaires de Grenoble, 1999, pp. 132-133.

²¹ Gentilhomme Y., « Les faces cachées du discours scientifique », *Langue française*, 64, Larousse, 1984, pp. 29-37.

4.2. La terminologie spécialisée et ses caractéristiques

On a déjà affirmé qu'un des éléments qui permettent de différencier la langue commune et la langue de spécialité est l'utilisation de la terminologie. En particulier, elle joue un rôle fondamental dans la caractérisation de la langue de spécialité et dans le classement des différentes langues de spécialité. Notamment, la terminologie est un domaine interdisciplinaire dont les mots spécialisés de la langue naturelle constituent l'objet d'étude premier. Grâce aux travaux pionniers d'E. Wüster, la terminologie est considérée comme une discipline autonome, décrite par la *théorie générale de la terminologie* qui définit la relation entre « les sciences des choses » et leur dénomination comme un domaine particulier : c'est le cas des différents domaines de la technique et de la science, et d'autres disciplines comme la linguistique, la logique, l'ontologie et l'informatique. Puisque le caractère autonome de la terminologie s'attache aux notions, elle se préoccupe d'abord de la relation qui s'établit entre l'objet réel et la notion qui le représente : à travers un processus d'abstraction, l'individu passe de l'objet réel à la notion ou la catégorie d'objet. De cette façon, la terminologie se rattache étroitement aux domaines de spécialité et elle sert au domaine scientifique, à la technique et à la communication comme une réponse aux besoins dans communication spécialisée des progrès. En outre, comme discipline, la terminologie s'intéresse à la compilation, à la description, au traitement et à la présentation des termes propres aux domaines spécialisés, dans une ou plusieurs langues. Enfin elle est destinée à satisfaire les besoins sociaux liés à la communication entre spécialistes et professionnels.

La pratique terminologique est liée aux langues de spécialité et à la communication qui ont des finalités liées à la communication et à l'information. Comme l'affirme R. Goffin :

Science-carrefour, multidisciplinaire, la terminologie se situe à la croisée d'un grand nombre de sous-disciplines de la linguistique (sémantique, lexicologie différentielle), mais n'est pas chassée de celle-ci. Comme l'écrit L. Guilbert, « la visée essentielle du lexique terminologique n'est pas la langue par elle-même ». La terminologie est, en effet, étroitement liée à une activité du domaine de connaissance, elle est inséparable du social et a des applications évidentes²².

La conception de la terminologie comme « science-carrefour » est née de la nécessité pratique des spécialistes de mettre de l'ordre dans les dénominations des systèmes de notions et des évolutions de la science et de la technique.

²² Goffin R, « La science terminologique », *Terminologie et traduction*, n° 2, 1985, pp.9-29.

Entre autres, divers facteurs interviennent en matière terminologique : d'abord le but du travail terminologique ; ensuite la méthodologie de la recherche ; puis les agents qui interviennent dans l'activité terminologique ; enfin les produits terminologiques et l'interdisciplinarité. En premier lieu, le but du travail terminologique est d'élaborer des terminologies normalisées pour une communication qui soit efficace et univoque entre les professionnels des domaines spécialisés dans toutes les sphères de l'activité humaine. En deuxième lieu, la méthodologie de la recherche terminologique consiste à compiler, à décrire et à ordonner les termes présents dans une langue de spécialité. En particulier, dans les travaux qui sont orientés vers la normalisation des notions et des termes, l'activité des spécialistes est celle de choisir une des nombreuses possibilités terminologiques afin d'arriver à une forme de dénomination univoque : en fait, les spécialistes jouent un rôle fondamental dans l'activité terminologique, parce qu'ils cherchent à établir les systèmes notionnels et à reconnaître le caractère viable des dénominations. En troisième lieu, les produits terminologiques sont présentés par une définition très précise, avec un peu de redondance et des équivalents présents dans d'autres langues ; c'est-à-dire par une présentation qui est systématique, car les destinataires sont les spécialistes de domaines. Enfin, l'aspect à la base de l'interdisciplinarité de la terminologie est lié aux rapports avec la logique, l'informatique, la théorie de la communication et de l'information.

4.3. L'activité terminologique : le domaine d'étude, l'unité de base et les objectifs

Un regard plus détaillé sur la terminologie comme discipline nous révèle combien elle constitue en définitive l'essentiel de la structuration de la pensée et de la connaissance dans les langues de spécialité ; grâce à quoi elle sert de véhicule pour le transfert du savoir. Tout d'abord, la terminologie part d'un concept pour arriver à sa dénomination : une de ses conditions nécessaires est celle de s'assurer que la dénomination de l'objet conceptuel spécifique exclut tout autre objet proche. Pour cette raison, elle décrit de façon exhaustive l'objet au moyen de la définition de nature descriptive, et enfin elle exprime souvent les relations existantes entre les différents concepts. Le résultat de ce processus terminologique montre les entrées de façon systématique dans les dictionnaires spécialisés, qui sont adressés aux spécialistes, puisque la terminologie part des notions qui forment un ensemble bien structuré.

Plus précisément, le domaine d'étude de la terminologie s'occupe des mots qui appartiennent à un domaine de spécialité et à un secteur professionnel, où les unités de base d'un répertoire terminologique sont surtout des substantifs, tandis que dans le dictionnaire de langue générale sont présentes toutes les catégories grammaticales : noms, verbes, adjectifs, adverbes, déterminants, pronoms, prépositions, conjonctions et interjections. À travers la méthode de travail terminologique consistant dans la recherche des dénominations pour des cases conceptuelles établies, les objectifs de la terminologie cherchent à proposer des éléments théoriques et des principes qui régissent le dépouillement, la sélection et le classement des termes propres des domaines de spécialité dans le but de leur normalisation, afin d'identifier les notions de façon univoque et d'attribuer des dénominations aux concepts d'une discipline donnée.

4.4. La terminologie de vulgarisation

Dans l'analyse de l'activité discursive de la vulgarisation, notamment le noyau central à considérer est la relation sémantique entre les terminologies des termes scientifiques, qui sont présents dans les discours scientifiques, et les segments de paraphrase vulgarisatrice de la métalangue qui est vue comme une langue « moyenne ». En admettant que la vulgarisation scientifique transmet les connaissances qui figurent dans le discours source, évidemment elle prend appui sur ce discours pour formuler un discours second adapté au nouveau récepteur.

Dans le discours vulgarisateur, l'activité métalinguistique permet aux terminologies spécifiques des discours scientifiques de figurer en cooccurrence avec une paraphrase typique de l'énoncé vulgarisateur. Alors que dans le discours scientifique, la terminologie tend à éliminer la synonymie, dans le discours de vulgarisation s'établit une synonymie référentielle qui met en équivalence les termes scientifiques et des vocables : ces derniers sont caractérisés par un sémantisme plus vague, avec un signifié plus pauvre, mais ils correspondent à des lexèmes susceptibles de couvrir des référents plus variés que le seul référent du terme scientifique. Par exemple, quand la paraphrase vulgarisatrice s'adresse à des non-spécialistes, la métalangue opère des modifications d'appauvrissement du sémantisme : en effet la comparaison entre les termes scientifiques et leurs substituts vulgarisateurs montre que ces derniers ont un sémème réduit,

mais une distribution plus étendue²³. L'étude de la pratique de la reformulation vulgarisatrice d'un discours source montre comme résultat un discours second qui se caractérise à plusieurs niveaux dans la structure énonciative, dans la constitution du « fil du discours » qui est marqué d'opérations explicites de citation, traduction, ajustement et glose²⁴. Également, dans les œuvres de vulgarisation²⁵ scientifique, le public composé de spécialistes et de non-spécialistes a des attentes différentes : les termes-pivots qui appartiennent à la langue de spécialité font nécessairement l'objet de reformulation. Cette première opération accomplie par les reformulateurs décrit un exemple qui permet de baliser le périmètre des reformulations²⁶. En fait, dans le discours de vulgarisation, le terme pivot²⁷ peu connu, qui est emprunté à la langue de spécialité, est placé à côté d'un mot plus commun, qui appartient à la langue de tous les jours, afin de fournir une approximation du terme pivot incompréhensible : à travers ce processus, le reformulant occupe la même position que le terme pivot dans les phrases du texte vulgarisateur. Ensuite, l'auteur propose des définitions sommaires et rapides des termes inconnus à travers un mot connu et familier qui aide le lecteur à rapprocher le terme savant de ses connaissances en langue courante. Dans ce processus, les fragments destinés à expliquer le sens du terme pivot sont appelés « les définissants » : en particulier, les reformulants et les définissants sont deux solutions qui offrent au lecteur l'accès au sens et ils sont partie du répertoire métalinguistique des deux paradigmes : désignationnel²⁸ et définitionnel. L'opération métalinguistique de la reformulation intradiscursive permet au lecteur de s'appropriier le sens, grâce à la relation de similarité avec le terme inconnu. Enfin, dans le discours de vulgarisation scientifique, un mot spécifique de la terminologie scientifique désigné comme étranger est assimilé et repris pour favoriser l'appropriation du nouveau mot par le lecteur qui a accès au discours scientifique.

²³ Mortureux M.-F., « Paraphrase et métalangage dans le dialogue de vulgarisation », *Langue française*, n° 53, Paris, Larousse, 1982, pp. 48-61.

²⁴ Authier J., « La mise en scène de la communication dans des discours de vulgarisation scientifique », *Langue française*, n°53, 1982, pp. 34-47.

²⁵ Delavigne V., « Quand le terme entre en vulgarisation », *Coférence TIA-2003, 31 mars et 1^{er} avril*, Strasbourg, 2003.

²⁶ Jacobi D., « Lexique et reformulation intradiscursive dans les documents de vulgarisation scientifique », CNRS, Inalf, *Vocabulaires technoscientifiques et dictionnaire de langue*, 1993.

²⁷ Mortureux M.-F., « Les vocabulaires scientifiques et techniques », *Les Carnets du Cediscor*, n°3, 2009.

²⁸ Mortureux M.-F., « Paradigmes désignationnels », *Semen*, 8, 1993.

5. Le processus de formation de la terminologie scientifique

L'ensemble des mots spécialisés d'une discipline donnée ou d'un domaine d'activités constitue la terminologie spécialisée et ses unités de base dénomment les concepts propres de chaque discipline spécialisée à travers des mécanismes²⁹ de formation linguistique : la composition à base de racines gréco-latines³⁰, la dérivation, l'emprunt, le calque, les figures de métonymie, synecdoque et métaphore.

5.1. La composition à base de racines gréco-latines

L'analyse des procédés savants de construction des lexèmes montre qu'ils mettent en jeu des unités qui appartiennent principalement aux langues latine et grecque³¹, vecteurs de la culture classique. Tout d'abord, la morphologie savante a vu un grand développement grâce à la maîtrise des langues classiques par les savants, qui ont pu créer les nomenclatures des sciences modernes à la fin du XVIII^e et durant le XIX^e siècle. Ensuite, l'étude des procédés de construction de la morphologie savante a montré qu'ils diffèrent de ceux dans la langue commune, mais en tout cas, les mots d'origine savante sont entrés dans le lexique de la vie quotidienne parce que les disciplines dans lesquelles ils ont été forgés, au fil du temps, ont acquis une importance considérable dans la société à travers la diffusion du savoir, l'enseignement et les médias. Quelques exemples de mots à base de racines latines peuvent être : le mot *étoile* qui est lié directement au mot latin *stēlla*, la planète *Vénus* vient du latin *Venus*, *-eris*, le mot *nuit* vient du latin *nox*, *noctis*, le mot *cheval* vient du latin *equus*.

En particulier, la formation savante, forgée à partir du latin écrit, diffère de la formation populaire qui suit les lois diachroniques de l'évolution phonétique depuis le latin jusqu'à aujourd'hui. Des exemples montrent en comparaison entre la formation populaire et savante sont : le terme savant *amygdale* vient du latin *amygdalam*, mais le mot populaire utilisé est *amande* ; l'adjectif latin *singularem* a donné lieu au mot savant *singulier* et au mot populaire *sanglier* ; le verbe latin *liberare* a produit le mot savant *libérer* et le mot populaire *livrer*.

²⁹ Thiry P., Didier J.-J., Moreau P., Seron M., *Vocabulaire français*, Bruxelles, De Boeck/Duculot, 2005.

³⁰ Fradin B., *Nouvelles approches en morphologie*, Paris, Presses universitaires de France, 2003, chapitre 5 Morphologie et lexique, pp.181-234.

³¹ Thiry P., Didier J.-J., Moreau P., Seron M., 2005, *op. cit.*, pp. 16-23.

Enfin, les mots savants d'origine grecque composent abondamment le lexique présent dans la philosophie, les sciences, surtout la chirurgie. Les radicaux grecs sont la base pour la création des termes qui sont utilisés aujourd'hui, comme par exemple : ἀναίσθητος anesthésie, παθολογία pathologie, ἀρχαῖος λόγος archéologie.

5.2. La dérivation

Dans le processus de la dérivation³², la base lexicale est la composante morphologique indispensable pour la formation d'un terme, en outre les affixes adjoints à la base donnent lieu à des termes complexes. La dérivation forme des unités lexicales appelées dérivés : c'est-à-dire qu'à partir d'une unité lexicale sont ajoutés ou substitués des affixes. Les affixes qui précèdent le radical sont les préfixes, les affixes qui le suivent sont les suffixes. Les préfixes et les suffixes qui participent à la formation des mots dérivés français sont d'origine latine et grecque et ils ont un rôle central dans la formule de base *(affixe)_{1-n} base lexicale (base lexicale)_{1-n} (affixe)_{1-n}* qui caractérise le processus de la dérivation.

En particulier, les préfixes d'origine latine sont : *ab-* (éloignement, mépris), *ad-* (rapprochement, direction, tendance), *ante-* (devant, avant), *bene-* (bien), *bis-* (deux fois), *circum-* (autour), *cis-* (en deçà de), *contra-* (opposition, proximité), *cum-* (accompagnement), *dis-* (séparation, cessation), *en-* (dans), *ex-* (éloignement, privation), *fors-* (en dehors de), *in-* (dans, négation), *infra-* (sous), *inter-* (entre), *male-* (mauvais), *non-* (négation), *ob-* (opposition), *paene-* (presque), *per-* (à travers), *post-* (après), *prae-* (avant), *pro-* (en avant, à la place), *re-* (à nouveau), *retro-* (en arrière), *sub-* (dessous), *super-* (dessus), *supra-* (dessus), *sus-* (dessus), *trans-* (au-delà), *tres-* (trois), *ultra-* (au-delà), *vice-* (à la place de). Quelque exemple de dérivation avec les préfixes d'origine latine : transmigration, dissociation, cohabitation, posthume, intercostal.

Les préfixes d'origine grecque qui forment des dérivés, sont : *a-*, *an-* (négation, privation), *amphi-* (des deux côtés, double), *ana-* (répétition, en arrière), *anti-* (opposition), *apo-* (éloignement, achèvement), *archi-* (supériorité), *cata-* (de haut en bas), *dia-* (à travers), *di-*, *dis-* (deux fois), *dys-* (difficulté), *ek-*, *ex-* (sortie, séparation), *en-* (dans), *épi-* (sur), *eu-* (bien), *hémi-* (demi), *hyper-* (excès, au-delà), *hypo-* (au-dessous), *méta-* (après, changement), *mono-* (un seul), *para-* (le long de, contrairement, à côté), *péri-*

³² Thiry P., Didier J.-J., Moreau P., Seron M., 2005, *op. cit.*, pp. 29-47.

(autour), *pro-* (avant), *pros-* (vers), *sym-*, *syn-* (avec), *télé-* (loin de). Quelque exemple de dérivation avec les préfixes d'origine grecque : anonyme, antithèse, paraphrase, épiglotte, prologue.

Les suffixes qui donnent lieu à la formation des noms sont classés par la fonction qu'ils indiquent : l'action est exprimée par *-ade*, *-age*, *-aïson*, *-ance*, *-ation*, *-ature*, *-ie*, *-is*, *-ïson*, *-ition*, *-ment*, *-ure* ; l'agent et la profession sont remarquables par *-aire*, *-er*, *-eur*, *-ier*, *-ien*, *-iste*, *-eron* ; la collection est exprimée par *-ade*, *-age*, *-aille*, *-ain*, *-aine*, *-ée*, *-ure* ; le réceptacle se forme par *-ier*, *ière*, *-yer*, le contenu est exprimé par *-ée*. Les suffixes qui expriment l'instrument sont *-ail*, *-cule*, *-eur*, *euse*, *-oir*, *-oire*, *-ière* ; ceux qui forment l'objet qui doit subir l'action sont *-ande*, *-ende* ; le lieu est exprimé par *-aie*, *-at*, *-oir*, *oire* ; celui qui est le bénéficiaire de l'action est exprimé par *-aire* ; les termes qui indiquent les habitants d'un pays ou d'une ville sont formés par *-ain*, *-and*, *-ien*, *-in*, *-ais*, *-ois*, *-on*, *-ote*. Les suffixes qui indiquent la quantité ou le défaut sont *-ance*, *-ence*, *-erie*, *-esse*, *-eur*, *-ice*, *-ie*, *-ise*, *ité*, *-té*, *-tude* ; ceux qui forment le terme de l'industrie sont *-erie*, *-ie* ; les termes qui indiquent les arbres sont *-eau*, *-er*, *-ier*, *-yer* ; les diminutifs sont *-cule*, *-eau*, *-elle*, *-et*, *-ette*, *-ille*, *-illon*, *-in*, *-ine*, *-ole*, *-on*, *-ot*, *-otte*, *-ule* ; les augmentatifs sont *-ard*, *-as*, *-ail* ; les péjoratifs sont *-ace*, *-aillon*, *-ard*, *-asse*, *-assier*, *-âtre*, *-aud*, *-in* ; les doctrines sont formées par *-isme* ; les maladies sont exprimées par *-ite*, *-ome*, *-ose*.

Des radicaux d'origine latine ont la valeur de suffixes en français, comme par exemple : *-ambule*, *-anime*, *-cide*, *-cole*, *-fère*, *-fique*, *-forme*, *-fuge*, *-grade*, *-pare*, *-pède*, *-vore*. Quelque exemple : centrifuge, ovipare, quadrupède, carnivore.

Les radicaux d'origine grecque qui sont devenus suffixes en français sont : *-algie*, *-céphale (ie)*, *-crate*, *-gène*, *-gnosie*, *-graphe (ie)*, *-gramme*, *-logie (gue)*, *-mane*, *-mètre (ie)*, *-morphe*, *-phage*, *-phile*, *-phobe*, *-phone (ie)*, *-praxie*, *-ptère*, *-scope*. Quelque exemple : hydrocéphale, anthropomorphe, psychologie, périscope, claustrophobe.

Les adjectifs sont formés par suffixes qui indiquent : la possibilité active exprimée par *-able*, *-ible* ; la possibilité passive *-able*, *-ible*, *-uble* comme par exemple divisible ; la quantité ou le défaut indiquée par *-able*, *-é*, *-eur*, *-ier*, *-oire* ; l'habitude est exprimée par *-ace* comme par exemple loquace ; l'abondance par *-eux*, *-u* ; la plénitude par *-eux*, *-lent* comme par exemple audacieux ; la possession par *-eux* ; l'origine par *-ain*, *-ien*, *-ais*, *-ois*, *-esque* comme par exemple chevaleresque. Les adjectifs qui expriment

ment la faculté sont *-if*, le rapport et la conformité sont indiqués par *-aire, -ique, -al, -el, -il, -estre, -aud* comme par exemple *terrestre* ; les diminutifs sont exprimés par *-et, -in, -ot* comme par exemple *rondelet* ; les argumentatifs par *-ace*, les péjoratifs par *-asse, -in, -ard, -âtre* comme par exemple *bleuâtre*.

Enfin, les suffixes employés pour la formation des verbes sont *-er* et *-ir* qui indiquent l'action ; *-er, -iser* et *-ifier* pour l'action de faire devenir comme par exemple *sécher* ; *-oyer* pour la durée de l'action ; les diminutifs sont *-eler, -eter, -iller, -ocher, -onner, -oter* comme par exemple *crachoter* ; les péjoratifs sont *-ailler, -asser* et *-ouiller* comme par exemple *zigouiller*.

5.3. Les emprunts

À propos du processus de formation des emprunts³³, on peut affirmer qu'ils sont représentés par le passage de la forme originale d'un mot d'une langue, dans une autre. En particulier, l'unité empruntée en français peut être distinguée en deux catégories, dans lesquelles ce deux types d'emprunts sont différenciés par la valeur sociale et la diffusion interlinguistique. La première catégorie considère les formes savantes, où l'emprunt provient du fond gréco-latin : comme *astre* qui est un emprunt du latin *astrum*, ou *planète* qui vient du latin *planeta, -ae*; *voie lactée* est un emprunt du latin *via lactea*, *cratère* est un emprunt du latin classique *crater, -eris*, *météore* est un emprunt du grec *μετέωρα*. Dans la deuxième catégorie, l'emprunt provient d'une autre langue historique actuelle comme l'anglais (*bifteck, dandy, football*), l'italien (*alto, cantante, dome, duo*), l'espagnol (*alcove, camarade, moustique*), l'arabe (*algèbre, café, chiffre*), le néerlandais (*colza, kermesse, yacht*).

En particulier, les emprunts d'une langue peuvent être classés comme : directs, où ils conservent la forme d'origine comme *jazz, bunker, kolkhoz* ; indirects, quand ils adoptent la forme de la langue d'accueil. La classe des emprunts indirects comporte une distinction en deux sous-classes : les emprunts sémantiques et les calques. Les emprunts sémantiques sont caractérisés par des mots existant dans la langue d'accueil, mais ils acquièrent un nouveau sens grâce au contact avec la langue d'origine : comme par exemple *souris* (<mouse), *courriel* (<e-mail). Enfin, les calques sont des constructions

³³ Thiry P., Didier J.-J., Moreau P., Seron M., 2005, *op. cit.*, pp. 14-29.

inédites qui sont réalisées sur un modèle d'une construction existant dans la langue d'emprunt.

5.4. Les calques

L'étude de la formation du calque³⁴, le montre comme un procédé traductif qui consiste dans la transposition dans le texte cible d'un mot ou d'une expression du texte de départ à travers la traduction littérale de la langue d'arrivée.

Si l'emprunt ne paraît pas acceptable, la francisation prend une forme plus drastique : on recourt au décalquage (au décalque, au calquage, au calque). On remplace l'emprunt par sa traduction littérale ou par l'imitation autochtone de son type de formation et de motivation³⁵.

En outre, les calques lexicaux et syntaxiques impliquent une manipulation de la séquence de mots, qu'ils soient liés par un simple rapport de prédication par juxtaposition comme par exemple les mots composés ou organisés autour d'un prédicat verbal complet de ses arguments, en fait R. Laugier affirme à ce propos que :

Les calques, [...], se situent au niveau structurel. Le passage d'une langue à l'autre est plus complexe puisqu'il s'agit de l'emprunt d'une structure qui est en quelque sorte adaptée à l'aide des ressources structuro-lexicales de la langue réceptrice. Ils peuvent être de composition : outlaw/hors-la-loi ; cold war/guerre froide; redskin/peau-rouge; ou phraséologique: my name is/ mon nom est; to put emphasis on/mettre l'emphase sur; absolutely yes /tout à fait. Leurs signifiants autochtones les rendent plus difficiles à déceler mais ils sont présents en grand nombre dans toutes les langues³⁶.

Des exemples de calques de l'anglais sont : *gratte-ciel* (<skyscraper), *lentille de contact* (<contact lens) ; dans le domaine des neurosciences, les *neurones miroirs* sont un calque de l'anglais *mirror neurons* ; dans le domaine de l'astronomie, le terme qui désigne la constellation boréale de l'*Ourse* vient du terme latin *ursa* (*maior, minor*), qui a été lui-même calqué sur le grec *αρκτος* « ours » ; la constellation du *Verseau* est un calque du grec *υδρηγόρος* qui signifie « qui verse de l'eau » ; enfin, dans le domaine de l'astrophysique le *trou noir* est un exemple intéressant de calque de l'anglais *black hole*.

³⁴ Cabré M. T., 1998, *op. cit.*, p. 166.

³⁵ Kocourek R., *La langue française de la technique et de la science. Vers une linguistique de la langue savante*, Wiesbaden Oscar Brandstetter, 1991, p.156.

³⁶ Laugier R. I. A., « Rendons à Marianne ... ou les emprunts de retour », *Interculturel*, 2011, Vol. 15, pp. 35-47.

5.5. Les figures de style : métonymie, synecdoque, métaphore

Les principales figures de style qui provoquent un changement du sens des termes à travers une modification sémantique sont la métonymie, la synecdoque et la métaphore. En particulier, les figures de style comme la synecdoque et la métonymie naissent d'une incohérence conceptuelle et constituent des relations comme les métaphores. Sur le plan grammatical et fonctionnel, la synecdoque et la métonymie ne concernent que les expressions nominales classificatoires et elles produisent un conflit dans l'ordre hiérarchique des objets : d'un côté, la synecdoque insiste sur le détail, de l'autre côté, la métonymie donne à l'objet une lumière différente qui lui permet d'être réintégré dans sa fonction primaire.

5.5.1. La métonymie

La caractéristique de cette figure de style³⁷ est celle d'opérer une substitution d'un terme propre par un autre, avec lequel il y a un rapport d'appartenance au même champ sémantique. Il y a plusieurs rapports entre les termes qui peuvent se remplacer l'un l'autre, comme par exemple :

- le contenu par le contenant : boire un verre ;
- l'agent par l'instrument : être le premier violon ;
- l'instrument par l'agent : tomber en panne d'essence ;
- la chose par le lieu : entamer un camembert ;
- l'objet par la matière : enfiler une laine ;
- la chose par le signe : le 9 demande l'addition.

Avec ces rapports de remplacement entre les termes, le lecteur a toujours des difficultés à dévoiler la figure de style de la métonymie dans un texte.

5.5.2. La synecdoque

L'étude de la synecdoque³⁸ montre qu'elle peut être considérée comme une variété de métonymie, qui donne à un mot un sens plus large ou plus restreint que celui qui ne comporte habituellement. Dans cette figure de style, les termes ont une relation d'extension quantitative qui indique :

- la partie par le tout comme par exemple le toit pour désigner la maison,

³⁷ Cabré M. T., 1998, *op. cit.*, chapitre 3 Les fondements de la terminologie.

³⁸ Cabré M. T., 1998, *op. cit.*, pp.179-187.

- le tout par la partie,
- le singulier par le pluriel comme par exemple l'homme pour indiquer les hommes,
- le pluriel par le singulier,
- le genre par l'espèce comme par exemple les mortels pour faire référence aux hommes,
- l'espèce par le genre.

5.5.3. Les études des modèles métaphoriques

Selon la conception aristotélicienne, la métaphore est à considérer comme une comparaison implicite fondée sur l'analogie, une déviation des usages courants de la langue investie d'une fonction purement ornementale. Toutefois, les études linguistiques menées sur la métaphore ont élaboré une nouvelle conception, qui la considère comme un processus d'interprétation subjective, où la métaphore est considérée dans sa dimension de catachrèse, c'est-à-dire une étiquette appliquée par une analogie référentielle sur un nouveau concept : de cette façon, elle comble un vide dénominatif et elle est exploitée pour la création d'un nouveau paradigme scientifique ou d'une nouvelle théorie. Puisque les manifestations métaphoriques dans les contextes scientifiques et techniques contribuent à une progressive prise de conscience des aspects multiples et complexes des relations de la métaphore en terminologie, la dimension épisodique de la catachrèse, qui d'abord apparaît sombre et peu accessible à la compréhension immédiate, dépasse.

L'image que R. Temmerman utilise pour faire comprendre les modèles métaphoriques est celle de la *gestalt*, qui trouve son espace d'emploi dans la psychologie de la forme ou *gestaltisme*³⁹.

Le modèle métaphorique fonctionne comme une *gestalt*. Nous pouvons l'observer si nous comparons la part de la *gestalt* métaphorique qui débouche sur une lexicalisation à la part susceptible d'être exprimée sous la forme de propositions lexicalisables⁴⁰ [...].

Cette image de la *gestalt* où s'enracine le processus métaphorique juxtapose les deux domaines associés par analogie et selon la classification de R. Temmerman⁴¹, on peut

³⁹ La psychologie de la forme ou *gestaltisme* (de l'allemand, *Gestaltpsychologie*) : théorie du domaine psychologique, philosophique et biologique, selon laquelle les processus de la perception et de la représentation mentale traitent spontanément les phénomènes comme des formes globales, structurées ou non, plutôt que comme l'addition ou la juxtaposition d'éléments simples.

⁴⁰ Temmerman R., « Les métaphores dans les sciences de la vie et le situé socioculturel », *Cahiers du RIFAL*, 26, 2007, pp. 72-81.

⁴¹ Temmerman R., *Toward new ways of terminology description. The sociocognitive approach*, Amsterdam/Philadelphia, John Benjamin, 2000.

distinguer trois catégories : les métaphores lexicales, les métaphores de catégorie et les métaphores de domaine. Premièrement, les métaphores lexicales se basent sur un couple de termes : le lexème A est le lexème source, le lexème B est le lexème cible. Le lexème B est la projection métaphorique du lexème A ; comme par exemple : *source of income* (*source de revenu*) est la projection de *source of waterway* (*source d'eau*).

Deuxièmement, les métaphores de catégorie ou conceptuelles sont focalisées sur un groupe de mots qui sont insérés dans un cadre conceptuel homogène et qui peuvent se projeter métaphoriquement sur une autre catégorie : la catégorie cible B est la projection de la catégorie source A. Si, par exemple, le modèle cognitif pour *linear waterway* est <beginning,*>, <trajectory,*>, <end,*> et un groupe de lexèmes est présent comme [*source, river, sea, rain, clouds*], la partie indiquée par * peut être remplie de cette façon <<beginning, « source »>, trajectory, « river »>, <end, « sea »>>. Cette catégorie peut être projetée sur la catégorie de la circulation de l'argent : <<<beginning, « source »>, <trajectory>, « river »>, <end, « sea »>>, <<beginning, « source of money »>, <trajectory>, « flow of money »>, end, *>>>⁴².

Troisièmement, les métaphores de domaine accueillent plusieurs catégories qui regroupent des objets ayant en commun des traits sémantiques. Dans un couple de domaines A et B, les catégories qui appartiennent au domaine A sont projetées sur les catégories du domaine B, enfin les domaines A et B se consistent en un groupe de catégories. L'exemple donné par Liebert concerne, d'une part, le domaine *water* et ses catégories *linear waterway* et *water circulation* et d'autre part, le domaine *money* avec la catégorie *circulation of money*. La métaphore du domaine <water, money> implique la projection des catégories *linear waterway* et *water circulation* sur la catégorie *circulation of money*. <<{linear waterway, water circulation}>, <{circulation of money}>>. Dans ces définitions, la métaphore est vue comme un phénomène où se rencontrent la catégorisation, la pensée analogique, la créativité et l'expression linguistique.

Dans le détail, grâce aux études de M. Prandi, la métaphore est considérée comme une valorisation des ressources de la langue et le processus métaphorique est à interpréter comme le transfert ou la projection d'un nouveau modèle sur un concept connu. Si d'abord, la métaphore a la capacité de suggérer de nouveaux concepts, une fois qu'elle s'est consolidée dans l'usage courant, elle perd son caractère de nouveauté

⁴² Exemple donné par Liebert W-A., "Metaphernbereiche der virologischen Aidsforschung", *Lexicology*, 1995, pp. 142-182, cité par Temmerman R., 2000, *op.cit.*, pp. 159-160.

et elle devient cohérente avec les objets décrits. En outre, on peut parler de la métaphore morte ou de catachrèse qui est une extension de signifié régressive et isolée, typique des procédés de dénomination d'objets concrets. Son lien entre la motivation immédiate et l'image visuelle ; lui confère la désignation d'étiquette qui n'a pas de retombées significatives sur la conceptualisation de l'objet. Enfin, la catachrèse ne demande aucun effort cognitif et très nombreux sont les mots dont le sens vient d'une projection métaphorique tellement bien acquise qu'on a perdu la perception de l'image, comme par exemple dans le cas de : *marmotta* et *nain* dans le langage des chemins de fer, *induit à cage d'écureuil* dans la terminologie du domaine photovoltaïque⁴³.

5.5.3.1. Les fonctions et le rôle de la métaphore

Dans les langues de spécialité, les fonctions attribuées à la métaphore sont plusieurs. I. Oliveira⁴⁴ propose une classification par typologie métaphorique : la fonction *dénominateur*, qui a le but de combler un vide dénominatif dans un domaine spécialisé ; la fonction *heuristique*, qui se vérifie quand la métaphore est comme un déclencheur qui instaure des analogies et rend compréhensibles les nouvelles théories ; la fonction *herméneutique*, qui est déterminée par la métaphore qui favorise la compréhension immédiate et crée un accès direct aux concepts scientifiques abstraits ; la fonction *divulgateur*, qui est déterminée par la métaphore qui explique des concepts au public non spécialisé ; enfin la fonction *didactique* de la métaphore, qui assiste les lecteurs qui apprennent des notions d'un domaine spécifique et les aide à devenir des spécialistes.

G. Lakoff et M. Johnson affirment que « La métaphore joue un rôle aussi important que le toucher, et elle est aussi précieuse⁴⁵ ». En fait, dans les œuvres, la métaphore est marquée par son caractère dominant qui frappe l'imagination du public et juxtapose deux images qui appartiennent à deux domaines différents. Comme la définit le *Dictionnaire de linguistique* :

La métaphore consiste dans l'emploi d'un mot concret pour exprimer une notion abstraite, en l'absence de tout élément introduisant formellement une comparaison. Il y a donc existence d'un

⁴³ Prandi M., Rossi M., « Les métaphores dans la création de terminologie : quelques perspectives ouvertes », dans *Terminologie : textes, discours et accès aux savoirs spécialisés*, Brest, Éd. du GLAT, Télécom Bretagne, 2012, pp.7-18.

⁴⁴ Oliveira I., *Nature et fonctions de la métaphore en science. L'exemple de la cardiologie*, Paris, L'Harmattan, 2009.

⁴⁵ Lakoff J., Johnson M., *Les métaphores dans la vie quotidienne*, Paris, Minuit, 1985.

ou plusieurs sèmes, communs au comparé et au comparant, qui se trouvent actualisés par la métaphore⁴⁶.

Plus précisément, la métaphore n'est pas à interpréter comme un procédé d'ornement stylistique, mais comme un processus de dénomination et de conceptualisation en terminologie. En fait, le processus de la métaphorisation terminologique se montre comme une façon de penser et une expression d'un nouveau concept, elle est une affaire de conceptualisation qui transfère sur le vocable préexistant la nouvelle notion créée. Avec son pouvoir de modifier la pensée, la métaphore terminologique s'enracine dans l'analogie, juxtapose les caractéristiques de ressemblance et de dissemblance pour comprendre le concept, c'est-à-dire qu'elle fonctionne par substitution ; cette projection d'un cadre conceptuel source sur un cadre conceptuel cible est le résultat du raisonnement métaphorique, qui trouve son fondement dans l'expérience humaine et à leur tour les modèles métaphoriques laissent leurs traces dans la lexicalisation de néologismes. En outre, les traces des analogies dans les lexicalisations métaphoriques laissent constater le développement d'un nouveau champ lexical qui se fonde sur un rapport métaphorique ou analogique spécifique. En conclusion, la métaphore née grâce à la reformulation vulgarisatrice exprime toujours le statut de terme scientifique qui appartient au jargon des spécialistes.

5.5.3.2. Les métaphores comme ressorts dans la création des terminologies

Comme l'affirme J. Humbley⁴⁷, les métaphores sont comme des ressorts pour la création des nouveaux paradigmes : elles accomplissent une fonction heuristique à travers un rapprochement originel aux nouvelles découvertes et visions de la réalité. L'étude de Th. S. Kuhn⁴⁸ souligne le rôle central des métaphores dans la succession des paradigmes scientifiques, et R. Boyd⁴⁹ propose la distinction entre métaphore pédagogique de la didactique et de la vulgarisation, et la métaphore constitutive de théorie, visée à la définition du phénomène ayant encore les marges floues.

⁴⁶ Dubois J. *et al.*, *Dictionnaire de linguistique*, Paris, Larousse, 1973.

⁴⁷ Humbley J., « Retour aux origines de la terminologie : l'acte de dénomination », *Langue française*, n° 174/2, 2012, pp. 111-125.

⁴⁸ Kuhn Th. S., "Metaphor in science", *Metaphor and Thought*, in Ortony A. éd., Cambridge, Cambridge University Press, 1979, pp. 409-419.

⁴⁹ Boyd R., "Metaphor and theory change: What is "metaphor" a metaphor for?", *Metaphor and Thought*, in Ortony A. éd., Cambridge, Cambridge University Press, 1979, pp. 481-532.

Dans *Les métaphores dans la vie quotidienne*, G. Lakoff et M. Johnson affirment l'importance de la métaphore, qui n'est pas simplement un procédé d'imagination poétique ou un ornement rhétorique, mais plutôt une caractéristique importante du langage qui se focalise sur les mots :

La métaphore est partout présente dans la vie de tous les jours, non seulement dans le langage, mais dans la pensée et l'action. Notre système conceptuel ordinaire, qui nous sert à penser et à agir, est de nature fondamentalement métaphorique⁵⁰.

En fait, notre système conceptuel est de nature métaphorique et il joue un rôle central dans la réalité vécue par l'homme, parce que, quand le concept a une structure métaphorique, par conséquent l'activité et le langage sont aussi structurés métaphoriquement. La métaphore ne concerne pas seulement le langage, mais elle est le résultat des opérations de la pensée humaine qui permettent sa création, possible grâce aux valeurs culturelles qui sont ancrées dans la culture et sont compatibles avec le système des métaphores. En autres, la métaphore est à entendre comme concept métaphorique, parce qu'il y a des relations systématiques entre une expression métaphorique et le concept métaphorique : en fait, on peut utiliser les expressions linguistiques métaphoriques pour étudier la nature des concepts et pour comprendre la nature métaphorique des activités quotidiennes. De plus, le caractère culturel de l'expérience et la culture présente dans l'expérience du monde créent un système conceptuel, qui permet d'interpréter les structures métaphoriques conventionnelles.

À propos des métaphores extérieures à notre système conceptuel, elles sont le résultat qui dérive de l'imagination ou d'une création et elles donnent une nouvelle signification aux connaissances et au savoir. Les nouvelles métaphores incluent des implications qui permettent l'interprétation au lecteur, en soulignant des traits et en supprimant d'autres.

Pour conclure, en considérant les caractéristiques des métaphores, on peut démontrer que les métaphores ont des implications qui mettent en valeur et rendent cohérents certains aspects de l'expérience humaine et peuvent créer des réalités, en particulier des réalités sociales. Non seulement une métaphore donnée peut être la manière exhaustive de mettre en valeur et d'organiser de façon cohérente les aspects de l'expérience, mais aussi elle peut être considérée comme un guide pour les actions fu-

⁵⁰ Lakoff G., Johnson M., 1985, *op. cit.*, chapitre 1, p. 13.

tures qui s'ajusteront à la métaphore. De cette façon, le pouvoir qu'ont les métaphores de rendre cohérente l'expérience en sera renforcé, de plus elles peuvent être vues comme des prophéties qui engendrent leur propre accomplissement⁵¹.

5.5.3.3. Le processus de formation des métaphores scientifiques

Les études linguistiques menées sur les métaphores, qui projettent les images de la science sur la langue commune, ont montré qu'elles deviennent cohérentes avec le lexique et la grammaire. En affirmant que la métaphore est surtout une interaction de concepts qui apporte un éclairage nouveau sur les découvertes techniques et scientifiques, elle fournit un accès immédiat aux notions abstraites de la science à travers l'analogie et l'interaction qui rendent claire la nouvelle notion.

Les métaphores scientifiques, à la différence des métaphores poétiques, fonctionnent seulement grâce à une sélection sémantique entre le concept dénommé par la métaphore et l'image choisie pour le décrire. Quand les hommes de science rencontrent un objet avec un *status* épistémologique incertain, ils peuvent choisir parmi les noms de nature différente en utilisant la métaphore et l'analogie ; par exemple, le terme *nébuleuse* utilisé par les prédécesseurs de Galilée, a été remplacé par « drappello di stelle » : évidemment, ces termes témoignent que la relation entre nom et objet est conventionnelle et arbitraire. Comme la métaphore fait partie d'un ensemble de concepts partagés, la sélection de son domaine source s'enracine dans la culture partagée par la société et le choix est lié au contexte socio-culturel, historique et épistémologique.

Dans les langues spécialisées, la métaphore accomplit une fonction explicative et une fonction constitutive dans les cas de métaphores fondatrices de théories. En fait, les métaphores efficaces sont les protagonistes du succès d'une théorie ou d'une découverte, en ceci qu'elles font gagner la confiance des spécialistes, comme par exemple : la *sélection naturelle* de Charles Darwin, la *main invisible* d'Adam Smith, la *théorie des cordes* de Gabriele Veneziano, où la validation de la métaphore paradigmatique est liée aux modèles dominants d'une culture et ses origines sont marquées par la légitimation de sa position épistémologique.

Enfin, quand la métaphore se développe dans le domaine de la vulgarisation, elle constitue une variante accessible au grand public et représente une variation du

⁵¹ Lakoff G., Johnson M., 1985, *op. cit.*, chapitre 23, p. 166.

terme scientifique, grâce aussi aux médias qui jouent un rôle très important dans la formation métaphorique, parce qu'ils tendent à simplifier pour rendre sensationnelle la découverte scientifique. Les métaphores sont accueillies dans la langue commune, toutefois elles violent le principe de la neutralité émotive : pour cette raison, les spécialistes les regardent toujours avec soupçon.

5.5.3.4. Le transfert interlinguistique des métaphores terminologiques

Dans la formation des métaphores terminologiques, la culture partagée représente le point de départ pour l'encodage et le décodage métaphorique, comme l'affirme C. Cortès⁵² :

La construction du sens métaphorique présuppose une maîtrise totale de la construction du sens compositionnel. Le sens métaphorique est un construit énonciatif complexe qui mobilise de la part des interlocuteurs des connaissances sur le monde, sur le rapport du locuteur à ce qu'il entend transmettre et à ses interlocuteurs, ainsi que tout ce qu'il sait sur le plan linguistique, y compris sur le sens des unités lexicales dans tous leurs emplois, c'est-à-dire avec tous leurs effets de sens en fonction du contexte. Ces connaissances du matériau lexical et de ses emplois reposent sur la connaissance des textes que le locuteur a entendus et analysés et qui l'influencent dans ses choix d'expression. Nous appellerons ce type de compétence l'accès à l'interdiscours.

De cette façon, l'ancrage culturel de la métaphore est lié à la langue et à la culture d'origine qui attestent les termes et les concepts reconnus par la communauté des spécialistes, comme par exemple la *crêpe stellaire* évoquée par l'astrophysicien Jean-Pierre Luminet : cette dénomination se trouve seulement dans la vulgarisation et elle désigne une étoile qui a été aplatie à cause de son passage près d'un trou noir géant. Dans ce cas, il est évident que la notion de langue devient un filtre et que, dans la vulgarisation, les métaphores compensent le manque des connaissances du public non spécialiste. Plus en détail, les travaux d'analyse d'A. Assal⁵³ approfondissent les notions sur la métaphore terminologique :

La métaphore terminologique est loin d'être une simple façon de parler, elle est essentiellement une manière de penser. Certes elle est un emprunt imagé, mais une fois que cet emprunt est réinvesti dans une pratique sociale, une fois que sa signification est réglée par les acteurs agissant dans le cadre de cette pratique, elle devient l'expression d'un nouveau concept.

La tentative d'Assal était de démarquer la métaphore terminologique de la métaphore rhétorique : en fait, dans les langues de spécialité, il fonde l'approche de la métaphore

⁵² Cortès C., « La métaphore. Du discours général aux discours spécialisés », *Cahier du C.I.E.L.*, Cortès C. éd., Université Paris 7 Denis Diderot, 2000-2003.

⁵³ Assal A., « La métaphorisation terminologique », *Terminologie et traduction*, 2, 1994, pp. 235-242.

en terminologie, vue comme processus de pensée et non seulement comme une question de mots venant de la tradition aristotélicienne. En particulier, Assal considère que la métaphore terminologique ancrée dans une pratique sociale se transforme dans l'expression d'un nouveau concept. En outre, l'identification métaphorique en terminologie peut être reconnue à travers la distinction entre deux niveaux : linguistique et cognitif, en interaction constante, vu que « notre monde conceptuel est quadrillé par des mots qui permettent de le catégoriser et lui confèrent une réalité dicible⁵⁴ ». Contrairement à la métaphore rhétorique, cette métaphore vise à atteindre « une précision terminologique, une systématisation conceptuelle et une neutralité émotive⁵⁵ ». Elle essaie de :

S'épurer totalement de toutes ses valeurs connotatives, conquérir une transparence absolue qui la coupe de toutes les adhérences sémantiques véhiculées par ses constituants et toute sédimentation de ses significations antérieures⁵⁶.

En conclusion, on peut affirmer que les métaphores scientifiques sont le résultat d'expériences familières vécues et basées sur l'analogie avec la vie quotidienne et la métaphore terminologique est un instrument indispensable pour la cognition et la dénomination qui est compréhensible sans aucun travail intellectuel d'interprétation. De cette façon, la métaphore terminologique devient officiellement outil de manipulation et d'application dans un domaine scientifique en langue de spécialité⁵⁷.

⁵⁴ Oliveira I., Ploux S., « Pour un traitement automatique de la métaphore », *La métaphore en langues de spécialité*, Grenoble, Presses universitaires de Grenoble, 2009, pp. 185-197.

⁵⁵ Kocourek R., « Ouverture définitionnelle et métaphorique », *ALFA*, vol. V, 1992, p. 49.

⁵⁶ Molino J., « Métaphores, modèles et analogies dans les sciences », *Langages*, Paris, Éditions Larousse, n° 54, 1979, p. 87.

⁵⁷ Oliveira I., « La métaphore terminologique sous un angle cognitif », *Meta, Journal des traducteurs*, vol. 50 (4), Montréal, Presses de l'Université de Montréal, 2005, pp. 83-104.

Chapitre II

La glose

1. Une introduction à la glose

Dans le discours, la glose consiste dans un éclaircissement du sens que le locuteur donne au mot employé et qui est accompagné d'un commentaire métalinguistique⁵⁸. Dans son emploi, la glose remplit plusieurs fonctions : 1) elle précise un sens nouveau d'un mot déjà connu ; 2) elle spécifie une utilisation particulière ou délimite les acceptions ; 3) elle définit aussi un mot inconnu ; 4) elle présente l'emprunt, le calque, l'adaptation, la traduction d'un mot étranger.

En termes pragmatiques, elle accomplit un acte illocutoire d'explication par lequel le locuteur est en mesure d'assurer un contrôle des mots qui apparaissent dans le texte. Non seulement le mot peut être glosé par un seul mot ou par une séquence qui contient une expression métalinguistique, mais aussi la glose peut faire penser à une définition à caractère lexicographique. Toutes les séquences de glose supposent une structure qui dispose de deux éléments : le segment glosé et le segment glossateur.

Parfois des marqueurs typographiques⁵⁹ tels que les virgules, les tirets, les deux points, les crochets ou les parenthèses interviennent dans le texte comme des traces écrites qui amorcent la glose ; en outre, entre le segment glosé et le segment glossateur, souvent un marqueur lexical est présent et permet de repérer la glose comme par exemple : *c'est-à-dire, autrement dit, bref, en d'autres termes, ou.*

Dans certains cas, le segment glosé est souvent plus court que le segment glossateur, parce que la glose est déterminée par un besoin d'expliquer et de déployer le sens. La glose a essentiellement une finalité didactique : elle est considérée comme un instrument de diffusion du savoir en expliquant un mot par un ou plusieurs autres mots, qui sont plus accessibles à la compréhension du destinataire.

⁵⁸ Steuckardt A., Niklas-Salminen A., « Le mot et sa glose », *Langues et langage* n°9, Aix-en-Provence, Publications de l'Université de Provence, 2003.

⁵⁹ Mela A., Roche M., « Des gloses de mot aux types de textes : un bilan différencié », LIRMM, Université Montpellier III et Université Montpellier II.

Enfin, la glose dépasse la conception d'être un simple outil définitionnel : elle emploie un équivalent synonymique au segment glosé et peut se prêter à la correction d'un mot quand celui-ci s'avère inadéquat par rapport au contexte.

1.2. Paraphrase, reformulation et glose : candidats à la nomination des énoncés

Dans le discours de linguistique française, le terme *paraphrase* emprunté aux linguistes d'origine anglo-saxonne a été introduit par les études de C. Fuchs⁶⁰. D'abord, la paraphrase est reprise par la tradition rhétorique, comme un exercice d'amplification à partir d'un texte, une amplification qui utilisait les procédés de la synonymie et de la périphrase.

Ensuite, en linguistique, la paraphrase est définie comme « une relation d'équivalence entre deux énoncés »⁶¹ ; en fait sa réalisation discursive n'est pas posée à priori, mais les énoncés habituellement examinés sont plutôt des propositions. De plus, la cible qui est le résultat de la paraphrase n'est pas une unité lexicale, mais elle est un énoncé, et de façon prototypique dans les études linguistique, une phrase. Cette différence de cible permet de distinguer la paraphrase de la glose, en fonction de la nature du segment glosé : le terme *glose* est utilisé quand un segment est considéré comme une unité lexicale, et *paraphrase* lorsqu'il s'agit d'une proposition.

Le terme *reformulation* nommé d'abord un acte locutoire, il s'inscrit dans le cadre d'une analyse des interactions verbales et ensuite il catégorise l'opération par laquelle le locuteur recommence une opération de formulation. En particulier, la reformulation peut être distinguée en deux catégories : la reformulation *paraphrastique* qui instaure une équivalence avec la première formulation ; la reformulation *non paraphrastique* qui opère un changement de perspective énonciative.

En conclusion, ces catégories montrent que la *reformulation* ne dit rien par elle-même de la visée pragmatique de l'énoncé ; en outre, dans son emploi, le terme *reformulation* est trop limitatif par rapport à l'implication de sa référence privilégiée à l'oral, mais aussi s'avère trop large par l'absence d'un sème pragmatique.

⁶⁰ Steuckardt A., « Du discours au lexique : la glose », Séminaire ATILF, Nancy, Hal archives ouvertes, 2006.

⁶¹ Charaudeau P., Maingueneau D., *Dictionnaire d'analyse du discours*, Paris, éd. du Seuil, 2002, p. 417.

1.3. Les différents types de glose : glose épilinguistique et glose métalinguistique

L'étude de la notion de glose précise une distinction⁶² dans sa définition : la glose *épilinguistique* est considérée comme une pratique langagière à caractère ordinaire et spontanée de tout locuteur d'une langue, elle vue comme une sorte de rationalité pratique ; et la glose *métalinguistique* est envisagée comme un produit de la rationalité bavarde du linguiste, une sorte de *rationalité d'effectuation démonstrative*⁶³ qui apparaît explicite. D'un côté, les gloses épilinguistiques visent à réduire, voire à arrêter un sens de faiblesse sémantique et à établir des équivalences d'interprétation qui sont plus intelligibles, afin de permettre des ajustements intersubjectifs de représentations et de valeurs référentielles. De l'autre côté, la glose métalinguistique vise à rendre perceptible la singularité sémantique de telle forme ou de tel texte ; elle vise à en saisir l'impossibilité de réduire à toute autre forme ou à tout autre texte qui semblerait équivalent ; elle se donne pour objectif d'établir avec rigueur la spécificité de cette séquence à partir des seules formes qui la constituent. De cette façon, la glose métalinguistique se déploie nécessairement à partir d'un terme particulier dans une séquence comme : une unité lexicale, un mot du discours, un morphème grammatical, une construction et un contour prosodique. En conséquence, une séquence est capable de générer un ensemble de gloses : chacune exprime alors la singularité de cette séquence à partir du terme retenu pour son élaboration. En outre, les formes qui constituent une séquence sont en interaction et conséquemment elles sont soumises à des contraintes de cooccurrence ou d'exclusion.

Enfin, le caractère de la glose métalinguistique agit comme une explicitation de texte qui n'est pas une reformulation explicitante, ou une recherche d'une équivalence textuelle, mais idéalement, elle s'occupe d'un démontage pour une analyse minutieuse d'un texte afin de cerner le rôle principal des marqueurs des opérations langagières.

1.4. L'emploi d'une expression métalinguistique entre un mot et sa glose

Quand les commentaires sur un mot sont nécessaires, comme dans les terminologies spécialisées dans les discours de vulgarisation, le locuteur recourt à des gloses,

⁶² Lebaud D., Ploog K., « Paraphrases, reformulations et gloses : points de vue linguistiques », Hal archives ouvertes, 2013.

⁶³ Lebaud D., Ploog K., *op. cit.*, paragraphe 3 *Notion de glose : glose épilinguistique, glose métalinguistique*.

des énoncés qui contiennent des mots métalinguistiques pour instaurer une relation entre le mot glosé et le mot ou la séquence qui le glose, comme dans les exemples⁶⁴ qui suivent :

En effet, durant l'année 2000, les services de police ont enregistré près de 200 cas de *car-jacking* – le mot anglais pour désigner ces braquages dans la rue⁶⁵.
C'est le début du processus de « gentrification », comme l'on appelle ici la réhabilitation des bas quartiers⁶⁶.

Dans les exemples, le locuteur emploie un mot emprunté pour désigner un objet, il pointe le mot en lui donnant une sorte de définition claire pour le lecteur. De cette façon, le segment glosé et le segment glossateur ont une relation à caractère référentiel et les gloses employées permettent de comprendre ce qui apparaît d'abord inconnu : en fait, dans les transcodages, le segment glossateur appartient à la langue du destinataire et le mot glosé est souvent séparé de la séquence glosée par une expression à caractère métalinguistique, comme l'ont montré les exemples précédents : *terme anglais pour désigner, comme on appelle ici*.

2. Du mot glosé à la glose

2.1. Les néologismes et la glose

Quand l'emploi de la glose est lié aux néologismes, deux catégories de néologismes sont employées pour expliciter le sens d'un nouveau mot : les néologismes glosés et les néologismes glosants.

2.1.1. Les néologismes glosés

Dans la catégorie des néologismes glosés, sont différenciées : les gloses *basiques* ou *neutres*, les gloses-*excuses* et les gloses-*imposition*. En premier lieu, les gloses basiques ont la fonction d'apporter un éclaircissement à propos du statut, de la forme, du sens, de l'étymologie et justifient l'exigence de substituer le mot employé par un néologisme caractérisé par la nouveauté ou la spécificité du référent en soulignant la

⁶⁴ Exemples tirés de l'article de Niklas-Salminen A., « La définition dans le cadre de la glose spontanée », Autour de la définition, *Publiforum*, n°11, 2010.

⁶⁵ *Tandem*, le journal des sociétaires de MACIF, n°2, octobre 2001

⁶⁶ *L'Express*, le 26 octobre 1986

nouvelle dénomination, comme par exemple⁶⁷ : « le mot anglo-saxon *spoiler* sera maintenant traduit par défecteur »⁶⁸.

En deuxième lieu, les gloses excuses posent des interrogations sur la validité et l'opportunité de la formulation, en fait une unité non conventionnelle employée conduit à des reformulations qui visent à remplacer, effacer plutôt qu'à expliciter. Quand la légitimité de la formulation montre encore un caractère douteux, les gloses excuses interviennent à travers des remarques sur le caractère fautif d'une unité lexicale à travers les formules : *ça n'existe pas, ça ne se dit pas ce mot là*, comme dans l'exemple : « [...] chansons *polyphonisées*, euh, c'est comme ça qu'on dit, *polyphonées*, enfin mises à plusieurs voix »⁶⁹.

En troisième lieu, les gloses impositions de point de vue correspondent à une modalité injonctive qui vient soit de l'émetteur, dans ce cas des règles du savoir-vivre et des innovations lexicales sont imposées, soit d'un interprétant qui montre souvent des condamnations. En accord avec ses fonctions, les gloses impositions de point de vue imposent une formulation par une autovalorisation : avec des formules *c'est pas mal ça* ; avec de fausses excuses *passer-moi l'expression* ; ou par valorisation des néologismes d'autrui, comme par exemple : « éditeurs et auteurs ont inventé *photocopillage*, un néologisme éloquent »⁷⁰.

Pour conclure, dans les cas des lexies vulgaires, la glose peut être mi-explicite mi-implicite : elle a lieu quand une formule signale que celui qui écrit prend des distances par rapport à un énoncé rapporté, en conséquence aucune responsabilité est assumée, mais en tout cas est présente la permission de le dire quand même.

2.1.2. Les néologismes glosants

Grâce à ses caractéristiques, la glose peut potentiellement produire des néologismes, en fait la production d'une nouvelle unité lexicale est le résultat de la recherche du mot approprié. Le néologisme peut apparaître dans le spécificateur de la glose, voire un néologisme est remplacé par des unités conventionnelles qui le précèdent s'il a un

⁶⁷ Tous les exemples suivants qui expliquent les emplois de la glose sont tirés de l'œuvre de Steuckardt A., Niklas-Salminen A., *op. cit.*, 2003.

⁶⁸ *Le Monde*, 7 mars 1991.

⁶⁹ *France musique*, 1993.

⁷⁰ *Le Monde*, 18 mars 1993.

statut morphologique ambigu, comme dans l'énoncé : « j'avais l'habitude, je veux dire j'habitais l'attitude, je veux dire *j'habitudais* de monter long »⁷¹.

En conclusion, les gloses qui sont liées à l'innovation lexicale posent des problèmes sur la nature des néologismes et à ce propos, la solution est de s'appuyer sur des critères formels comme des marques typographiques, ou des définitions fonctionnelles fondées sur le rôle de commentaire épilinguistique à divers niveaux.

2.1.3. Les emprunts et la glose

Quand dans les discours, les commentaires sur l'emprunt utilisé sont indispensables, à travers des énoncés qui contiennent des termes métalinguistiques, le locuteur est en mesure de mettre en relation l'emprunt avec sa glose. Les structures syntaxiques qui relient l'emprunt et sa glose peuvent être deux : quand le mot emprunté glosé est suivi d'une expression métalinguistique et du mot gloseur, ou quand le mot gloseur est suivi d'une expression métalinguistique et du mot emprunté et glosé.

Dans le cas de la première structure, les gloses reviennent sur ce qui vient d'être dit et elles sont orientées de l'inconnu vers le connu : le mot gloseur et le mot emprunté glosé sont dans un rapport fondé sur le concept d'identité référentielle et dans le transcodage, le second terme appartient à la langue du destinataire, comme par exemple : « un chiffre : le marché mondial du *pet* (terme anglais pour désigner l'ami domestique) se monte à 26 milliards de dollars [...] »⁷². Dans ces cas, entre l'emprunt glosé et le mot gloseur est présente une expression à caractère métalinguistique comme : *c'est le terme précis pour désigner, traduisez X en mais en langage universel, terme anglais pour désigner, comme on appelle ici, mot grec ancien signifiant*. En outre, au niveau typographique, l'emprunt est caractérisé par l'écriture en italiques ou entre guillemets ; quant à l'énoncé à mot métalinguistique, il est séparé de l'emprunt par les signes de ponctuation comme le point, les deux points, la virgule, le tiret ou par des parenthèses.

Dans le cas de la deuxième structure, le mot gloseur français est situé avant l'emprunt glosé : en fait, le locuteur emploie un mot français pour désigner un objet et précise comment il s'appelle dans une autre langue, comme : « maquillage, pense-t-elle,

⁷¹ Simon, 1960, exemple cité dans Steuckardt A., Niklas-Salminen A., *op. cit.*, 2003.

⁷² *Le Nouvel Observateur*, du 4 au 10 octobre 2001, p. 110.

en allemand c'est Maske »⁷³. Dans l'exemple, le locuteur fait un emploi autonymique, où l'emprunt s'avère comme un ajout d'information sur le nom étranger d'un objet indiqué par le mot français, de cette façon a lieu une explication à caractère métalinguistique sur les habitudes de la langue étrangère présente dans le texte. Enfin, la présence d'expressions métalinguistiques comme *s'appeler, en allemand c'est* produisent l'autonymie du mot étranger.

2.1.4. L'emploi de *c'est-à-dire* et de *ou* entre l'emprunt et sa glose

Quand entre l'emprunt glosé et sa glose est présente la locution adverbiale *c'est-à-dire*, comme dans l'exemple « [...] corruption privée et publique : *Tangentopoli*, c'est-à-dire les pots-de-vin généralisés »⁷⁴, *c'est-à-dire* est toujours précédé d'une virgule ; en outre, cette locution adverbiale apporte une information explicitant le contenu du signe inconnu qui est le centre d'intérêt et de cette façon le mot français devient un ajout d'information pour le destinataire. Quand la conjonction *ou* est utilisé entre l'emprunt glosé et sa glose, l'emprunt glosé apparaît comme un ajout d'information qui est proche de façon synonymique au terme, comme dans l'énoncé : « le Prophète ne sachant ni lire ni écrire, ce sont ses disciples qui mettent par écrit ses 114 chapitres ou sourates, et quelques 6000 versets »⁷⁵.

En conclusion, les observations à propos des gloses des emprunts montrent que quand le locuteur propose une glose d'un emprunt, il explique un mot inconnu provenant d'une langue étrangère à travers un commentaire métalinguistique qui donne au destinataire la possibilité d'un éclaircissement : le résultat de cette opération énonciative donne un sens à un signifiant vide qui reste isolé du point de vue morphologique et qui n'est pas en mesure d'avoir des rapports sémantiques étroits avec les signes de la langue emprunteuse.

3. Les marqueurs de glose

L'étude sur la configuration discursive de la glose, comme acte d'explication, montre qu'elle peut être introduite par un terme de liaison, appelé « marqueur de

⁷³ Schuhl J.-J., *Ingrid Caven*, Paris, Gallimard, 2000, p. 14.

⁷⁴ *Le Monde* (supplément), mai 2001.

⁷⁵ *Le Nouvel Observateur*, du 4 au 10 octobre 2001, p. 34.

glose ». Les marqueurs de glose⁷⁶ employés sont seize : *appelé, à savoir, autrement dit, bref, ce qui veut dire, c'est-à-dire, comme, donc, en d'autres termes, en somme, en particulier, je veux dire, ou, ou plutôt, par exemple, tel.*

Dans la perspective d'emploi du marqueur de glose, entre le segment glosé et le segment glossateur, est présent un marqueur à métaterme construit autour des mots comme *appeler, terme, dire, c'est-à-dire, autrement dit, en termes de, je veux dire, pour mieux dire, cela dit*, mais aussi un marqueur sans métaterme comme *ou, ou plutôt, donc, bref, en somme, en particulier, comme, tel (que), par exemple*. La nature des marqueurs entre le segment glosé et le segment glossateur montre qu'ils ont des valeurs d'emploi très variées ou limitées, les uns déclarent un lien synonymique, les autres un lien métonymique.

3.1. Les marqueurs à métaterme

3.1.1. Les marqueurs formés sur *appeler*

Toute typologie de glose suppose la présence de deux éléments : le mot support et son commentaire. Avec un marqueur verbal comme *appeler*, intervient le sujet *x* qui appelle sous la forme nominale ou pronominale, l'élément *X* qui apparaît comme premier élément dans cette construction et *Y* l'élément second : ces deux *éléments* sont reliés par un marqueur. La structure syntaxique typique des marqueurs formés sur « *appeler* » est en conséquence, *x appelle X Y*, ou plusieurs variantes apparaissent comme : *X que x appelle Y, X appelé Y*.

Dans le cas d'attribution d'un nom à quelque chose, le signe et son référent sont reliés par un acte de langage qui s'éloigne parfois du plan de la vérité du point de vue logique. Quand l'un des deux éléments *X* et *Y* est connu, l'autre qui est inconnu est autonome : dans le cas qu'un « mot connu devient un synonyme de la nouvelle désignation, assure la compréhension du sens comme dans une définition synonymique »⁷⁷, comme dans l'exemple⁷⁸ « quand Hugo, dans la pièce *Plein Ciel*, présentait l'avion,

⁷⁶ Steuckardt A., Niklas-Salminen A., « Les marqueurs de glose », *Langues et langage* n°12, Aix-en-Provence, Publications de l'Université de Provence, 2005.

⁷⁷ Steuckardt A., Niklas-Salminen A., *op. cit.*, 2005, Bouverot D., « Les marqueurs formés sur *appeler* d'après le *TLFi* », p. 30.

⁷⁸ Tous les exemples qui expliquent les emplois des marqueurs de glose sont tirés de l'œuvre de Steuckardt A., Niklas-Salminen A., *op. cit.*, 2005.

qu'il appelait l'aéroscaphe »⁷⁹ ; dans le cas où l'élément connu est une définition, elle a un rôle d'explication qui peut être situé avant l'élément à gloser, comme par exemple « un nouveau composé de carbone et d'hydrogène, que j'appellerai bi-carbure d'hydrogène »⁸⁰.

Dans le cas d'attribution d'une qualification, qui est résultat du choix du locuteur, plusieurs structures peuvent se vérifier : 1) quand le sujet peut qualifier ou traiter l'élément X de l'élément second Y qui est caractérisé comme valorisant ou dévalorisant, comme dans l'exemple « la même personne qui serait grasse, on l'appellerait un bou-din »⁸¹ ; 2) l'élément X, que le sujet appelle Y : « une longue haridelle, courte-queue, bien efflanquée, qu'il appelait un cheval de race »⁸² ; 3) l'élément X, ce que le sujet appelle Y : « ce que les Vendéens eux-mêmes appellent la grande guerre »⁸³ ; 4) *ce que* le sujet appelle l'élément X, *c'est un* Y : « ce que j'appelle cristallisation, c'est l'opération de l'esprit, qui tire de tout ce qui se présente la découverte que l'objet aimé a de nouvelles perfections »⁸⁴.

Dans le cas de désignation de quelque chose, l'auteur de l'acte de nomination peut être effacé quand deux mots équivalents, quasi synonymes, forment une proposition autour de l'emploi pronominal du verbe *s'appeler* : *X s'appelle Y*, comme dans l'exemple « la consonance de l'octave s'appelle aussi antiphonie »⁸⁵. L'auteur n'est pas mentionné aussi quand : une proposition relative suit un substantif, dans la structure *ce (le) X qui s'appelle Y*, comme dans l'exemple « cette divine éternité d'un quart d'heure qui s'appelle la Ballade en Fa dièse de Gabriel Fauré »⁸⁶ ; la proposition relative substantivée est en situation d'apposition *X, ce qui s'appelle Y*, ce qui implique : *Y c'est un X* comme l'exemple « elle avait été à douze ans servante de métayer, domestique de domestiques, ce qui s'appelle dans la Lande une gouge »⁸⁷.

⁷⁹ Daudet L., *Les Universaux*, Paris, Grasset, 1935, p. 208.

⁸⁰ Faraday M., *Annales de chimie et de physique*, t. 30, Crochard, 1825, p. 272.

⁸¹ Duhamel G., *Chronique des Pasquier, Le désert de Bièvres*, publié dans la revue *Mercure de France*, 1937, p.218.

⁸² Jouy É., *Hermite*, t.4, Paris, Pillet et Michaud, 1813, p. 96.

⁸³ Erckmann-Chatrian, *Histoire d'un paysan*, t. 2, Paris, Bibliothèque populaire d'éducation et de récréation, J. Hetzel et C., 18, Rue Jacob, 1870, p. 299.

⁸⁴ Stendhal, *De l'Amour*, Paris, Librairie universelle de P. Mongie l'aîné, 1822, p. 9.

⁸⁵ Reber H., *Traité d'harmonie*, Paris, Heugel, 1949, p. 117.

⁸⁶ Jankélévitch V., *Le Je-ne-sais-quoi et le presque-rien*, Paris, Presses universitaires de France, 1957, p. 44.

⁸⁷ Mauriac F., *Genitrix*, Éditions Grasset, 1923, p. 381.

Quand le participe passé *appelé* est employé, il est le terme pivot entre l'élément *X* qui apparaît en premier dans cette construction et *Y* l'élément second, dans les emplois : *X aussi appelé Y*, *X appelé aussi Y*, *X autrement appelé*, comme dans l'exemple « elle portait au doigt un petit anneau [...] il était de laiton, autrement appelé aurichalque. L'aurichalque était, comme on disait, l'or des pauvres »⁸⁸.

En conclusion, la glose formée sur le verbe *appeler* a dans l'ensemble une double utilité : elle donne des renseignements à propos du sens d'un signe inconnu au récepteur d'un message ; la connaissance de la langue est enrichie et les notions contre les pièges discursives sont partagées.

3.1.2. Le marqueur de glose à savoir

Le marqueur de glose *à savoir* a la caractéristique d'être le plus neutre et sa fonction primaire est celle de spécifier le terme qu'il reprend : en fait il introduit, grâce à la structure *X à savoir Y*, une explication ou un développement par restriction et/ou par élargissement du sens du référent.

Du point de vue syntaxique, *à savoir* est un connecteur qui assure un lien étroit entre l'élément glosé et l'élément glosant. En contexte métalinguistique, *à savoir* introduit une glose explicative qui prend la forme d'une définition ou d'une traduction et *Y* est un équivalent d'extension égale ou inférieure de *X* : pour cette raison, le marqueur de glose *à savoir* vise à expliciter le contenu sémantique du segment glosé, mais sans améliorer la nomination, comme dans l'exemple : « le Premier ministre a proposé un « moratoire fiscal » à savoir « le gel complet de l'évolution de la fiscalité » pendant quatre ans »⁸⁹.

3.1.3. Les marqueurs formés sur dire : autrement dit, ce qui veut dire, c'est-à-dire, je veux dire

3.1.3.1. Le marqueur de glose autrement dit

La structure syntaxique du marqueur de glose *autrement dit* est caractérisée par : *Nom propre 1, autrement dit, Nom propre 2*. Une distinction est nécessaire pour différencier le sens premier et le sens second de ce marqueur: d'un côté, le sens premier

⁸⁸ France A., *Vie de Jeanne d'Arc*, Paris, Calmann-Lévy, 1908, p. 524.

⁸⁹ *L'Est Républicain*, 25/11/2003.

d'*autrement dit* montre premièrement une lexicalisation partielle qui est prévisible à partir du sens de chacun de deux termes ; deuxièmement, *dit* peut être sujet à une commutation avec *appelé* ou *nommé*, comme dans l'exemple : « Galope-chopine autrement dit le Grand Cibot »⁹⁰ qui est équivalent à « Galope-chopine autrement appelé le Grand Cibot » ; troisièmement, « l'accord est souvent possible dans l'énoncé »⁹¹ comme dans l'exemple : « Belen, autrement dite Nelly Kaplan »⁹². De l'autre côté, le deuxième sens d'*autrement dit* montre une lexicalisation plus nette : premièrement, *autrement dit* pris dans son sens global apparaît comme un synonyme de *c'est-à-dire* ou *en clair* ; deuxièmement, *dit* ne peut pas être remplacé par les verbes *appeler* ou *nommer*, comme l'exemple : « la campagne autrement dit la région sans fin des cyprès et des tombes »⁹³ ne peut pas se paraphraser par « *la campagne autrement appelé la région sans fin des cyprès et des tombes » ; troisièmement, l'accord semble être interdit comme dans l'exemple précédent tiré de l'œuvre de Loti : *la campagne autrement dit* et non *la campagne autrement dite*. La dernière remarque sur la distinction entre les deux sens d'*autrement dit* voit le deuxième sens comme une extension du sens premier, parce qu'il est apparu plus tard.

Le fonctionnement syntaxique du sens premier considère la séquence *autrement dit Y* comme une épithète qui est liée ou détachée de X, quand Y est attribut de X ou X et Y sont des substantifs. Dans le deuxième sens, *autrement dit* est présenté du point de vue syntaxique comme une locution adverbiale quand le marqueur est associé à l'emploi de *ou* comme dans l'exemple : « la beauté est l'expression du caractère, ou, autrement dit, des habitudes morales »⁹⁴, mais quand le marqueur n'est pas accompagné de *ou*, il tient lieu de connecteur, comme montre l'exemple « les affaires d'argent c'est quand même plus compliqué, plus délicat, autrement dit, que la musique »⁹⁵.

Quant au fonctionnement sémiotique, le premier sens prend en considération X en usage et Y en mention dans le contexte métalinguistique comme dans l'exemple : « Henriette Fontaine, qui se faisait appeler Henriette De Bellefontaine, autrement dite la

⁹⁰ Balzac, *Les Chouans ou la Bretagne en 1799*, Furne édition de la *Comédie Humaine*, 1845, I, pp. 955-995.

⁹¹ Steuckardt A., Niklas-Salminen A., *op. cit.*, 2005, p. 234.

⁹² *Le Figaro*, 2 septembre 2002.

⁹³ Loti P., *Suprêmes vision d'Orient : fragments de journal intime*, Paris, Calmann-Lévy, 1921, XII, p. 1392.

⁹⁴ Stendhal, *op. cit.*, p.44.

⁹⁵ Duhamel G., *Chronique des Pasquier*, édité par *Mercure de France*, 1934, 3, p. 15.

Torpille »⁹⁶, le deuxième sens considère X et Y en usage, mais en contexte métalinguistique X et Y sont en mention comme dans l'exemple : « on les disait irlandaises sans savoir pourquoi : l'une s'appelait Bess et l'autre Peg, autrement dit Élisabeth et Marguerite »⁹⁷.

En conclusion, parmi les marqueurs de glose formés sur le verbe *dire*, *autrement dit* a souvent la fonction d'introduire des transcodages, en fait généralement il apparaît en ouverture de phrase et son emploi vise à l'introduction d'une paraphrase d'un premier énoncé, comme dans l'exemple :

La langue étant ce qu'elle est, de quelque côté qu'on l'aborde, on n'y trouvera rien de simple ; partout et toujours ce même équilibre complexe de termes qui se conditionnent réciproquement. Autrement dit, la langue est une forme et non une substance⁹⁸.

3.1.3.2. Le marqueur de glose *ce qui veut dire*

Le marqueur de glose *ce qui veut dire* peut être caractérisé d'abord par l'emploi d'autres temps verbaux comme « ce qui voulait dire », ensuite par des adverbes qui peuvent être intercalés « ce qui veut simplement dire » ; et enfin *ce qui veut dire* agit aussi dans l'emploi de la forme négative « ce qui ne veut pas dire ».

Dans le fonctionnement syntaxique, la locution *ce qui veut dire* est en position pivot qui relie des propositions ou les constituants infrapropositionnels comme dans l'exemple : « je suis encore endettée, ce qui veut dire pauvre »⁹⁹.

Dans le fonctionnement sémiotique, le premier sens de *ce qui veut dire* fournit une interprétation ou l'implication d'un fait, où X et Y sont vus comme non codés et désignent deux faits différents qui se sous-entendent comme dans l'exemple : « il a publié vingt volumes, ce qui veut dire qu'il en a dépecé deux ou trois cents »¹⁰⁰. Dans le deuxième sens, *ce qui veut dire* se présente comme la signification d'un mot ou d'une expression : en fait « Y » est l'objet du verbe *vouloir dire* et il est un nom de signifié, défini comme « un autonome syntaxique qui ne signifie pas un signe, mais son contenu »¹⁰¹.

⁹⁶ Ponson du Terrail P. A., *Rocamboles, les drames de Paris*, La Patrie, 1859, t. 2, p. 399.

⁹⁷ Mac Orlan P., *Sous la lumière froide*, « La Pension Mary Stuart », Paris, Gallimard, 1961, 4, p. 43.

⁹⁸ Saussure F., *Cours de linguistique générale*, Paris, Payot, 1916, p. 159.

⁹⁹ Sand G., *Correspondance*, Paris, Calmann-Lévy, 1836, p. 575.

¹⁰⁰ Jouy É., *L'Hermite de la Chaussée- d'Antin*, Paris, Pillet et Michaud, 1813, p. 147.

¹⁰¹ *Nom de signifié* au sens défini par Rey-Debove J.

Les valeurs d'emploi du premier sens, « dans le cas où X est en usage, la glose introduite par *ce qui veut dire* sert à indiquer le sens d'un fait ou à enchaîner sur ses implications logiques »¹⁰², comme dans l'exemple : « et ça descend tout le long, ce qui veut dire qu'au retour, la cote est raide »¹⁰³. Dans le deuxième sens, dans les gloses de mots, plusieurs valeurs d'emploi sont repérées : en fait *ce qui veut dire* introduit une définition en langue, comme dans l'exemple :

Tout son fonds se compose de chansonnier du premier âge, de fablier du second âge, de Plutarque de la jeunesse, de petit La Bruyère, de morale de l'enfance, de corbeille de fleurs (ce qui veut dire, recueil de compliments pour les fêtes de tous les papas et de toutes les mamans de l'empire français)¹⁰⁴.

En outre, *ce qui veut dire* a la fonction de sélectionner une acception d'un mot parmi d'autres et de marquer la nuance de ce sens choisi, comme dans l'exemple « s'il n'accomplit jamais rien de simple, c'est qu'il n'est réservé qu'à quelques vieillards d'être simple, ce qui veut dire pur, épuré, simplifié comme une épure »¹⁰⁵. ; ou *ce qui veut dire* peut opérer une description au moyen du contexte et dans ce cas, l'acception de X s'avère exemplifiée par Y qui est inclus dans un énoncé comme dans l'exemple : « ils se sont réunis en deux ou trois groupes, et ils attendent en causant, ce qui veut dire ici, en parlant aussi fort que s'ils se disputaient, comme à l'accoutumée »¹⁰⁶.

En conclusion, dans sa spécificité, le marqueur de glose *ce qui veut dire* constitue une relation étroite à propos de la signification entre un signe et un sens attribué.

3.1.3.3. Le marqueur de glose *c'est-à-dire*

Dans la structure du marqueur de glose *c'est-à-dire* qui unit *X c'est-à-dire Y*, X et Y sont généralement des adjectifs, des adverbes, des syntagmes nominaux, des syntagmes prépositionnels et des propositions entières. *C'est-à-dire* apparaît comme un connecteur et un marqueur qui relie l'élément glosé et l'élément glosant du point de syntaxique, comme dans l'exemple : « qui nous a portés jusqu'ici. Ici, c'est-à-dire dans notre vie »¹⁰⁷.

¹⁰² Steuckardt A., Niklas-Salminen A., *op. cit.*, 2005, p. 249.

¹⁰³ Clavel B., *Le Cœur des vivants*, éditions Robert Laffont, 1999, p. 207.

¹⁰⁴ Jouy É., *op. cit.*, t. 1, 1811, p. 307-308.

¹⁰⁵ Genet J., *Notre-Dame-des-fleurs*, Paris, Gallimard, 1976, p.215.

¹⁰⁶ T'Serstevens A., *L'Itinéraire espagnol*, Arthaud, 1963, p. 127.

¹⁰⁷ DNA, 19 octobre 2003.

Dans le fonctionnement sémiotique, la glose introduite par *c'est-à-dire* peut présenter une valeur interprétative ou une valeur métalinguistique qui donnent des explications précises, comme dans l'énoncé : « j'ai rempli une cloche d'air pur (air pur, c'est-à-dire partie éminemment respirable d'air) »¹⁰⁸. Cependant, les emplois de *c'est-à-dire* sont plusieurs : il introduit premièrement une glose explicative comme « réhabilitation, c'est-à-dire intensification »¹⁰⁹ ; deuxièmement, une définition comme « c'est une zoonose, c'est-à-dire une maladie transmissible de l'animal à l'homme »¹¹⁰ ; troisièmement, une dénomination qui vise à une « saturation » du référent comme « le RPR, c'est-à-dire J. Chirac, n'est pas contre la cohabitation »¹¹¹.

En outre, les valeurs d'emplois de *c'est-à-dire* sont aussi variées : en effet, ce marqueur peut concerner l'interprétation du segment glosé et de cette façon proposer une introduction d'une conclusion, dans ce cas, sa position préférentielle est située entre deux énoncés qui sont l'un à côté de l'autre et il lie des constituants infrapropositionnels.

Enfin, la valeur de spécificité de *c'est-à-dire* décrit le sens en soulignant une équivalence au niveau sémantique entre les termes glosés comme font habituellement les marqueurs de restriction.

3.1.3.4. Le marqueur de glose *je veux dire*

Le marqueur de glose *je veux dire* est utilisé dans la structure *X je veux dire Y*, où X et Y peuvent être des propositions ou des constituants infrapropositionnels comme dans l'exemple : « nous sommes seules, je veux dire sans berger »¹¹². Dans l'analyse linguistique, *je veux dire* peut être considéré non seulement comme une proposition incidente ou comme un coordonnant, mais aussi ce marqueur de glose peut ne pas se trouver en situation de pivot, comme dans l'exemple : « les bals qu'on donne à Paris, les bals chics, je veux dire »¹¹³.

¹⁰⁸ Lavoisier A. L., *Traité élémentaire de chimie*, Paris, Cuchet, 1789, p. 42. Exemple fabriqué à partir de l'original : [...] cloche d'air pur, autrement dit de la partie [...].

¹⁰⁹ *L'Humanité*, 29 octobre 2003.

¹¹⁰ *Le Bien public*, 30 octobre 2003.

¹¹¹ Charolles M. et Coltier D., « Le contrôle de la compréhension dans une activité rédactionnelle : éléments pour l'analyse des reformulations paraphrastiques », *Pratiques* 49, Les activités rédactionnelles, Metz, 1986, p. 51-66.

¹¹² Urfé H., *L'Astrée*, Paris, 1610, t. 2, livre 6, p. 270.

¹¹³ Proust, *Du côté de chez Swann*, éd. B. Grasset, 1913, p. 243.

Les valeurs d'emploi de *je veux dire* considèrent principalement les structures syntaxiques : 1) Y comme un équivalent d'extension égale à celle de X, comme dans l'exemple « jusqu'à ce qu'elle eut reconnu que j'étais des deux sexes, je veux dire hermaphrodite »¹¹⁴ ; 2) Y comme un équivalent d'extension supérieure à celle de X :

j'ai dormi comme une masse, le vrai sommeil de brute du sans pareil, je veux dire, un rejet de toute relation, une rupture de contact absolue, la revendication morose d'une solitude allant jusqu'à l'anéantissement ;

3) Y comme un équivalent d'extension inférieure à celle de X, comme dans l'exemple « ils ne commandent pas au temps, ils n'en possèdent qu'une petite partie, je veux dire le présent »¹¹⁵. Enfin, la spécificité d'emploi de ce marqueur de glose souligne aussi la présence de la première personne dans *je veux dire* qui permet de montrer des hésitations de l'auteur et de l'écriture comme dans l'exemple : « je sais ce que je veux dire quand je dis quelque chose et je veux dire ce que j'ai à dire »¹¹⁶.

3.1.4. Le marqueur de glose *en d'autres termes*

Le marqueur de glose *en d'autres termes* propose une introduction d'une phrase ou d'une glose de mot. L'emploi syntaxique de *en d'autres termes* est double : premièrement comme circonstant où X et Y sont juxtaposés, comme dans l'exemple :

Dès lors les caractéristiques écologiques du territoire de la langue et les caractéristiques plus largement sociologiques des groupes qui la parlent conditionnent les communications linguistiques, en d'autres termes la réalisation même de la langue¹¹⁷ ;

deuxièmement, comme connecteur entre X et Y, dans l'exemple « un tel effort de sélection, qu'en d'autres termes nous venons de définir comme la recherche du style, trouve son meilleur champ d'action dans l'espèce humaine »¹¹⁸. En conclusion, à différence de l'emploi de *appelé* ou *dit*, le marqueur *en d'autres termes* est combiné avec d'autres marqueurs, comme *c'est-à-dire*, *cela veut dire*, *comme on dit*, comme dans l'exemple : « des canons plutôt que du beurre, cela veut dire en termes nobles, en termes ordinaires : plutôt la mort que la vie, plutôt la haine que l'amour ! »¹¹⁹.

¹¹⁴ Foigny G., *La terre australe connue*, J. Verneuil, Genève, 1676, p. 72.

¹¹⁵ Balzac (Guez de), *Le prince*, Paris, 1631, p. 193.

¹¹⁶ Queneau R., *Le Vol d'Icare*, Paris, Gallimard, 1968, LII, p. 224.

¹¹⁷ Gurvitch G., *Traité de sociologie*, t. 2, PUF, Paris, 1960.

¹¹⁸ Cassou J., *Panorama des arts plastiques contemporains*, Paris, Gallimard, 1960.

¹¹⁹ Tournier M., *Le Roi des Aulnes*, Paris, Gallimard, 1970.

3.2. Les marqueurs sans métaterme

3.2.1. Le marqueur de glose *bref*

Le marqueur de glose *bref* se situe au niveau intraphrastique et en position médiane : il réunit deux énoncés dans un syntagme binaire caractérisé de la forme *X bref Y*, où X est le segment glosé et Y est le segment glossateur.

Au niveau syntaxique, les deux énoncés sont différents à propos du nombre des lexèmes ou de groupes lexématiques, parce que généralement X a un nombre supérieur à celui de Y qui est réduit à un seul. *Bref* est un marqueur qui est utilisé pour exprimer la fin d'énumération, qui a un caractère plutôt résumptif, conclusif et souvent il est en mesure de rompre la linéarité textuelle, comme dans l'exemple : « le renoncement, l'abandon, la résignation, bref la souille »¹²⁰.

Au niveau sémiotique, dans la structure *X bref Y*, X et Y sont normalement en usage, quand Y est un substantif, il est souvent déterminé.

Dans ses emplois, d'abord *bref* peut être un opérateur de focalisation : en fait quand le terme essentiel est introduit, « il détermine la cohérence interne de la séquence marquée et vectorise la progression argumentative du dialogue »¹²¹. Ensuite, *bref* peut être considéré comme un marqueur qui indique « un résultat, une étape, une césure définitive ou transitoire en vue d'un développement ultérieur de l'argumentation »¹²².

Quand le marqueur de glose *bref* associe deux éléments qui établissent une relation synonymique entre eux, Y est considéré du point de vue pragmatique comme une « réévaluation » de X, qui selon le contexte peut être à caractère : *globalisante* comme l'exemple « les dépenses en publicité touristique que la France engage aux États-Unis, en Angleterre, en Allemagne, bref dans tous les pays où elle entretient des bureaux de propagande »¹²³ ; *hiérarchisante* comme dans l'exemple « au cours des opérations [...] d'association des différentes sensations élémentaires en une sensation d'ensemble qui aboutit à identifier, reconnaître, bref à percevoir l'excitant »¹²⁴ ; *synthétisante* comme dans l'exemple « or l'adhésion suppose la conscience, la compréhension de la mission à

¹²⁰ Tournier M., *Vendredi ou les Limbes du Pacifique*, Paris, Gallimard, 1967, p. 51.

¹²¹ Steuckardt A., Niklas-Salminen A., *op. cit.*, 2005, p. 241.

¹²² Steuckardt A., Niklas-Salminen A., *op. cit.*, 2005, p. 241.

¹²³ Défert P., *Pour une politique du tourisme en France*, Éditions Ouvrières, 1960.

¹²⁴ Camefort H., *Sciences naturelles*, édition Hachette, 1960, p. 267.

remplir, bref une intellectualisation même embryonnaire »¹²⁵ ; ou *raccourcissante* comme montre l'énoncé suivant « [...] il exige une nouvelle définition des rapports du sens et du symbole, de l'image et de l'expression ; bref une nouvelle manière de concevoir comment se manifestent les significations »¹²⁶.

Enfin, *bref* peut être aussi considéré comme un opérateur de délimitation qui à travers la superposition d'une nouvelle formulation à la première s'avère caractérisé d'une nuance pragmatique à caractère conclusif ou récapitulatif qui agit pour délimiter des unités d'énonciation du message dans le discours.

3.2.2. Le marqueur de glose *comme*

Au niveau syntaxique, le marqueur de glose *comme* a une valeur d'exemplification qui introduit une expansion du syntagme nominal. Dans l'emploi de *comme*, une distinction entre deux structures est nécessaire : en premier lieu, celles qui relient un seul terme de part et d'autre de *comme*, par exemple « notre position nécessite certaines définitions comme celle de tautologie »¹²⁷, et celles qui instaurent une relation entre un hyperonyme X et une série d'hyponymes en Y en créant une forme de glose par spécification, par exemple « bien vite, on s'aperçoit que la présence de mots comme appelé, c'est-à-dire, terme, ou bien sûr mot lui-même sont de bons indices »¹²⁸.

Le marqueur de glose *comme* a aussi un caractère métalinguistique d'approximation, quand il se trouve en fonction adverbiale dans une glose juxtaposée comme dans l'énoncé : « son visage séparé du monde extérieur, de l'air, par une pellicule brûlante, comme un masque collé à la peau »¹²⁹. En fait, quand « la glose Y introduite par *comme* relativise X comme manière de dire, en raison de l'équivalence syntaxique et référentielle »¹³⁰, dans laquelle le segment glossateur est équivalent au segment glosé.

Enfin, *comme* constitue une glose à partir de la spécification ou de la relativisation comme manière de dire le mot et il ne passe pas à travers un commentaire explicite.

¹²⁵ Fanon F., *Les damnés de la terre*, Éditions Maspero, 1961, p. 242.

¹²⁶ Foucault M., *Dits et écrits I, 1954-1975*, Paris, Gallimard, 1994, p. 96.

¹²⁷ Cité par H. Portine, 1995, exemple tiré de l'œuvre de Steuckardt A., Niklas-Salminen A., *op. cit.*, 2005.

¹²⁸ Steuckardt A., « Présentation », *op. cit.*, 2003.

¹²⁹ Simon C., *L'Acacia*, Minuit, 1989.

¹³⁰ Steuckardt A., Niklas-Salminen A., *op. cit.*, 2005, p. 269.

3.2.3. Le marqueur de glose *donc*

Le marqueur *donc* est à rapporter non seulement à la relation avec un adverbe ou une locution adverbiale, mais aussi à la combinaison avec la conjonction de coordination *et* qui rend possible la structure syntaxique : *X, et donc Y*. En outre, grâce à la caractéristique de la mobilité, le marqueur rend possible la structure syntaxique *X, Y donc*. Trois principales structures d'organisation des éléments caractérisent *X, Y* et *donc* :

1) *X donc Y* comme dans l'exemple :

Malaisément, héroïquement, le droit se tient entre deux zones, deux tentations : l'une, occupée par le droit naturel, universel et invariant, non écrit donc imprescriptible, intemporel et l'autre, envahie par l'histoire et les oublis bariolés de son haillon¹³¹ ;

2) *X et donc Y* comme l'exemple « le principal est qu'il permet d'obtenir, toutes choses égales d'ailleurs, un volume de commerce plus élevé et donc un revenu réel supérieur »¹³² ; 3) *X, Y donc* « si deux Smicards sur trois sont des Smicards, des femmes donc, est-ce le fait du hasard ou de la conjoncture ? »¹³³. Quand *Y* est sujet, attribut, complément d'objet, il a toujours la même fonction que *X*. De plus, la glose caractérisée par *donc* a plusieurs fonctions et valeurs d'emploi : d'abord, elle pose une équivalence « générale », comme dans l'exemple « au crépuscule, donc en faible intensité lumineuse, les feuilles et les fleurs nous paraissent grises »¹³⁴ ; ensuite, elle constitue une sorte d'équivalence limitée à la situation discursive et à l'expression du point de vue de l'énonciateur comme dans l'exemple « je redoutais une grande injustice dans le fait que j'étais aux yeux de la mère le seul amant identifiable, donc, l'assassin présumé »¹³⁵. En outre, la glose par *donc* est en mesure de produire une sorte de résumé, comme dans l'exemple « en dépit de leur prédilection pour les recrues sans culture politique, enclines à la violence, et donc aisément manipulables, il semble que même les dirigeants de l'organisation aient de prime abord trouvé Jojo un peu étrange »¹³⁶ ; ou au contraire, elle peut développer un élément *X* qui est plus court, comme dans l'exemple « le livre de Fernand Braudel est le livre d'un homme seul. Une thèse, donc un chef-d'œuvre artisanal exigé par la corporation universitaire de tous ceux qui veulent passer maîtres »¹³⁷.

¹³¹ Serres M., *Le Tiers-Instruit*, Paris, Gallimard, 1991, p. 214.

¹³² *L'Univers économique et social*, ouvrage collectif dirigé par F. Perroux, Paris, Larousse, 1960, p.3804.

¹³³ Halimi G., *La Cause des femmes*, éd. Grasset, 1975, p. 6.

¹³⁴ Camefort H. et Gama A., *Sciences naturelles*, édition Hachette, 1960, p. 248.

¹³⁵ Guilbert H., *À l'ami qui ne m'a pas sauvé la vie*, Paris, Gallimard, 1990, p. 171.

¹³⁶ Rolin J., *L'Organisation*, Paris, Gallimard, 1996, p. 18.

¹³⁷ Febvre L., *Combats pour l'histoire*, Colin, 1952, p. 433.

Enfin, le marqueur de glose *donc* pose l'attention sur l'interprétation du segment glosé à travers la reprise et la conséquence, mais son emploi reste limité.

3.2.4. Le marqueur de glose *en somme*

Du point de vu syntaxique, quand le marqueur de glose *en somme* accompagne un connecteur comme *mais*, il fonctionne à la façon d'un simple circonstant, mais aussi il peut relier des syntagmes, des propositions ou des phrases, comme dans l'exemple :

À bord de la galère ayant appris à bien compter les puces (pas seulement à les attraper, mais à en faire des additions, et des soustractions, en somme des statistiques), métier délicat qui n'a l'air de rien, mais qui constitue bel et bien une technique, je voulais m'en servir¹³⁸.

L'emploi de *en somme* peut marquer un mouvement à caractère réductif qui va de formulations diverses, vers une formulation unique ; en fait il est considéré comme un marqueur de conclusion puisque *en somme* part du multiple pour rejoindre l'un.

3.2.5. Le marqueur de glose *en particulier*

Le marqueur de glose *en particulier*, en absence de coordonnant, tient lieu de connecteur qui n'est jamais en situation de pivot. X et Y peuvent être des propositions comme dans l'exemple :

nous avons soigneusement analysé les diverses opérations par lesquelles se construit une théorie physique ; nous avons, en particulier, soumis à une sévère critique les règles qui permettent de comparer les conclusions de la théorie aux lois expérimentales [...]¹³⁹

mais aussi des constituants infrapropositionnels qui opèrent une restriction comme dans l'exemple « les technologies de l'information - en particulier l'informatique et les télécommunications -, ambivalentes comme toute technologie, peuvent être utilisées par l'économie capitaliste de marché »¹⁴⁰.

Enfin, la valeur d'emploi dans la configuration *X en particulier Y*, X et Y sont des substantifs où Y est une partie de X et sont en relation d'inclusion comme dans l'exemple : « dans certains pays (Cameroun, Togo, Zaïre, en particulier), la situation a atteint un degré tel qu'il n'est plus exagéré de parler d'une « tonton-macoutisation » de ces régimes »¹⁴¹.

¹³⁸ Céline L.-F., *Voyage au bout de la nuit*, Paris, Denöel et Steele, 1932, p. 336.

¹³⁹ Duhem, P. M. M. *La théorie physique, son objet, sa structure*, Paris, Chevalier et Rivière, 1906.

¹⁴⁰ *Monde Diplomatique*, 9502:16:17.

¹⁴¹ *Monde Diplomatique*, 9305:16:17.

3.2.6. Le marqueur de glose *ou*

Le marqueur de glose *ou* lie deux appellations distinctes d'une même identité : quand le segment glosé est situé avant *ou* et le segment glossateur qui le suit ont le même patron et se trouvent souvent dans une situation de symétrie totale¹⁴². Quand le segment glosé est un mot, le segment glossateur est une périphrase ; et vice-versa quand le segment glosé est une périphrase, le segment glossateur est un mot, comme dans l'exemple : « la représentation écrite de la parole, ou graphie présente une grande autonomie par rapport à la parole »¹⁴³.

L'emploi syntaxique de *ou* forme une équivalence entre X et Y, où les deux membres, un qui est nouveau et obscur, l'autre qui est connu de l'interlocuteur, sont liés par une relation synonymique ou quasi-synonymique. Une autre considération souligne que :

Le marqueur de glose *ou*, au lieu de porter sur des aspects polysémiques ou translinguistiques du mot glosé, porte surtout sur l'interprétation du mot. L'équivalence entre X et Y semble être décidée par le locuteur et, pour cette raison, elle reste strictement liée à la situation de discours¹⁴⁴.

Enfin, l'analyse de *ou* comme marqueur de glose montre des nuances encore ambiguës pour déterminer si *ou* est un *ou* d'équivalence ou un *ou* qui exprime un caractère alternatif, qui résulte du choix exclusif.

3.2.7. Le marqueur de glose *ou plutôt*

Ou plutôt « fonctionne comme marqueur de glose dans la mesure où le segment Y qu'il introduit, par son équivalence avec X, produit rétroactivement une évaluation du choix du mot X et le pointe comme une nomination inadéquate, insatisfaisante »¹⁴⁵.

Au niveau syntaxique, *ou plutôt* peut être l'introduction d'une paraphrase de proposition et un signe de ponctuation fort agit entre X et Y, comme dans l'exemple : « et à la fin elle trouva. Ou plutôt elle trouva une fin [...] »¹⁴⁶.

¹⁴² Voir l'étude de Tamba I., « « Ou » dans les tours du type : « un bienfaiteur public ou évergète » », *Langue française* n°73, 1987.

¹⁴³ Panckhurst, « La glose, le document électronique et l'extraction automatisée », in Steuckardt A., Niklas-Salminen A. (éds.), *op. cit.*, 2003, p. 284.

¹⁴⁴ Steuckardt A., Niklas-Salminen A., *op. cit.*, 2005, p. 299.

¹⁴⁵ Steuckardt A., Niklas-Salminen A., *op. cit.*, 2005, p. 303.

¹⁴⁶ Simon, *op. cit.*, p. 24, cité dans l'œuvre de Steuckardt A., Niklas-Salminen A., *op. cit.*, 2005.

Quand *ou plutôt* est marqueur de glose, X et Y sont souvent unis sans les signes de ponctuation ou avec des ponctuations faibles seules, tels que les parenthèses, les tirets doubles, la virgule simple ou double, comme dans l'exemple : « [...] la peau recouverte de cette barbe - ou plutôt moisissure - grisâtre »¹⁴⁷. En outre, *ou plutôt* relie deux syntagmes verbaux, deux syntagmes nominaux, deux syntagmes adjectivaux, plus rarement entre deux déterminants, en général deux éléments qui correspondent à une même classe d'équivalence.

Dans ses valeurs d'emploi, en premier lieu *ou plutôt* semble être un marqueur privilégié parce qu'il apparaît comme un retour de réflexion qui a pour enjeu les mots que le locuteur a prononcés, à travers ce que J. Authier-Revuz nomme « la non-coïncidence des mots à eux-mêmes ». Cet appui sur le mot est explicite quand le contexte contient des mots métalinguistiques comme dans l'exemple : « même si la condition de touriste reste sans doute préférable à celle de chômeur. Mais l'un rejoint l'autre, ou plutôt les deux termes tendent à se confondre »¹⁴⁸.

La seconde valeur d'emploi qui caractérise *ou plutôt* a lieu quand il « prend appui sur la construction en deux temps explicites, sur le caractère différé et progressif de la nomination que génère la structure de la glose » et pour cette raison, cet emploi donne la possibilité d'avoir des gradations sémantiques dans l'intensité, en fait Y étant plus fort que X crée une comparaison qui permet d'explicitier la gradation, comme dans l'exemple : « Pécuchet ne pleurait pas. Très pâle ou plutôt livide, la bouche ouverte et les cheveux collés par la sueur froide, il se tenait à l'écart »¹⁴⁹.

Enfin, la spécificité de *ou plutôt*, considéré comme marqueur de glose, est qu'il n'a pas explicitement une fonction métalinguistique : en fait il indique le retour sur ce qui a été déjà dit et permet la mise en équivalence de X et Y, comme pour *ou*, mais l'adverbe *plutôt* souligne le fait d'un dire antécédent, « transformant rétroactivement X en terme employé au niveau sémiotique à la fois en usage et en mention »¹⁵⁰.

¹⁴⁷ Simon C., *Le Palace*, Éditions de Minuit, 1962.

¹⁴⁸ Michel, *Le Monde diplomatique*, août 2000.

¹⁴⁹ Flaubert G., *Bouvard et Pécuchet*, L. Conard, 1910, chapitre II.

¹⁵⁰ Steuckardt A., Niklas-Salminen A., *op. cit.*, 2005, p. 308.

3.2.8. Le marqueur de glose *par exemple*

En tête de phrase, *par exemple* comme marqueur de glose « introduit un développement sur l'énoncé de la phrase précédente, le plus souvent sur la partie prédicative de l'énoncé »¹⁵¹ : son emploi permet d'établir une continuité du discours, ou d'amplifier un concept présent dans l'énoncé précédent dans un commentaire explicatif d'une phrase, comme :

Les femmes n'y sont point admises : tout ce que j'en sais, c'est que tout le monde s'y tutoie. Par exemple, ce domestique va y trouver M. Valenod, et cet homme si fier et si sot ne sera point fâché de s'entendre tutoyer par saint-Jean, et lui répondra sur le même ton¹⁵².

En outre, *par exemple* tient un fonctionnement au niveau intraphrastique, où il agit comme une locution prépositionnelle en introduisant un groupe nominal, comme dans l'exemple : « ne pourriez-vous pas demander un bois, comme par exemple une partie de la forêt de Créon ? »¹⁵³. Pour conclure, *par exemple* appartient au sous-ensemble des marqueurs qui ont comme but l'exemplification et ses valeurs d'emplois permettent une très large échelle de réalisation.

3.2.9. Le marqueur de glose *tel (que)*

Le marqueur de glose *tel (que)* peut être accompagné de la conjonction *que*, il a la fonction d'indiquer l'exemplification et réaliser une explication. Quand *tel que* est utilisé comme connecteur, il est situé entre deux syntagmes, généralement dans une même phrase, cependant quand une ponctuation forte est présente, *tel* est placé en tête de phrase comme dans l'exemple : « nous avons vu, pendant l'ère primaire, des formes de nautilus se dérouler peu à peu jusqu'à donner des coquilles droites ou orthocères. Les ammonites ont aussi produit des types déroulés. Tels les ancylocères »¹⁵⁴.

En conclusion, le marqueur de glose *tel que* appartient au sous-ensemble des marqueurs d'exemplification comme *par exemple*, *comme*, et *en particulier*.

¹⁵¹ Steuckardt A., Niklas-Salminen A., *op. cit.*, 2005, p. 313.

¹⁵² Stendhal, *Le Rouge et le noir*, Paris, Levasseur, 1830, chapitre 17.

¹⁵³ Montesquieu, *Correspondance*, T 1, François Gebelin, Bordeaux, Imprimeries Gounouilhau, 1914.

¹⁵⁴ Boule M., *Conférences de géologie*, Paris, Masson, 1907, p.115.

4. En guise de conclusion

La fonction explicative de la glose et les caractéristiques des marqueurs métalinguistiques sont le fondement pour l'acquisition terminologique et pour l'activité de vulgarisation, qui à travers la glose rend accessibles au grand public les discours des spécialistes. L'application de la glose joue le rôle d'intermédiaire qui présente au grand public les nouveaux noms et les nouvelles unités linguistiques des théories et des découvertes du domaine scientifique spécialisé. Le rapport entre le segment glosé et le segment glossateur constitue le nœud sémantique et discursif qui relie le processus de vulgarisation à partir des discours de spécialisation jusqu'à la reformulation. Les discours de vulgarisation scientifique représentent le lieu de circulation entre des discours sources produits par les spécialistes d'un domaine spécialisé et des discours d'écriture seconde élaborés par les vulgarisateurs pour la diffusion du savoir au grand public. Les discours de vulgarisation, étudiés dans leurs structures syntaxiques, montrent des marques récurrentes qui sont à l'origine de la reformulation comme l'apposition et l'épithète détachée, la proposition relative, qui appellent à leur tour certaines signes de ponctuation (la virgule, les parenthèses), et de connecteurs (*c'est-à-dire* et *ou*).

En particulier, les séquences glosées et leurs gloses se développent à partir de ces marques : les séquences glosées apparaissent comme des mots-clés qui sont à la base du vocabulaire spécialisé du domaine et leurs gloses proposent une explication des mots spécialisés employés dans le discours qui vise à définir le mot inconnu.

Dans les discours de vulgarisation, la glose naît à cause du besoin de vulgariser la science pour la diffusion des connaissances et d'expliquer les terminologies spécialisées : en fait, elle permet d'établir une comparaison sémantique entre les mots mis en coréférence dans les discours et de cette façon, le vulgarisateur est en mesure de formuler une glose pour réfléchir sur le terme spécialisé, afin de produire une traduction des mots-clés du domaine spécialisé. Certaines gloses peuvent être soulignées typographiquement par les virgules, des parenthèses ou des tirets, elles peuvent aussi quitter la linéarité du discours en empruntant le régime de la note.

Dans le discours, la glose est toujours associée à une base et elles forment ensemble un « couplage », comme l'explique J. Authier-Revuz :

Les structures de 'couplage' de deux formulations constituent un ensemble particulier, par opposition à des caractérisations positives d'un élément X [...] le constituant en « manière de dire » c'est

le jeu différentiel de deux éléments associés, qui est susceptible de les constituer en manière de dire, relativisées, chacune par la coprésence de l'autre¹⁵⁵.

Quand les gloses apparaissent dans les discours de vulgarisation scientifique, les termes spécialisés et mots vulgarisés sont comparés sur le plan énonciatif et sémantique afin de constituer un vocabulaire à la portée de tous qui favorise la circulation du savoir. Dans une situation de « couplage », le vulgarisateur explicite le concept présent dans le discours spécialisé avec ses propres mots en prenant en considération deux facteurs extérieurs : le discours source et ses termes spécialisés. De cette façon, le lecteur est en mesure d'apprendre le concept grâce à des mots d'usage courant dans la sphère discursive de la vulgarisation, comme affirme J. Authier-Revuz :

Entre ces deux pôles de nomination, intérieur et extérieur, ce sont des trajets orientés que l'on observe [...], trajet centripète, de l'extérieur vers l'intérieur, consistant à traduire le mot étranger, venu de l'ailleurs discursif, par un mot homogène au discours en train de se faire, ou trajets centrifuges, de l'intérieur vers l'extérieur, qui ajoute, comme une excursion en territoire étranger, une fois la nomination assurée à l'intérieur¹⁵⁶.

Les opérations menées par le vulgarisateur visent à combiner la glose explicative reprise par le terme spécialisé ou la présentation première du terme spécialisé, qui est ensuite objet d'une reformulation.

En conclusion, les gloses apparaissent comme le lieu de contact entre deux discours : le discours du scientifique caractérisé par les mots qui appartiennent aux terminologies spécialisées, et le discours du vulgarisateur, qui à travers les périphrases et les gloses définitionnelles souligne sa connaissance des discours sources et sa compétence linguistique en matière de vulgarisation, grâce à laquelle il emploie la glose pour un retour sur les termes spécialisés et sur le vocabulaire d'une discipline spécialisée.

¹⁵⁵ Authier-Revuz J., « L'auto-représentation du dire dans certaines formes de 'couplage' », DRLAV 36-37, Université Paris VIII, 1987, pp. 55-103.

¹⁵⁶ Authier-Revuz J., « Deux mots pour une chose : trajets de non-coïncidence », Répétition, altération, reformulation, Besançon, Presses Universitaires Franc-Comtoises, 2000, pp. 37-61.

Chapitre III

La traduction scientifique

1. Les définitions de traduction

Les définitions qui concernent la traduction sont nombreuses. *Le Grand Larousse Encyclopédique* définit comme suit la traduction : « action de traduire, de transposer dans une autre langue » et aussi « résultat de l'action de traduire ; ouvrage qui en reproduit un autre dans une langue différente ». *Le Grand Robert* définit la traduction comme « action, manière de traduire », mais aussi comme « texte ou ouvrage donnant dans une autre langue l'équivalent du texte original qu'on a traduit ». Une autre définition de traduction a été élaborée par Taber et Nida, qui déclarent : « la traduction consiste à reproduire dans la langue réceptrice le message de la langue source au moyen de l'équivalent le plus proche et le plus naturel, d'abord en ce qui concerne le sens, ensuite en ce qui concerne le style »¹⁵⁷.

G. Folena affirme que le processus de traduction est une pratique qui trouve ses bases :

Sull'arbitrarietà e sulla bipolarità del segno linguistico [...] nel senso che solo il significato è transmissibile in lingue e [...] in sistemi semiotici diversi mediante nuovi significati, in base al principio di non equivalenza delle singole unità costitutive, e della equivalenza complessiva dei messaggi [...] nei codici diversi¹⁵⁸.

Toutes ces définitions sont axées sur les langues, et considèrent la traduction comme une façon de déchiffrer un code linguistique qui sera converti en un autre, selon des correspondances préétablies, mais l'action du traduire est à considérer selon une perspective plus étendue, comme le résultat d'une création qui est permanente, un traitement d'information qui implique une succession de prises de décision.

1.1. Les définitions de traduction scientifique

La traduction scientifique ou technique est généralisée par la définition de « traduction pragmatique » introduite par Casagrande, qui souligne la différence entre la traduction scientifique et traduction littéraire et affirme « to refer to translation where the purpose is to translate a message as efficiently and as accurately as possible and

¹⁵⁷ Taber C. R., Nida E. A., *La traduction : théorie et méthode*, Londres, Alliance biblique universelle, 1971, p. 11, cité dans Taber C. R., « Traduire le sens, traduire le style », *Langages*, n°28, 1972, pp. 55-63.

¹⁵⁸ Folena G., *Volgarizzare e tradurre*, Torino, PBE, 1991 et 1994.

where the emphasis is on the content of the message as opposed to its aesthetic or literary form »¹⁵⁹.

La traduction spécialisée est définie comme « scientifique » ou « technique » quand le domaine d'intérêt est celui des textes de nature technique, technologique ou scientifique qui disposent d'un contenu technique, d'un langage spécialisé et différent du langage courant. Les textes sources de nature scientifique sont produits par les spécialistes en langues de spécialité et le traducteur doit mener une recherche non seulement terminologique, mais aussi documentaire, afin d'avoir des informations sur le sujet traité, et pour être en mesure de relever les emplois du langage spécialisé. En particulier, le traducteur technique apprend que la langue de spécialité est caractérisée par un vocabulaire technique avec des désignations propres au domaine, par des tournures particulières dans la syntaxe, des collocations plus ou moins figées et par des notions qui sont un obstacle pour la compréhension du lecteur profane.

Un des premiers guides à la traduction scientifique et aux textes techniques a été l'œuvre de Jumpelt, *Die Übersetzung naturwissenschaftlicher und technischer Literatur*, qui promeut les règles de base suivantes : la simplicité, la clarté et la précision. D'après la conception de traduction de Jumpelt, « a translation should be read like a text on the same subject written originally in the target language; stylistic choices are determined by the target language and purpose of the translation and they are independent of the source text »¹⁶⁰. En outre, la notion d'équivalence est utilisée comme critère pour établir la correspondance entre le texte source et le texte cible, mais elle est dépendante du contexte et de la situation. Les considérations de Jumpelt incluent le style de l'écriture scientifique ou technique, l'établissement de la hiérarchie des concepts dans le texte source, les destinataires et l'objectif du texte, les notions d'équivalence, d'adaptation, de précision comme paramètres de qualité, les processus de simplification et d'explicitation, le rôle de la typologie du texte et les conventions du genre, l'inégalité entre le degré de la traduction scientifique et le manque d'attention qu'elle reçoit dans la discipline académique.

¹⁵⁹ Casagrande J. B., « The ends of translation », *International Journal of American Linguistics*, 1954, vol. 20, n°4, pp.335-340, cité dans *Routledge Encyclopedia of Translation Studies*, deuxième édition éditée par Baker M. et Saldanha G., 2009, Olohan M., section « Scientific and technical translation », p. 246.

¹⁶⁰ Jumpelt R. W., *Die Übersetzung naturwissenschaftlicher und technischer Literatur*, Berlin, Langenscheidt, 1961, p. 171, cité dans *Routledge Encyclopedia of Translation Studies*, op. cit., deuxième éd., Olohan M., section « Scientific and technical translation », pp. 247-248.

1.2. Les facteurs à garder qui conditionnent l'exercice de la traduction scientifique

1.2.1. Les facteurs extratextuels

Après une première évaluation globale du texte à traduire et de la situation communicative dans laquelle s'introduit la traduction, le traducteur technique prend en considération des facteurs extratextuels comme : 1) le destinataire (qui ?), 2) son intention (pour quelle raison ?), 3) le destinataire (à qui ?), 4) le canal ou le contact à travers lequel le texte est transmis (comment ?), 5) le lieu (où ?), 6) le moment (quand), 7) la raison (pourquoi ?) de la communication. L'ensemble d'informations obtenues à travers ces sept facteurs constitue la réponse à la question touchant à la fonction, qui est le huitième facteur extratextuel.

Le premier facteur extratextuel concerne qui est le destinataire du texte source et du texte cible ; le deuxième facteur est l'intention du destinataire d'informer et de sensibiliser les lecteurs ; le troisième facteur concerne le destinataire du texte source et du texte cible qui est accessible au niveau de la terminologie ; le quatrième facteur est le canal ou le contact à travers lequel le texte est transmis, comme par exemple un texte diffusé dans un manuel, une revue ou un site web, dont le traducteur doit tenir compte des limitations du format et de la quantité de mots ; le cinquième facteur est le lieu de publication du texte qui sera disponible et consulté par les lecteurs ; le sixième facteur concerne le moment de publication du texte, donc le moment à partir duquel le texte sera consultable et accessible ; le septième facteur concerne le but principal du texte, qui est celui d'informer le public et de susciter un intérêt relatif au domaine scientifique spécialisé ; le huitième facteur conclusif est la fonction du texte, qui est d'abord celle d'informer les destinataires sur les développements et les recherches de la science et ensuite celle de sensibiliser et d'attirer l'attention des lecteurs dans le but de partager et de diffuser le savoir scientifique.

Les facteurs intra-textuels du texte concernent le sujet scientifique ou technique traité et le contenu cognitif, le vocabulaire spécialisé de la terminologie du domaine, le niveau présumé par l'auteur spécialiste du domaine à propos des connaissances spécifiques. Les éléments péri-textuels rassemblent les éléments non linguistiques ou para-linguistiques qui accompagnent le texte, comme par exemple les tableaux et les figures. Les éléments proprement textuels concernent la structure du texte, les caractéristiques

lexicales du registre linguistique formel et les terminologies spécifiques, les calques et les emprunts, enfin la syntaxe propre au texte scientifique.

1.2.2. Les facteurs sémantiques

Le terme *sémantique* désigne l'étude de la fonction du signifié du mot dans le langage. Deux typologies de signification sont distinguées : la signification dénotative, c'est-à-dire le sens descriptif de base partagé et accepté par la majorité des locuteurs ; la signification connotative qui est constitué par des valeurs émotives, des associations évoquées par un mot comme par exemple des impressions, des suggestions qui varient de personne à personne.

Les facteurs sémantiques qui conditionnent l'exercice de la traduction et qui demandent une attention particulière sont : 1) le changement sémantique, 2) la polysémie, 3) l'homonymie, 4) l'antonymie, 5) la synonymie, 6) l'intensité, 7) la collocation, 8) l'inclusion, 9) la connotation, 10) les figures rhétoriques.

Le changement sémantique est déterminé par la polysémie, la métaphore, la métonymie, la synecdoque et par des procédés à la base du changement de signifié. En particulier, le rétrécissement et l'élargissement de sens sont analogues à la synecdoque : par exemple, l'adjectif *fatal* à l'origine avait la signification de « soumission à l'accomplissement du destin », mais sa signification courante est « qui entraîne la mort ». Le rétrécissement de sens comporte le passage d'un hypéronyme à un hyponyme, cependant que l'élargissement de sens permet le passage d'un hyponyme à un hypéronyme. Le rétrécissement et l'élargissement de sens sont des changements sémantiques basés sur le rapport entre significations, mais il y a aussi des changements liés à des facteurs formels et sociaux qui concernent le signifiant : premièrement, l'ellipse qui comporte une réduction de la combinaison habituelle des mots comme *la ville capitale* devient *la capitale* ; deuxièmement, l'étymologie populaire, une pseudo-étymologie, une substitution d'un mot qui est peu connu ou peu clair par un autre plus commun qui a des similarités du point de vue phonologique comme par exemple le terme latin *villānus* « habitant de la campagne, un paysan » a été mis en rapport avec *vilem* « de faible valeur » et le résultat de cette rencontre donne *vilain* qui a une signification qui désigne une personne vulgaire, grossière et malhonnête. Les facteurs sociaux sont dus à

l'amélioration et à la dégradation du sens comme le terme *artiste* qui chez Dante a une signification d'artisan, mais sa signification courante est un créateur d'œuvres d'art.

La polysémie se présente quand un signe peut avoir plusieurs signifiés et ce phénomène peut avoir un caractère temporaire ou permanent. Un mot est spécialisé quand il peut acquérir une signification particulière dans un emploi déterminé, par exemple : le mot *campagne* signifie *campagne militaire* pour un soldat, dans le domaine de la publicité il y a la *campagne publicitaire* ; dans le contexte politique, on parle de *campagne électorale* ; enfin, en agriculture la *campagne* est l'espace des champs cultivés. Le langage figuré donne au mot des nouvelles significations, par exemple dans les expressions : boire un verre, le pied de la table, le bras de la rivière. La polysémie peut fonctionner aussi au niveau de l'opposition entre la signification concrète ou abstraite, par exemple « J'ai écrit une poésie » // « La poésie est un genre littéraire ». Quand un mot est polysémique, il peut devenir source d'ambiguïtés, mais pour éviter les incertitudes interprétatives, les moyens grammaticaux peuvent différencier les sens comme par exemple les formes doubles du pluriel comme aïeux//aïeuls, ciels//cieux, œils//yeux, travaux//travaux, les formes du genre comme la radio//le radio. Enfin, la polysémie est un mécanisme fondamental pour le fonctionnement de la langue : elle est en accord avec les règles de l'économie et de l'efficacité linguistique.

L'homonymie consiste en la même prononciation ou la même forme graphique de deux mots, mais qui ont un sens différent : *compte* s'écrit et se prononce de la même manière, mais il a deux catégories lexicales différentes dans les exemples « Il *compte* son argent » et « Le *compte* en banque », ou des homophones qui sont des mots qui ont la même prononciation, mais différent par leur graphie et leur sens, comme par exemple *fois, foie, foi* et la ville de *Foix*, ou *mère, maire, mer* ou *vin, vingt, vent*, ou *verre, vers, vert, ver* ; ou des homographes qui présentent la même graphie et la même prononciation comme par exemple *livre* : la conjugaison du verbe livrer, le livre qui est l'objet, la livre qui est l'unité de masse, en livre qui est la monnaie.

L'antonymie est le rapport qui s'instaure un rapport entre les mots qui ont un sens opposé entre eux et elle constitue un aspect fondamental pour le fonctionnement de la langue. Il y a deux typologies principales : le contraire, comme par exemple *bas//haut*, et le contradictoire *haut//pas haut*. Il y a les contraires gradables qui expriment un degré intermédiaire de la qualité comme par exemple plus *haut//moins haut* ;

d'autres ne sont pas gradables, c'est-à-dire la négation d'un mot du couple implique l'affirmation de l'autre terme : par exemple *vivant* implique *pas mort*. Les couples des antonymes les plus fréquents sont relatifs aux rapports dans l'espace : par exemple *sur//sous*, *avant//arrière*, aux qualités physiques comme *haut//bas*, *large//étroit*, aux catégories morales et esthétiques comme *bien//mal*, *beau//mauvais*, *bon//mauvais*.

La synonymie donne la possibilité d'emploi des mots qui ont le même sens fondamental. Il y a deux catégories de synonymie : les synonymes absolus et les synonymes partiels. Les synonymes absolus sont deux termes techniques comme le terme *lion* dans la langue commune et le terme *felis leo* de la nomenclature scientifique. La plupart des synonymes suivent la typologie partielle. Les termes sont synonymes : dans des contextes déterminés, comme par exemple les verbes *habiter/vivre* ; les couples des mots modernes et anciens comme *fil/progéniture*, *femme/épouse* ; les couples des mots appartenant à la langue commune ou au langage spécialisé *mal à la tête/migraine*.

L'intensité d'un mot est exprimée par plusieurs intensificateurs comme les adverbess, les suffixes, les mots d'intensité plus élevée ou les expressions « être au septième ciel » et les métaphores. La gradation d'intensité des verbes est possible, comme par exemple : *je l'aime*, *je l'aime à la folie*, *je suis fou amoureux*. L'intensité peut être mesurée dans les degrés les plus bas : une petite quantité de temps est appelée en italien *lampo*, une petite quantité de quelque chose est *velo*, un cout bas est dit *miseria*. L'intensité utilise l'hyperbole pour intensifier et exagérer les caractéristiques de quelque chose ou de quelqu'un. Les cas d'haute intensité comportent l'emploi des collocations comme par exemple avoir *la peur bleue*, *la peau dure*, *la main verte* qui ne permettent pas de changements **la peur dure*, **la peau bleue* ou des graduations d'intensité **la peur plus bleue*, **la peau plus dure* **la main plus verte*.

Dans la langue, les mots peuvent se combiner, mais toutes les combinaisons ne sont pas possibles. Les collocations forment des groupes lexicaux privilégiés et refusent d'autres juxtapositions. Par exemple, le verbe *manger* est accompagné par des aliments solides « manger des pâtes », « manger du poisson », ou des aliments liquides « manger de la soupe ». Le verbe manger est utilisé pour manger d'autres choses comme « manger ses ongles », et dans les expressions « manger la grenouille » (s'appropriier de l'argent d'autrui, pour le dilapider), « manger le diable et ses cornes » (être un gros mangeur), « manger un rat » (Promesse (illusoire) que fait un parieur sûr de son fait).

Les combinaisons habituelles et exclusives sont celles qui concernent l'unité de mesure ou de quantité : un verre de vin, une tasse de thé, une boîte de chocolats, un paquet de sel, un sac de farine.

L'inclusion est déterminée par les groupes d'hyperonymes et d'hyponymes d'un même mot qui constituent la hiérarchie d'un champ sémantique homogène, partant d'un terme générique pour arriver à un mot de plus en plus spécifique et spécialisé. Comme par exemple *automobile* est hyponyme de *voiture* qui peut signifier aussi *bus*, *autocar*, *voiture ferroviaire*, en outre *voiture* est hyponyme de *véhicule* tout comme *vélo*, *camion*, *moto*.

La connotation est un aspect de la langue qui concerne les évaluations, les opinions et les émotions suscitées chez l'individu qui les choisit dans son discours. Par exemple, l'adjectif *courageux* a une évaluation positive, mais l'adjectif *téméraire* qui évoque la même disposition de caractère, possède en revanche une évaluation négative de « *trop courageux* ». La connotation se déploie dans une sphère dont les marges ne sont pas définies : de cette façon, un même mot peut acquérir différentes connotations en accord avec les valeurs de l'individu qui les utilise dans son discours et celles du récepteur.

Les figures de rhétorique, qui caractérisent le discours et qui demandent une attention particulière au traducteur, peuvent être classifiées selon six catégories : les figures de l'analogie, les figures de la substitution, les figures de l'opposition, les figures de l'omission, les figures de l'amplification et de l'insistance, les figures diverses. Dans la première catégorie, les figures de l'analogie sont : la comparaison, la métaphore, l'allégorie, la personnification et le symbole. Dans la deuxième catégorie, les figures de la substitution sont : la métonymie, la synecdoque, la périphrase, l'antiphrase, la litote et l'euphémisme. Dans la troisième catégorie, les figures de l'opposition sont l'antithèse, l'oxymore et le chiasme. Dans la quatrième catégorie, les figures de l'omission sont : l'ellipse et la prétérition. Dans la cinquième catégorie, les figures de l'amplification et de l'insistance sont : l'hyperbole, la gradation et l'anaphore. Enfin, les figures diverses sont : l'acrostiche, l'allitération, l'anacoluthie, l'antanaclase, l'antonomase, l'asyndète, la catachrèse, l'hypallage, l'hyperbate, l'hypotypose, l'onomatopée, la parataxe, la paronomase, la prosopopée, les tropes, le zeugme.

1.2.3. Les facteurs syntaxiques

Le dernier groupe des facteurs que le traducteur doit considérer est d'ordre syntaxique. En fait, les fonctions, internes à la syntaxe, concernent le rôle que les syntagmes assument dans la structure séquentielle de l'énoncé. Les syntagmes nominaux ont la valence de sujet ou de complément d'objet direct ; les syntagmes prépositionnels ont la valeur de complément d'objet indirect ; les syntagmes verbaux ont la valence de prédicat.

Les valences verbales concernent les positions syntaxiques qu'elles impliquent, par exemple les verbes *naître*, *courir* et *mourir* sont monovalents, parce qu'ils impliquent seulement quelqu'un qui naît, court, meurt ; les verbes *habiter*, *louer* sont bivalents ; *donner*, *dire*, *dédier* sont trivalents, *pleuvoir* et *grêler* ont valence zéro. À la base de la notion de valence, il est possible de définir les fonctions syntaxiques : le sujet est défini comme première valence, l'objet comme deuxième valence, l'objet indirect comme troisième valence.

Les circonstanciels sont les éléments qui ne sont pas directement impliqués dans la signification du verbe, mais qui appartiennent à l'ensemble des événements sur lesquels s'ajoutent les informations. En outre, les circonstanciels ne font pas partie de la valence du verbe, mais ils ont la fonction de modificateurs de temps, de moyen et de lieu. Enfin, les facteurs syntaxiques portent les marques du cas comme par exemple en allemand, en latin ou en russe, mais aussi les marques de l'accord de genre masculin et féminin, et l'accord de nombre singulier et pluriel.

1.3. Les conditions d'exercice du traducteur du domaine scientifique

1.3.1. Le rôle du traducteur et ses compétences

La traduction n'est pas seulement une opération qui va au-delà de la connaissance de la langue source et de la langue cible, mais aussi dans le cas de la traduction spécialisée, le traducteur doit avoir la compétence de la langue de spécialité afférente au domaine du texte à traduire et la capacité de trouver avec efficacité les matériaux qui sont le support de la traduction. En fait, Seleskovitch observait que :

traduire n'est pas seulement affaire de talent et de savoir, mais aussi de méthode. Pour traduire, il faut savoir les langues, chacun en convient, et il faut savoir les choses, mais ces savoirs ne sont encore que des préalables tant que n'est pas acquise la méthode qui fait de la traduction un acte de

création, [...]. Création d'équivalences de textes, alors que les savoirs à eux seuls permettent tout juste de juxtaposer des correspondances préétablies¹⁶¹.

En outre, Darbelnet affirme que :

[...] la traduction apparaît évidemment comme une technique qui s'apprend et non comme un art qui nous inspire. Il ne s'ensuit pas cependant qu'à côté des procédés à acquérir méthodiquement, il n'y ait pas de place pour l'exercice du jugement du goût. L'esprit de finesse n'est pas interdit au traducteur même spécialisé¹⁶².

À ce propos, il est évident que les compétences du traducteur sont le point de départ pour le processus de traduction. Selon Halliday, la compétence linguistique ne peut pas se limiter à l'acquisition de la terminologie, qui représente une majeure probabilité de correspondance biunivoque en traduction, mais elle doit s'étendre jusqu'à la morphosyntaxe, au lexique et aux aspects textuels, où la correspondance biunivoque n'existe pas. En particulier, selon Hicks et Valorie, le traducteur spécialisé est comme un communicateur technique qui :

must be able to interpret technical and scientific data, such as blueprints, diagrams, charts, engineering reports, and specifications for material, equipment, publications, etc. Must know research methods and techniques. Must be able to plan and organize manuscript in accordance with the requirements of specified media. Must have a comprehensive knowledge of good grammar and punctuation and be able to write clear and concise descriptive and instructional material. Must know illustration techniques and publication production methods and practices. Must have a general knowledge of the basic sciences and specialized training or experience in technical area in which he or she is writing, i.e. aeronautics, agriculture, electronics, chemistry, mechanics, etc¹⁶³.

L'ensemble des compétences linguistiques, spécialisées et textuelles constituent l'outil du traducteur qui, selon Wilss, est fondé sur le savoir (« knowledge »), c'est-à-dire les informations qu'il est en mesure d'acquérir, de mémoriser et d'utiliser pour accomplir le processus traductif. À l'outil du savoir « général » organisé de façon schématique, et du savoir « épisodique » non schématique, Wilss oppose un autre outil du traducteur, celui des « habilités » (« skills ») qui concernent toute typologie d'expérience activée pendant la traduction. Les outils du traducteur sont finalisés à sa capacité globale de savoir reformuler le texte à partir de la langue source, pour arriver à la langue cible.

¹⁶¹ Seleskovitch D., *Actes du Congrès*, XII Congrès de la F.I.T. à Belgrade en août 1990, p. 19, cité dans l'article de Cammaert G., « Traducteur-spécialiste ou spécialiste-traducteur ? », *Équivalences*, 23e année n°2, 1993, pp. 49-54.

¹⁶² Darbelnet J., *Actes du Congrès*, Congrès de Varsovie, « La mission du traducteur aujourd'hui et demain, 1981, p. 264, cité dans l'article de Cammaert G., *op.cit.*

¹⁶³ Hicks T.G. et Valorie SR. C.M., *Handbook of Effective Technical Communications*, McGraw-Hill, New York, 1989, p. 1.7, cité dans Scarpa F, *La traduzione specializzata: lingue speciali e mediazione linguistica*, Milano, Hoepli, 2001, p.189.

Dans une vision d'ensemble, la compétence du traducteur est celle d'une parfaite maîtrise des deux langues : d'abord une connaissance au niveau grammatical, lexical et rhétorique représentant la compétence linguistique, qui permet ensuite au traducteur de lire le texte source pour comprendre le contenu sémantique-informatif et l'intention présente dans le texte, afin de développer sa compétence contextuelle, enfin, rejoindre leur reconstitution dans un « paradigme potentiel homologue » dans la langue cible.

Taylor Torsello¹⁶⁴ pose l'attention sur la traduction comme opération linguistique, dont la connaissance grammaticale fonctionnelle est fondamentale, afin que le traducteur soit en mesure de comprendre la signification potentielle du texte source et de transmettre ce potentiel dans la langue cible. Hatim et Mason¹⁶⁵ affirment que la compétence textuelle est importante pour le traducteur, qui consiste en la capacité d'établir un lien entre le texte et le contexte et enfin d'incorporer les résultats au niveau des stratégies traductives utilisées.

Vermeer souligne que la compétence linguistique est une compétence culturelle, c'est-à-dire la capacité du traducteur à considérer les circonstances qui conditionnent le passage de la culture de départ à celle d'arrivée : son rôle de spécialiste de deux cultures lui donne la possibilité de décision sur les circonstances culturelles pour obtenir un texte cible plus proche du *skopos* de la traduction.

La compétence traductive, selon Neubert, est hétérogène parce qu'elle comprend les compétences linguistiques, spécialisées et la capacité de reformulation. Hönig affirme que la capacité de reformulation comprend une compétence traductive innée, grâce à laquelle le traducteur utilise des micro-stratégies pour l'application automatique des règles syntaxiques et lexicales ; une compétence traductionnelle « générale », macro-stratégique et acquise qui consiste en des procédures qui dérivent du rôle social, culturel et communicatif du traducteur, qui lui permettent d'activer des stratégies traductives analytiques pour résoudre les problèmes micro-textuels de traduction.

Enfin, les compétences du traducteur spécialisé sont représentées par : premièrement, une composante culturelle qui fait référence au savoir linguistique et spécialisé

¹⁶⁴ Taylor Torsello C., « Grammatica e traduzione », *Tradurre i linguaggi settoriali*, Cortese G. (a cura di), Cortina, Torino, pp. 87-119, cité dans Scarpa F., *op. cit.*, p.189.

¹⁶⁵ Hatim B. et Mason I., *The Translator as Communicator*, Routledge, London/New York, 1997, p. 205, cité dans Scarpa F., *op. cit.*, p.189.

dans la langue source et celle cible, c'est-à-dire la capacité de comprendre les langues de spécialité, la connaissance des règles des genres spécialisés et leurs emplois dans les objectifs communicatifs ; deuxièmement, une composante procédurale liée aux habilités impliquées aux procédures traductives, qui permet une capacité de résoudre les problèmes de traduction et de reformulation, afin d'obtenir une traduction apte à la situation spécifique de la communication ; troisièmement, une composante métacognitive qui constitue d'abord une compétence en perspective du texte cible pour identifier les problèmes pendant la lecture du texte et prévoir des stratégies de traduction plus appropriées, et ensuite une compétence en perspective du texte source, qui produit des jugements et évalue la traduction finale du processus traductif ; enfin, une capacité d'examiner les choix effectués par le traducteur avec d'autres spécialistes du domaine.

1.3.2. Les approches du traducteur pour une compréhension globale du texte

Dans la traduction « scientifique » ou « technique », le traducteur ne traduit pas une succession de mots, mais le noyau central est la traduction d'un message dont il a auparavant appréhendé le sens dans sa globalité. En outre, la traduction du sens de l'énoncé est à considérer comme une méthode de transcodage prise dans sa globalité et non comme une somme partielle des significations des mots.

Pour Newmark, le paradoxe de la traduction est le suivant :

A translation has to be understood even if the original isn't, or if the original can only be guessed. The translator has to work out an interpretation (even if it is a guess) of the original as a basis for his version¹⁶⁶,

Le traducteur doit posséder non seulement la compétence traductionnelle mais aussi les connaissances spécialisées pour mieux comprendre les informations techniques qui sont présentes dans le texte source et les reformuler dans le texte cible. Toutefois, dans le contexte professionnel, le traducteur spécialisé a souvent des difficultés dans la compréhension des contenus du texte parce qu'il n'est pas le spécialiste du domaine auquel appartient le texte spécialiste. La notion de compétence linguistique sur la connaissance disciplinaire du traducteur a mené à la naissance de deux conceptions en opposition : d'un côté, la position « cognitiviste », selon laquelle la connaissance disciplinaire est une condition préalable essentielle dans la communication spécialisée ; de l'autre côté,

¹⁶⁶ Newmark P., « Paragraphs on Translation - 34 », *The Linguist*, XXXIII, 6, pp. 214-218.

la position « structuraliste », dans laquelle l'indépendance de la composante linguistique est marquée par rapport à la composante scientifique-factuelle.

Dans le cadre cognitiviste, la position du traducteur est celle du « spécialiste-traducteur », c'est-à-dire un expert du sujet du domaine disciplinaire qui possède la compétence linguistique. Selon cette conception, seulement un traducteur qui possède une excellente maîtrise des contenus de la terminologie est en mesure de rejoindre une traduction précise et appropriée d'un texte technique.

Dans le cadre « structuraliste », le traducteur peut ne pas avoir aucune connaissance spécifique d'un domaine spécialisé, mais il est en mesure de traduire parfaitement un texte technique, quand il possède des outils terminographiques, une bonne maîtrise linguistique et extralinguistique et quand il consulte un spécialiste du domaine. La seule condition de la position structuraliste prévoit la prédilection du traducteur pour le sens comme un philologue et pas pour les notions comme un spécialiste pluridisciplinaire.

La troisième position, intermédiaire par rapport entre structuralisme et cognitivisme est focalisée sur la figure du « traducteur spécialisé », selon laquelle une traduction spécialisée destinée aux spécialistes d'un domaine d'une culture cible peut être produite par un traducteur qui possède une compétence non seulement linguistique, mais aussi disciplinaire afin de posséder une spécialisation d'un domaine déterminé.

1.3.3. La conception de « traduction spécialisée »

La traduction spécialisée s'appuie sur une étude de la langue de spécialité et de la terminologie du domaine, une recherche documentaire et la compréhension du texte acquise au préalable. En particulier, la recherche documentaire est approfondie et orientée en fonction du contenu du texte scientifique à traduire pour des destinataires qui sont des spécialistes du même domaine. Pour cette raison, le traducteur qui dispose d'une documentation sérieuse et encyclopédique est en mesure de comprendre le sujet traité et d'avoir plus d'aisance à propos de la langue de spécialité afférente ; pour ce qui concerne la recherche de la terminologie technique, le traducteur cherche « à cerner le champ sémantique du terme dans la langue de départ, afin d'appréhender pleinement l'idée qu'il véhicule¹⁶⁷ ». De plus, le lien entre le spécialiste et le traducteur constitue un

¹⁶⁷ Durieux C., *Fondement didactique de la traduction technique*, Collection "Traductologie", n° 3, Didier érudition, 1988.

dialogue constructif grâce auquel le traducteur non seulement recherche les équivalences linguistiques, mais aussi maîtrise la langue pour la compréhension technique du domaine.

1.3.4. Les rapports entre les sous-systèmes conceptuels d'un domaine spécialisé

Dans la traduction d'un texte de domaine spécialisé, le rapport de commensurabilité entre deux sous-systèmes conceptuels relatifs à un domaine spécialisé est défini selon cinq critères cités par G. Lakoff¹⁶⁸ : 1) chaque langue peut être traduite dans une autre phrase par phrase, en préservant les conditions de vérité (critère basé sur le traduisible) ; 2) deux systèmes peuvent être compris par le même sujet en vertu de la structure pré-conceptuelle des expériences et des habiletés de conceptualisation (critère de la compréhension) ; 3) deux systèmes utilisent les mêmes concepts et la même façon (critère whorfien de « l'usage ») ; 4) deux systèmes encadrent les concepts dans les mêmes cadres conceptuels (*frames*, d'où critère du « framing ») ; 5) deux systèmes utilisent les mêmes concepts et les organisent dans des structures analogues (critère de l'organisation). Selon la position théorique représentée par la conception universaliste de H.G. Widdowson, le rapport de quasi-commensurabilité entre deux sous-systèmes conceptuels relatifs à un domaine spécialisé est l'idéal auquel tend l'activité traductive spécialisée. Toutefois, G. Cortese observe que :

L'ipotesi che identifica nel cosiddetto metodo scientifico un modo di procedere universalmente valido e quindi categorie e processi di pensiero e scritture identici per le varie culture è in realtà contraddetta da studi contrastivi: nella loro versione per così dire forte [...] questi studi ascrivono a culture diverse procedure di pensiero e quindi modelli di pensiero diversi, e nella loro versione debole si limitano a osservare che analoghe procedure in analoga disciplina generano retoriche diverse in lingue diverse¹⁶⁹.

Entre autres, les textes en langues étrangères peuvent être plus ou moins équivalents pour le traducteur aux différents niveaux linguistiques (sémantique, syntaxique, stylistique, pragmatique et fonctionnel), au segment textuel considéré (mot, syntagme, phrase, paragraphe, texte) et au genre du texte qui est traduit.

¹⁶⁸ Lakoff G., *Women, Fire and Dangerous Things: What Categories Reveal About the Mind*, The Chicago/London, University of Chicago Press, 1987, p. 322.

¹⁶⁹ Cortese G., "Comunicazione scientifica e problemi di apprendimento: dalla L1 alla L2", in Atti del convegno *Lingue straniere per scopi speciali* (Roma, 20-21 ottobre 1986), I. Gutia (a cura di), Istituto di Lingue Straniere, Facoltà di Scienze Politiche, Università degli studi di Roma "La Sapienza", Roma, 1987, pp.122-123.

En conclusion, pour le traducteur d'un texte d'un domaine spécialisé ou technique, la notion d'équivalence traductive peut être définie comme la correspondance sémantique maximale, fonctionnelle et socioculturelle obtenue entre le texte cible et le texte source, en considérant la spécificité de la situation communicative de traduction qui a comme destinataires des spécialistes.

1.4. Les enjeux de la traduction scientifique

La traduction scientifique ne manque pas de créativité parce que la nouvelle tendance à une image de science moins aseptique et impersonnelle est accompagnée de nouvelles traditions expressives qui sont le produit du traducteur et de sa créativité. La traduction comporte un effort d'élaboration de la part du traducteur, afin de rédiger un texte compréhensible, clair et rigoureux à la lecture effectuée par les destinataires. Dans la phase de préparation de la traduction, le traducteur lit attentivement le texte source afin de comprendre tout le sens potentiel, d'identifier les problèmes de la traduction liés à la reformulation, mais aussi au niveau terminologique, de choisir les stratégies appropriées pour les résoudre et pour adapter le texte cible à la nouvelle situation de communication¹⁷⁰.

Pour les langues de spécialité, la lecture du texte scientifique orientée vers sa traduction consiste en trois étapes : d'abord, une première lecture globale qui définit l'objectif, la typologie textuelle et l'articulation principale ; ensuite, une lecture intensive qui identifie les informations qui doivent être traduites ; enfin, une analyse orientée vers la traduction qui considère les questions problématiques et vise à les résoudre. Les procédures traductives des textes scientifiques sont orientées vers les destinataires et vers la fonction de la traduction où les variations concernent seulement les aspects formels du texte et elles ne comportent pas de pertes ou de distorsions des informations contenues dans le texte source.

Le focus primaire du traducteur scientifique n'est pas la « fidélité » stylistique au texte source, mais la reproduction intégrale des informations contenues dans le texte source et leur adaptation aux règles et conventions rédactionnelles de la langue cible. Pour cette raison, le traducteur doit être un expert des habitudes et des croyances qui ca-

¹⁷⁰ Scarpa F., *op.cit.*

ractérisent les deux cultures ; toutefois, il doit être conscient des limites qui d'un côté influencent la cognition et de l'autre, sont culturellement partagées.

En particulier, un aspect que le traducteur ne doit pas sous-évaluer est la responsabilité à propos des fautes dans la traduction du contenu cognitif qui peuvent avoir des conséquences graves dans un texte technique. En outre, sa responsabilité est divisée entre le texte source et les destinataires du texte cible, qui sont un groupe socioprofessionnel bien défini et qui ont aussi des attentes à propos des conditions rédactionnelles. Dans ce genre de traduction spécialisée, l'acceptation du texte cible est liée à sa transparence et à sa précision, à son adhérence aux normes et aux conventions intertextuelles de l'écriture spécialisée dans la culture ciblée.

D'autres éléments qui constituent les enjeux pour le traducteur sont : 1) comprendre le sens du texte dans son contexte socioculturel au niveau global et dans ses contenus ; 2) identifier les caractéristiques inter-, intra- et extratextuelles au niveau de la typologie textuelle, de l'intention communicative, du registre, du degré de formalité et du degré de spécialisation des destinataires ; 3) reconnaître et évaluer les traits discursifs du texte et leurs objectifs communicatifs qui sont reproduits dans le texte cible ; 4) identifier les segments textuels qui causent des problèmes pendant la reformulation ; 5) planifier les stratégies aptes à résoudre les problèmes de traduction et adapter le texte cible à une nouvelle situation communicative. L'identification et la résolution des problèmes de traduction liés à la compréhension du sens dans le texte source et sa reformulation dans le texte cible sont l'objectif du traducteur, comme l'affirme Newmark : « the heart of translation theory is translation problems [...]; translation theory broadly consists of, and can be defined as, a large number of generalisations of translation problems »¹⁷¹.

Dans la traduction spécialisée, les problèmes traductionnels peuvent être divisés en deux catégories : les « problèmes pragmatiques et culturels » et les « problèmes linguistiques ». Les « problèmes pragmatiques et culturels » sont liés aux variations de la situation communicative entre le texte source et le texte cible, comme par exemple la diversité des destinataires, le canal de communication ou l'intention communicative ; la diversité entre normes et conventions acceptées dans le domaine spécialisé et de ses genres discursifs spécifiques dans la langue source et dans la langue cible. Parmi les

¹⁷¹ Newmark P., *A Textbook of Translation*, London, Prentice Hall, 1988, p. 21.

problèmes culturels apparaissent les difficultés de traduction liées aux termes propres des aspects et des institutions typiques de la culture de départ et qui demandent une adaptation à la langue cible.

Les problèmes linguistiques sont liés au texte spécifique à traduire et aux aspects systématiques des langues utilisées. Les problèmes linguistiques relevés sont de niveau lexical et au niveau morpho-syntaxique. Les problèmes d'ordre lexical sont les « faux amis », les phénomènes de polysémie et les termes ou les expressions qui n'ont pas de correspondants dans la langue cible. Les problèmes linguistiques d'ordre morphosyntaxique peuvent être l'ordre différent des constituants de la phrase et le besoin de spécifier les relations entre les constituants d'un syntagme nominal complexe. Les problèmes cognitifs donnent lieu aux difficultés traductionnelles les plus communes, liées à la nature du texte et à la compréhension qu'a le traducteur du sujet spécialisé à traduire. Dans la traduction de textes scientifiques, les difficultés d'interprétations sont plus grandes, dues à l'interprétation du contenu conceptuel, mais aussi du langage qui présente des difficultés au niveau proprement discursif. Les problèmes cognitifs ne se limitent pas aux segments textuels dont le sens est inconnu et indécidable à partir du contexte, mais ils sont étendus aux mots de la langue commune qui ont une acception différente dans le contexte spécialisé.

En conclusion, le dernier enjeu du traducteur spécialisé est son rôle d'« observateur participant » des modalités de communication internes à la communauté discursive des spécialistes, comme l'affirme Cortese :

Lo specialista di testi capace di accedere a quel campo, appropriandosi di quegli strumenti conoscitivi e comunicativi propri del settore che sono necessari all'espletamento della sua funzione professionale¹⁷².

Le traducteur spécialisé nourrit des intérêts pour l'étude des disciplines technico-scientifiques, mais il n'est pas un spécialiste du domaine parce qu'il n'a pas les connaissances scientifiques ou techniques propres au domaine ; en revanche, il possède la connaissance scientifique et technique de la langue comme véhicule de la communication scientifique, une compétence que le spécialiste n'a pas. Grâce à la considération de la traduction spécialisée comme une activité complexe et non seulement comme une décodification du texte spécialisé source, le profil du traducteur est celui d'un expert multi-

¹⁷² Cortese G., "Intervento del traduttore, tra la realtà e le virtualità del testo", *Tradurre i linguaggi settoriali*, Turin, Cortina, 1996, pp. 237-263, cité dans Scarpa F., *op. cit.*, p.196.

culturel et multilingue doué de la flexibilité nécessaire pour rendre compréhensible et claire la traduction en langue cible.

2. Les définitions de traduction scientifique de vulgarisation

Le Dictionnaire Robert définit la vulgarisation comme « le fait d'adapter un ensemble de connaissances techniques, scientifiques, de manière à les rendre accessibles à un lecteur non spécialisé ». Dans l'encyclopédie en ligne Wikipédia, « la vulgarisation est une forme de diffusion pédagogique des connaissances qui cherche à mettre le savoir (et éventuellement ses limites et ses incertitudes) à la portée d'un public non expert ».

La traduction scientifique de vulgarisation est une activité de médiation entre le monde scientifique et le grand public qui vise à diffuser les connaissances dans les sociétés à travers plusieurs langues. En outre, la vulgarisation scientifique rend accessibles les langages des spécialistes, les contenus des théories et des découvertes qui resteraient autrement incompréhensibles aux lecteurs profanes : pour cette raison, le traducteur spécialisé donne des informations sur des thèmes techniques en utilisant les mots qui appartiennent au registre de la langue commune.

Au niveau de la vulgarisation, la langue est moins formelle et l'emploi de termes techniques est plus rare, mais beaucoup d'éclaircissements et d'illustrations sont présents parce que le destinataire n'est pas exigeant du point de vue terminologique, mais il attend des informations pas trop détaillées, communiquées de façon simple et compréhensible. Dans la communication entre le spécialiste et le profane, M. A. Cortelazzo relève que « l'allontanamento dai tratti tipici delle lingue speciali non riguarda tanto il piano lessicale [...] ma piuttosto il piano testuale »¹⁷³.

Dans les textes de vulgarisation scientifique, l'intention du traducteur est de traduire le message du destinataire spécialiste afin d'augmenter, de confirmer ou de modifier les connaissances du destinataire profane qui est intéressé à un domaine scientifique spécialisé. En particulier, le point de départ est représenté par la connaissance plus approfondie que le traducteur a sur le sujet à traiter et à traduire par rapport à celle du destinataire et l'emploi d'un code conventionnel qui aide le destinataire à se concentrer sur le contenu du message. En conclusion, dans la traduction scientifique de vulgarisation, le traducteur n'est pas seulement un spécialiste technique qui donne des informa-

¹⁷³ Cortelazzo M. A., *Lingue speciali. La dimensione verticale*, Padova, Unipress, 1994.

tions, mais surtout il doit entretenir les lecteurs et les persuader de la véracité des résultats proposés.

2.1. Les conditions d'exercice de la traduction de vulgarisation

Dans le texte de vulgarisation, la flexibilité des passages logico-sémantiques est caractérisée par des phrases courtes, vues comme une précaution afin de briser la monotonie de la lecture et de susciter de plus en plus l'intérêt auprès du grand public. En outre, le style de la vulgarisation est caractérisé par la simplicité et la clarté, sans être banal, pauvre et ennuyeux. Les termes complexes sont évités, au profit d'un vocabulaire quotidien qui contient des mots précis, clairs qui peuvent susciter des images poétiques afin que le vulgarisateur puisse élaborer d'un discours passionnant. Toutefois, un mot simple et clair peut être ambigu dans le contexte, comme par exemple le « plasma gelé » cité par J. Martin peut créer une impression fallacieuse dans l'imaginaire du grand public parce que « [...] la température de ce plasma s'élevait à plusieurs centaines de milliers de degrés et le terme "gelé" qui évoque plutôt quelque chose de froid pour le grand public, était mal choisi [...] »¹⁷⁴.

Les tâches du traducteur en matière de vulgarisation visent à rendre intéressante la science au lecteur, à utiliser les émotions pour guider l'attention du public sur les sujets traités et en faveur d'une science moins neutre, aseptique et objective, à raconter la science en narrant une histoire qui crée des images dans l'esprit du lecteur et qui deviennent des repères cognitifs alliés de la mémoire.

En conclusion, la communication dans la vulgarisation est simple, mais non banale : d'un côté, le langage de la science est technique et spécialisé avec des terminologies complexes et intraduisibles propres du domaine, de l'autre côté, la communication destinée à un public profane a besoin d'un langage partagé qui évite les technicismes à travers l'explication du sens et l'éclaircissement par des analogies plus compréhensibles.

¹⁷⁴ Discours de Martin J., physicien et ancien responsable du journal *Scillation*, cité dans *Vulgarisation scientifique, mode d'emploi* de Michaut C., Les Ulis : Edp science, 2014, p. 84.

2.2. Les enjeux de la traduction scientifique de vulgarisation

Le traducteur de textes de vulgarisation scientifique pense en priorité à ses destinataires, à leurs connaissances du domaine et de cette façon, il agit sur les mots à utiliser pour diffuser les contenus scientifiques. Les spécialistes et les érudits s'opposent au grand public, mais la prise en considération de catégories de grand public favorise la distinction des récepteurs des traductions : enfants, élèves, public plus ou moins cultivé, étudiants. Sur la base des catégories de destinataires, le processus de vulgarisation peut ajouter ou éliminer les références mathématiques, symboliques et techniques, en soutenant une complète réélaboration lexicale qui se développe sur trois niveaux : base, intermédiaire et avancé. Le niveau de base est représenté par la communication dans les journaux qui traitent les dossiers sur les planètes, les passages des comètes, ou la formation d'un ouragan suivi d'une tempête sur la région. Dans ce niveau de communication, le public peut ne pas être intéressé par la connaissance scientifique, mais il attend des informations compréhensibles en langue commune et pas trop détaillées ; aussi le traducteur doit-il être en mesure d'attirer l'attention du lecteur et de l'entretenir grâce à l'aspect sensationnel de la nouvelle qui résulte de la recherche scientifique, en écartant les terminologies techniques et les formules mathématiques.

Le niveau intermédiaire est présent dans les hebdomadaires de vulgarisation et les publications des collections, il est représenté par le public qui est intéressé à la science et veut développer ses compétences analytiques et d'observation : la façon de décrire la nouvelle est plus concrète grâce à l'emploi de termes scientifiques moins compliqués et de formules simples qui expliquent le phénomène. Le pari majeur est l'éclaircissement des termes techniques spécialisés que le traducteur ne peut pas éviter : le choix des synonymes dans la langue cible, l'explication par des définitions sont les moyens qui rendent les concepts présents dans le texte scientifique source et dans celui de vulgarisation.

Le niveau avancé est présent dans les revues spécialisée et le public auquel s'adresse est spécialiste du domaine, qui est en mesure de comprendre les technicisms lexicaux et les relations fonctionnelles scientifiques. Ce niveau est la première étape de la communication entre les hommes de science qui à travers la vulgarisation connaissent les développements réalisés dans chaque domaine spécialisé. En conséquence, dans ce

niveau sont présents quelques formules, des graphiques et des schémas qui sont utilisés aussi dans la communication entre les spécialistes d'un même domaine.

Un dernier aspect à éviter est la simplification à outrance des contenus, en fait le genre de la vulgarisation n'est pas un synonyme de simplification mais d'adaptation de la langue en fonction du niveau de la communication. Enfin, le traducteur connaît d'un côté le risque d'une excessive simplification ou banalisation du contenu scientifique et de l'autre côté, il connaît aussi l'impossibilité de véhiculer à travers la vulgarisation le contenu scientifique qui est présent dans les textes source.

3. Les conditions d'exercice de la traduction : encadrement théorique

3.1. Le projet de traduction

La notion de « projet de traduction » est centrale en traductologie parce qu'il désigne notamment la position traductive du traducteur. Tout d'abord, dans son projet de traduction, le traducteur est en mesure d'établir a priori ce que représente le traduire en général, et ensuite la traduction d'un texte en particulier. Dans l'œuvre *Jacques Amyot, traducteur français*, Antoine Berman affirme :

Un projet n'a nul besoin d'être théorique ; il n'a même pas besoin d'être explicité. Sa structure est celle de tout projet : être un préalable à la traduction qui ne devient réel, effectif, que dans celle-ci, dans le processus de production du texte traduit¹⁷⁵.

De cette façon, toute traduction est vue comme une structure et un développement qui résultent d'un projet de traduction : en fait, un texte traduit est à considérer comme l'expression de son projet de traduction qui peut être aussi rétabli à partir de lui.

Enfin, les caractéristiques et les évaluations propres au projet de traduction sont considérées comme une part intégrante de la traduction finale et déterminent ses marques et ses particularités.

3.1.1. Les approches fonctionnelles dans la traduction

L'approche fonctionnelle représente une variété des approches dans la traduction, qui est caractérisée par le refus de la séparation entre l'acte traductif et son contexte, à travers les facteurs situationnels des mots qui déterminent le sens et son interprétation. En particulier, la perspective de l'approche fonctionnelle dans la traduction a

¹⁷⁵ Berman A., *Jacques Amyot, traducteur français. Essai sur les origines de la traduction en France*, Éditions Berlin, 2012, p. 48.

été influencée par trois courants de pensée : le point de vue fonctionnaliste de la linguistique de tradition anglaise ; la notion de compétence communicative développée par Hymes ; les études de traduction et la théorie du *skopos* de Reiss et Vermeer. En fait, dans la tradition fonctionnaliste anglaise, à partir de la notion du « contexte de la situation » de Malinowski, Firth considère le sens en termes de la fonction exercée dans le contexte et refuse les approches de l'étude du langage qui excluent l'étude du sens. Dans l'œuvre *An Approach to Technical Translation*¹⁷⁶, Finch considère les problèmes liés aux terminologies, il souligne l'usage de l'approche fonctionnelle à propos de l'objectif et de l'information du texte qui sont demandés et affirme que « a statement of the user's requirements can be a valuable help to the translator ».

En général, dans la classification et l'analyse de la traduction des textes, la perspective fonctionnaliste d'un côté considère le contexte de la situation comme un aspect fondamental et l'inclusion des participants dans la communication, l'action qui a lieu, l'analyse des registres, l'établissement d'un registre d'équivalence, le contexte culturel, le cadre linguistique et enfin les adaptations. De l'autre côté, l'approche fonctionnelle se déclare contraire au traitement du texte considéré comme un identité séparée des circonstances de sa production et de sa réception. Cette approche est liée aux compétences communicatives du traducteur et Canale¹⁷⁷ les explique à travers une classification :

- 1) La compétence grammaticale : l'implication d'une maîtrise entre le système linguistique source et le système linguistique cible dans la traduction active ou passive qui prévoit une connaissance et des compétences pour comprendre et exprimer le sens des unités linguistiques et des énoncés ;
- 2) La compétence sociolinguistique : l'habileté du traducteur à juger comme appropriés les énoncés dans le contexte en considérant les destinataires, l'objectif et les conventions de l'interaction ;
- 3) La compétence discursive : l'habileté du traducteur de considérer et de produire un texte cohésif et cohérent dans les différents genres et discours ;

¹⁷⁶ Finch C. A., *An Approach to Technical Translation: An Introductory Guide for Scientific Readers*, Oxford, Pergamon Press, 1969, cité dans *Routledge Encyclopedia of Translation Studies*, op. cit., deuxième éd., Olohan M., section « Scientific and technical translation », pp. 247-248.

¹⁷⁷ Canale M., « From communicative competence to language pedagogy », *Language and communication*, éd. Richards J. et Schmidt R., London, Longman, 1983, pp. 2-27, cité dans *Routledge Encyclopedia of Translation Studies*, Baker M., Malmkjær K., première édition, London, Routledge, 1998, Mason I., section « Communicative/functional approaches », p. 31.

- 4) La compétence stratégique : l'habileté du traducteur de réparer les ruptures potentielles dans la communication et d'améliorer l'efficacité de la communication entre le texte source et le texte cible.

Dans l'approche fonctionnelle, le traducteur opère une sélection du lexique et de la syntaxe de la langue cible afin de rendre le sens qui est présent dans le texte source ; il considère le statut du texte comme liaison avec les destinataires, il donne un cadre communicatif en considérant les aspects de la traduction spécialisée et les stratégies pour résoudre les ambiguïtés potentielles.

À propos des approches fonctionnelles, Antoine Berman a développé une critique sur le genre de traductions littéraires qui agissent sur le texte source à travers des méthodes ethnocentriques, annexionnistes ou hypertextuelles qui provoquent des déformations du texte et renoncent à sa poésie. Ces soumissions inévitables causent la déviation de l'objectif essentiel du texte source et Berman propose une méthode psychanalytique et textuelle à travers laquelle les traducteurs et les traductions sont libérés des tendances déformantes entre le texte source et le texte cible, une méthode qui considère la notion d'un sens originaire et qui cherche à rétablir le sens originaire du texte source dans sa traduction. En conclusion, d'après Berman, le traducteur doit réduire la tension interlinguistique rencontrée dans le texte source et la traduction doit être considérée comme un acte incomplet qui aspire à son achèvement à travers les retraductions.

3.1.2. La théorie du *skopos* dans les théories fonctionnelles de la traduction

La théorie du *skopos* élaborée par Reiss et Vermeer¹⁷⁸ introduit une attitude prospective et considère la fonction du texte traduit qui détermine les décisions du traducteur au début de la traduction, en incluant les facteurs contextuels, les destinataires, la fonction réalisée par le texte dans la culture cible et pour les destinataires ciblés. Dans la perspective fonctionnelle, la traduction n'est pas considérée comme un procès de transcodage, mais comme une forme spécifique de l'action humaine, où toute équivalence entre le texte source et le texte cible est subordonnée au *skopos* ou objectif que le texte source cherche à accomplir. Grâce à la théorie du *skopos*, le point de vue fonctionnel peut être considéré comme une approche qui relie les circonstances de la production

¹⁷⁸ Reiss K., Vermeer H. J., *Towards a General Theory of Translational Action: Skopos Theory Explained*, Routledge, 2014, cité dans *Routledge Encyclopedia of Translation Studies*, op. cit., première ed., Schäffn C., section « *Skopos theory* ».

du texte source, comme un acte communicatif, aux circonstances sociales de l'acte de la traduction et les objectifs que cette approche aspire à réaliser.

Dans l'approche fonctionnelle, le texte source, ses effets dans le texte cible, la fonction assignée par l'auteur ne sont pas de première importance, mais les facteurs déterminants dans le procès de traduction sont la fonction prospective ou le *skopos* du texte cible déterminés par les destinataires et leur culture d'origine. Vermeer propose trois règles qui dérivent de la théorie du *skopos*: 1) la règle du *skopos* dans laquelle l'action humaine est déterminée par son objectif et par sa fonction ; 2) la règle de cohérence qui permet au texte cible d'être cohérent et compréhensible par les destinataires en considérant leurs connaissances ; 3) la règle de fidélité qui considère la cohérence textuelle du texte traduit.

La conséquence pratique de cette théorie est la redéfinition du statut du texte source ; en outre elle considère le traducteur comme une figure professionnelle qui est en mesure de décider quel est le rôle du texte source joué dans la traduction. En particulier, la traduction d'un texte produit par un destinateur pour un destinataire est vue comme une offre d'information dans une autre langue pour des destinataires appartenant à une autre culture à propos de l'information offerte dans le texte source. En outre, la traduction inclut par définition un processus de transmission linguistique et culturelle et elle représente une deuxième offre d'information à propos des aspects du texte source, en considérant le *skopos* du texte cible et les exigences de ses destinataires.

En conclusion, dans la théorie de Reiss et Vermeer, le terme « fonction » est lié aussi aux aspects du genre (*Textsorte*) et à la typologie du texte (*Texttyp*) : l'assignation de la typologie textuelle et du genre à un texte source détermine la possibilité de décision du traducteur à propos de la hiérarchie des règles du *skopos*, de cohérence et de fidélité à garder pendant la production du texte cible. Vermeer et Reiss expriment des considérations à propos du rôle du genre :

the source text does not determine the genre of the target text, nor does the genre determine *ipso facto* the form of the target text, or, indeed, the *skopos* ; rather, it is the *skopos* of the translation that determines the appropriate genre of *translatum*, and the genre, being a consequence of the *skopos*, is secondary to it¹⁷⁹.

¹⁷⁹ Citation de Vermeer H. J., 1989, p. 187, présente dans *Routledge Encyclopedia of Translation Studies*, op. cit., deuxième éd., Schäffn C., section « Functionalist approaches ».

3.1.3. La théorie de l'action traductionnelle comme approche fonctionnelle

Selon la théorie de l'action traductionnelle élaborée par Holz-Mänttari¹⁸⁰, la traduction est premièrement un acte professionnel, comme un procès de communication interculturelle où le résultat est un texte en mesure de fonctionner de façon appropriée dans des situations spécialisées et dans les contextes d'usage. Selon cette conception, le texte source et le texte cible ne sont pas en comparaison : en fait, la traduction se situe dans un contexte plus ample d'interaction coopérative entre les spécialistes et le grand public.

En premier lieu, l'objectif primaire de l'action traductionnelle est d'instaurer une communication adéquate qui fait face aux barrières culturelles ; en deuxième lieu, de produire un message qui peut être utilisé pour les configurations sur-ordonnées des actions dont la fonction est de guider et coordonner l'action communicative et coopérative. En outre, l'établissement de ce que Holz-Mänttari définit la « spécification d'un produit » est une description des propriétés requises des textes cibles et des facteurs extratextuels associés à l'influence du texte cible pour une structure plus ample où les opérations textuelles ont lieu et sont impliquées dans l'action traductionnelle.

En conclusion, la théorie de Holz-Mänttari implique une conception plus vaste du rôle du traducteur, comme par exemple la responsabilité éthique qui dépend du degré de spécialisation du traducteur dans le domaine du message transculturel, parce que seuls les traducteurs qui ont les compétences requises peuvent produire un texte fonctionnellement adéquat.

3.2. Les « stratégies de traduction »

3.2.1. La notion de « stratégies de traduction »

En traductologie, la notion de stratégie propose plusieurs acceptions : elle désigne la méthode choisie par le traducteur, les principes de choix qui guident ses décisions, les opérations utilisées dans les solutions adoptées, enfin les processus verbaux ou non verbaux, conscients ou non conscients, cognitifs ou externes qui concernent la résolution des problèmes de traduction et l'habileté du traducteur. En particulier, la compétence des stratégies est à entendre comme la possibilité d'emploi des mécanismes

¹⁸⁰ La théorie de l'action traductionnelle de Holz-Mänttari est citée dans *Routledge Encyclopedia of Translation Studies*, *op. cit.*, deuxième éd., Schäffn C., section « Functionalist approaches ».

verbaux ou non verbaux afin d'améliorer l'accomplissement de la communication en corrigeant les fautes ou les carences du discours.

Selon Pozo et Postigo¹⁸¹, cinq typologies de procédés sont en fonction de l'expression de l'information : 1) l'acquisition de l'information ; 2) l'interprétation de l'information ; 3) l'analyse de l'information et la réalisation de l'inférence ; 4) la compréhension et l'organisation conceptuelle de l'information ; 5) la communication de l'information. Selon les auteurs, en premier lieu, les procédés d'acquisition, d'interprétation et d'analyse de l'information sont caractérisés par : l'observation, la sélection de l'information, la recherche d'information, la décodification de l'information, l'application des modèles pour interpréter les situations, l'emploi des analogies, l'analyse et la comparaison de l'information et la réalisation des inférences. En deuxième lieu, les procédés de la compréhension de l'information se fondent sur : la différence des typologies de discours, l'identification des structures présentes dans les textes, la différence entre les idées primaires et secondaires, l'intégration de l'information de textes et de sources différentes, l'établissement de relations conceptuelles, la classification des relations hiérarchiques. Enfin, le procédé de l'expression de l'information consiste dans la différenciation des styles différents dans l'expression écrite et l'analyse de l'adéquation au texte écrit.

Le concept de stratégie de traduction a été introduit par Hönig et Kussmaul¹⁸², qui définissent les stratégies de traduction comme des procédés qui conduisent à la solution optimale d'un problème de traduction. Lörcher entend la notion de stratégie de traduction comme « a potentially conscious procedure for the solution of a problem which an individual is faced with when translating a text segment from one language to another »¹⁸³. Selon Lörcher, les stratégies sont caractérisées par leur caractère individuel, elles contiennent un élément de planification, elles poursuivent des objectifs et sont en relation avec les actions développées pendant le procès d'acquisition de l'objectif. Lörcher organise les stratégies selon trois stratégies globales : 1) proposer des solutions préliminaires aux problèmes (explorer) ; 2) répéter littéralement les seg-

¹⁸¹ Pozo et Postigo (1993) sont cités dans Hurtado Albir A., *Traducción y Traductología: Introducción a la Traductología*, Madrid, Cátedra, 2001.

¹⁸² Hönig et Kussmaul, *Strategie der Übersetzung*, Tübingen, Guter Narr, 1982.

¹⁸³ Lörcher W., *Translation performance, translation process and translation strategies*, Tübingen, Guter Narr, 1991, p.76, cité dans *Routledge Encyclopedia of Translation Studies*, op. cit., deuxième éd., Kearns J., section « Strategies ».

ments textuels de la langue source ou cible (contrôler) ; 3) reprendre les segments et les reformuler de façon différente (paraphraser). En outre, Lörcher propose une distinction de méthode, de planification, de règles et stratégies. Les méthodes sont les procédés individuels, la planification est la représentation mentale et globale des séquences des actions pour contrôler la réalisation de façon correcte ; les règles sont les normes sociales qui ont comme objectif de contrôler le comportement humain pour qu'il soit socialement acceptable ; enfin les stratégies contrôlent une action concrète dans un procès entier. En conclusion, l'étude de Lörcher pose l'attention sur l'existence d'une grande variété de l'emploi de stratégies et affirme que devant un même problème s'utilisent plusieurs stratégies par rapport aux sujets traités.

3.2.2. Les caractéristiques des stratégies de traduction

Les aspects qui caractérisent les stratégies de traduction et desquels le traducteur doit considérer, sont :

- 1) l'existence de stratégies de typologies différentes pour : différencier le genre du discours, identifier les structures des textes, se renseigner à propos de la progression et l'enchaînement de l'information, opérer une distinction entre les idées principales ou secondaires, établir des relations conceptuelles, appliquer un raisonnement logique, se fixer sur les idées plutôt que la forme, assumer le même point de vue de l'auteur du texte source, penser au destinataire, paraphraser et retraduire ;
- 2) l'existence de différents niveaux de stratégies : les stratégies globales traitent les problèmes généraux à propos du style, le choix entre supprimer ou emphatiser les aspects spécifiques du texte source et elles sont en relation avec des portions plus amples de texte ; les stratégies locales concernent la traduction des structures langagières particulières, les micro unités et les aspects partiels du procès communicatif ;
- 3) la diversité des stratégies de traduction en relation avec la typologie et la modalité de traduction adoptée. Chesterman propose une division des stratégies en trois catégories¹⁸⁴ : la catégorie des stratégies syntaxiques et grammaticales qui impliquent des changements syntaxiques dans les structures ; la catégorie des stratégies sémantiques qui concernent les changements sémantiques et de sens du lexique à travers

¹⁸⁴ Chesterman A., *Memes of Translation : the spread of ideas in translation theory*, Amsterdam, Benjamin J., 1997, pp. 92-112.

- l'emploi des synonymes, antonymes, paraphrases ; la catégorie des stratégies pragmatiques qui incluent une capacité du traducteur de filtrer la culture, d'apporter des changements illocutoires et d'information ;
- 4) la diversité des stratégies pour résoudre un problème de traduction qui considère la relation étroite entre les problèmes de traduction et les stratégies de traduction, Chesterman affirme que « a problem for translator X may not be a problem for translator Y ; but both translators may arrive at the same solution »¹⁸⁵ ;
 - 5) l'emploi des *domesticating strategies* et des *foreignizing strategies*¹⁸⁶, qui sont définies par rapport au changement hiérarchique des valeurs dans la langue cible, afin d'améliorer l'efficacité du procès de traduction et les résultats obtenus pendant la révision.

3.3. Les opérations de traduction

Les opérations de traduction se manifestent uniquement dans la reformulation, en phase finale de la prise décisionnelle. Les opérations de traduction s'enracinent dans le fait de proposer un métalangage et une classification qui identifient et caractérisent le résultat de l'équivalence de traduction en respectant le texte source. Les opérations de traduction permettent d'identifier, classifier et désigner les équivalences choisies par le traducteur dans les micro unités textuelles.

Les opérations de traduction sont le résultat qui répond au choix du traducteur et elles sont validées par rapport à la diversité du contexte, à la finalité de la traduction et aux attentes des lecteurs. En particulier, les opérations de traduction ont un caractère fonctionnel et dynamique qui dépend : du genre auquel appartient le texte, du genre de la traduction ; de la modalité de traduction ; de la finalité de la traduction et des caractéristiques du destinataire, enfin de la méthode choisie. En outre, les opérations de traduction sont définies comme un processus verbal visible dans le résultat de la traduction et elles sont utilisées pour réaliser l'équivalence de traduction à travers cinq caractéristiques de base : 1) elles concernent le résultat de la traduction ; 2) elles se présentent en

¹⁸⁵ Chesterman A., « Problems with strategies », dans *New trends in TS. In honour of Kinga Klaudy*, Károly A. et Ágota F. (éd.), Budapest, Akadémiai Kiadó, 2005, pp. 17-28, cité dans *Routledge Encyclopedia of Translation Studies*, op. cit., deuxième éd., Kearns J., section « Strategies ».

¹⁸⁶ Venuti L., « Strategies of translation », *Routledge Encyclopedia of Translation Studies*, op. cit., première éd., Venuti L., section « Strategies of translation ».

comparaison avec le texte source ; 3) elles font référence aux micro unités textuelles ; 4) elles disposent d'un caractère discursif et contextuel ; 5) elles sont fonctionnelles.

Molina¹⁸⁷ et Hurtado Albir¹⁸⁸ proposent la classification des dix-huit opérations¹⁸⁹ de traduction à partir de leur considération par rapport à la fonctionnalité de l'opération dans son contexte et à la méthode choisie. Les principales opérations de traduction sont : l'adaptation, l'expansion linguistique, l'amplification, le calque, la compensation, la compression linguistique, la création discursive, la description, l'élision, l'équivalence, la généralisation, la modulation, la particularisation, l'emprunt, la substitution, la traduction littérale, la transposition et la variation.

L'adaptation consiste dans le remplacement ou la substitution d'un élément culturel par un autre qui est équivalent et appartient à la culture et à la langue cible, par exemple : remplacer *baseball* par *fútbol* dans la traduction en espagnol.

L'expansion linguistique est réalisée par l'ajout des éléments linguistiques surtout pendant l'interprétation consécutive et le doublage, par exemple l'expression *No way* en castillan est traduite par *de ninguna de las maneras* ou par *en absoluto*.

L'amplification introduit des précisions qui n'ont pas été formulées dans le texte source : des informations, des paraphrases explicatives, des notes du traducteurs, comme par exemple la traduction de l'arabe au castillan de *Ramadán* est *el mes del ayuno para los musulmanes*.

Le calque est la traduction littérale d'un mot ou d'un syntagme étranger qui peut être lexical ou structural, comme par exemple la traduction du mot anglais *Normal School* en français est *École normal*.

La compensation consiste dans l'introduction d'un élément d'information ou d'un effet stylistique dans une autre position dans le discours de traduction par rapport au texte source.

La compression linguistique propose une synthèse des éléments linguistiques, par exemple la forme interrogative anglaise *Yes, so what?* en castellan est traduite par *¿Y?* ou *¿Si, y qué?*

¹⁸⁷ Molina L., Hurtado Albir A., "Translation techniques revisited: A dynamic and functionalist approach", *Meta journal des traducteurs*, vol. 47, n° 4, décembre 2002, pp. 498-512.

¹⁸⁸ Hurtado Albir A., *op. cit.*, 2001.

¹⁸⁹ Les exemples qui accompagnent les opérations de traductions sont tirées de l'œuvre de Hurtado Albir A., *op. cit.*, 2001.

La création discursive produit une élaboration d'une équivalence éphémère hors du contexte, comme par exemple la traduction de l'anglais à l'espagnol du film *Rumble fish* en *La ley de la calle*.

La description propose un remplacement d'un terme ou d'une expression par la description de sa forme ou de sa fonction, comme par exemple la traduction de l'italien à l'espagnol de *panettone* est *el bizcocho tradicional que se toma en Noche Vieja en Italia*.

L'éllision consiste dans la suppression des éléments d'information qui sont présents dans le texte source et que le traducteur évite d'insérer dans le texte cible.

L'équivalence utilise un terme ou une expression connue comme équivalent dans la langue cible, par exemple l'expression anglaise *They are as like as two peas* en espagnol est *Se parecen como dos gotas de agua*.

La généralisation s'oppose à la particularisation et utilise un terme plus général ou neutre, comme par exemple les termes français *guichet*, *fenêtre* ou *devanture* en anglais sont traduits par *window*.

La modulation lexicale ou structurelle permet un changement du point de vue, de la perspective ou de la catégorie d'idée en relation à la formulation présente dans le texte source, comme par exemple la traduction de *Golfo arábico* ou *Golfo pérsico* ou l'équivalent en arabe de *Vas a tener un hijo* (littéralement *Vas a convertirte en padre*).

La particularisation s'oppose à la généralisation et utilise un terme plus précis ou concret, comme par exemple la traduction du terme anglais *window* par le terme français *guichet*.

L'emprunt propose l'intégration d'un mot ou d'une expression propre d'une autre langue : l'emprunt peut être pur quand il n'y a pas de changement, par exemple l'emploi du mot anglais *lobby* en espagnol ; ou l'emprunt peut être naturalisé par la translittération de la langue étrangère, par exemple le mots anglais *goal* en espagnol est *gol*, *football* est *fútbol*, *leader* est *líder*, *meeting* est *mitin*.

La substitution linguistique ou paralinguistique est utilisée surtout dans l'interprétation et elle implique un remplacement des éléments linguistiques par ceux paralinguistiques comme l'intonation ou les gestes, ou vice-versa.

La traduction littérale comporte une traduction mot à mot d'un syntagme ou d'une expression, par exemple traduire l'expression anglaise *She is reading* par l'expression espagnole *Ella está leyendo*.

La transposition implique un changement de catégorie grammaticale, comme par exemple la traduction de l'expression anglaise *He will soon be back* en castillan *No tardará en venir*, en changeant l'adverbe *soon* par le verbe *tardar* est traduire *Estará de vuelta pronto*.

La variation montre un changement des éléments linguistiques ou paralinguistiques qui concernent les aspects de la variation linguistique : les changements de tonalité textuelle, de style, de dialectes, comme par exemple les changements dialectaux pour caractériser les personnages d'une pièce de théâtre, ou les changements de tonalité pendant la lecture d'une histoire pour les enfants.

En conclusion, les opérations de traduction¹⁹⁰ sont le résultat du choix opéré par le traducteur, leur validité dépend du contexte, de l'objectif de la traduction et des attentes des destinataires. La nature de la traduction est fonctionnelle et dynamique et les opérations de traduction peuvent être réputées à leur tour fonctionnelles et dynamiques en considérant : le genre du texte ; la typologie du texte ; la modalité de traduction ; l'objectif de la traduction et les caractéristiques des destinataires et la méthode choisie.

¹⁹⁰ Molina L., Hurtado Albir A., *op. cit.*, 2002.

Chapitre IV

Bonnes nouvelles des étoiles

1.1. Jean-Pierre Luminet

Jean-Pierre Luminet est né le 3 juin 1951 à Cavaillon, dans le Sud de la France. Son inclination à l'étude des matières scientifiques se combine à l'intérêt pour l'art, les lettres et la musique. En fait, après une formation universitaire à l'Université d'Aix-Marseille et à Montpellier, un doctorat à l'Université Paris-Diderot, il devient astronome, astrophysicien, spécialiste de réputation mondiale en matière de trous noirs et de cosmologie, conférencier, mais aussi écrivain et poète français.

Depuis 1979, il est astrophysicien à l'Observatoire de Paris-Meudon, aujourd'hui directeur de recherches au sein du Laboratoire Univers et Théories (LUTH), directeur de recherches au CNRS et membre du Laboratoire d'Astrophysique de Marseille (LAM).

Jean-Pierre Luminet est surtout connu du grand public francophone pour ses nombreux ouvrages de vulgarisation, qui lui ont valu plusieurs prix, dont le Prix Georges Lemaître en 1999. En 2003, il a fait la une des revues scientifiques mondiales grâce à la formulation de sa théorie d'un univers « chiffonné » et fini, qui a la forme dodécaédrique. En 2006, il a gagné le prix Paul Doistau-Émile Blutet de l'information scientifique et en 2007, il a obtenu la décoration honorifique française d'Officier des Arts et des Lettres. Enfin, l'astéroïde ou petite planète de la ceinture principale du système solaire 5523 Luminet, qui a été découverte le 5 août 1991 par l'astronome américain Henry E. Holt au Mont Palomar, porte son nom en hommage à ses recherches et à ses études en cosmologie.

1.2. L'activité scientifique de Jean-Pierre Luminet

En 1979, Jean-Pierre Luminet a été le premier homme de science à théoriser et à simuler les distorsions optiques causées par le champ gravitationnel d'un trou noir, sans l'aide d'outils informatiques modernes. Cette tentative a été menée à bien pour visualiser les éléments de l'univers qui restent invisibles comme les trous noirs et ensuite, sa théorie a été confirmée par l'envoi de satellites 20 ans plus tard.

En 1982, Luminet a été un parmi les premiers spécialistes à étudier les effets du passage d'une étoile en proximité d'un trou noir supermassif, avec le physicien Brandon Carter. Grâce à cette étude, il a émis l'hypothèse que ce phénomène pouvait être représenté par une destruction de l'étoile sous forme de « crêpe astrale » ou « crêpe stellaire », à cause des effets de marée intenses déterminés par la proximité du trou noir, qui provoque une réactivation des réactions nucléaires dans les débris de l'étoile.

Jean-Pierre Luminet est aussi spécialiste de l'histoire de la cosmologie, et en particulier du concept du Big Bang. Depuis 1995, il a consacré ses études à la recherche sur la topologie de l'Univers, en collaboration avec plusieurs chercheurs comme Marc Lachièze-Rey, Roland Lehoucq, Alain Riazuelo, Jean-Philippe Uzan et Jeffrey Weeks. À ce propos, il a traduit l'idée que l'univers pourrait être d'extension spatiale finie, mais sans bord par le terme d'« univers chiffonné »¹⁹¹, bien que ce terme ne soit guère utilisé par la communauté scientifique, qui lui préfère celui de « topologie non simplement connexe ».

1.3. L'art et l'écriture au service de la vulgarisation scientifique

Astrophysicien et écrivain, Jean-Pierre Luminet aime créer des liens entre la poésie, l'art et les sciences. Il cherche la relation entre les principes esthétiques de l'art et l'étude du cosmos à travers les œuvres des artistes. En fait, à partir de l'œuvre *Nuit étoilée à Saint-Rémy-de-Provence* de Vincent van Gogh réalisée en 1889, il a déterminé la date précise de sa élaboration grâce à la position des étoiles et de la lune qui caractérisent ce chef-d'œuvre. À travers des calculs, l'astrophysicien a établi que le ciel représenté dans ce tableau correspondait à la configuration céleste extrêmement précise et visible à Saint-Rémy-de-Provence le 25 mai 1889, à 4:40 du matin¹⁹².

Jean-Pierre Luminet est aussi auteur de six romans historiques et de sept recueils de poésie : *Noir soleil* en 1993, *Les Poètes et l'Univers* en 1996, *Le Rendez-vous de Vénus* en 1999, *Itinéraire céleste* en 2004, *Le Bâton d'Euclide* en 2002, *Les bâtisseurs du ciel*, Tome 1, *Le Secret de Copernic* en 2006, *Les Bâtisseurs du ciel*, Tome 2, *La Discorde céleste : Kepler et le trésor de Tycho Brahé* en 2008, *Les Bâtisseurs du ciel*, Tome 3, *L'Œil de Galilée* en 2009, *Les Bâtisseurs du ciel*, Tome 4, *La Perruque de*

¹⁹¹ https://www.lexpress.fr/culture/livre/entretien-avec-jean-pierre-luminet_810358.html

¹⁹² Extrait du documentaire tourné en 2000 à l'Observatoire de Meudon, *Art et Astronomie au XIX^e siècle* (3e partie), par Jean-Pierre Luminet, https://www.youtube.com/watch?v=2E5K_88a-zo.

Newton en 2010, *La Nature des choses* en 2012, *Un trou énorme dans le ciel* en 2014, enfin *Ulugh Beg, L'astronome de Samarcande* en 2015.

1.4. Jean-Pierre Luminet vulgarisateur : ses domaines de spécialité

Depuis l'âge de vingt ans, Jean-Pierre Luminet a commencé à écrire des poèmes, des nouvelles et des romans ; il aime se définir comme un écrivain, qui est amoureux de la langue française, mais depuis le début de sa carrière de chercheur, il s'est consacré à un autre type d'écriture : la publication scientifique spécialisée. L'œuvre de Jean Heidmann *Introduction à la cosmologie* a représenté pour Jean-Pierre Luminet le déclencheur de sa carrière scientifique de chercheur sur les deux sujets scientifiques qui l'ont passionné : les trous noirs et la cosmologie qui concerne les modèles relativistes, le Big Bang, l'évolution, l'origine et le destin de l'Univers. Sa sensibilité à ces questions l'a mené à reconnaître l'enjeu de la diffusion de la culture scientifique et dès la fin des années 1970, il a commencé à écrire des articles de vulgarisation sur les trous noirs. D'après Jean-Pierre Luminet, « jouer un rôle dans sa diffusion, c'est participer à l'humanisme de notre époque »¹⁹³.

Après une dizaine d'années consacrées à la recherche et à l'étude intensives, il a commencé à publier des ouvrages de « vulgarisation », un genre littéraire qu'il préfère nommer comme « culture scientifique ». Dans ces essais, il traite aussi de sujets peu connus et qui restent obscurs, comme par exemple les trous noirs et la forme de l'univers, en s'adressant à un public assez large et non spécialisé : pour l'élaboration des œuvres de vulgarisation, sa tentative de diffusion des connaissances a impliqué l'emploi des techniques narratives empruntées à la littérature. En outre, ses œuvres de vulgarisation sont caractérisées par la plume légère du rédacteur, par un langage clair et par la précision des informations, afin de synthétiser les connaissances, de les actualiser et de les exposer avec le soin de les rendre accessibles au plus grand nombre de lecteurs profanes.

Dans le genre de la vulgarisation scientifique, Jean-Pierre Luminet affirme que la recherche scientifique peut être extrêmement créatrice dans les domaines de la physique fondamentale et de l'astrophysique, mais une esthétique est nécessaire pour élaborer

¹⁹³ <https://blogs.futura-sciences.com/luminet/2015/08/27/souvenir-de-jeunesse/>

rer des modèles théoriques. Pour cette raison, Jean-Pierre Luminet s'est dirigé vers cette forme de recherche et non vers l'observation :

je n'ai pas l'œil rivé aux télescopes mais sur mes modèles conceptuels. Quelque part, le mystère du cosmos se résout mieux avec les visions de l'esprit qu'avec les yeux d'un télescope. Je crois que l'imaginaire prime l'observation, ce qui fait un point commun entre le travail de l'astrophysicien et celui du romancier¹⁹⁴.

Les ouvrages de vulgarisation de Jean-Pierre Luminet traitent les sujets du domaine de l'astrophysique comme l'Univers, le Big Bang, le Soleil, les planètes, le Système solaire, les trous noirs, la Voie lactée, les galaxies et les étoiles. Ses œuvres publiées sont : *Aux confins de l'Univers* collectif en 1987, *Les Trous Noirs* en 1987, *Le Grand Atlas de l'Astronomie* en 1994, *La Physique et l'infini* en collaboration avec Marc Lachièze-Rey en 1994, *Du Big Bang à demain* en 1997, *Essais de Cosmologie* en 1997, *Figures du Ciel* avec la collaboration de Marc Lachièze-Rey en 1998, *Éclipses, les rendez-vous célestes* avec la collaboration de Serge Brunier en 1999, *Le Feu du ciel : météores et astéroïdes tueurs* en 2002, *L'Invention du Big Bang* en 2004, *L'Univers chiffonné* en 2005, *De l'infini* avec la collaboration de Marc Lachièze-Rey en 2005, *Le Destin de l'univers : Trous noirs et énergie sombre* en 2006, *Bonnes nouvelles des étoiles* avec la collaboration d'Élisa Brune en 2009, *Illuminations* en 2011, *Astéroïdes : la Terre en danger* en 2012.

Son idée de diffusion de la culture scientifique est liée aussi à la production de documentaires qu'il a exécuté : *Infiniment courbe*, un documentaire de CNRS audiovisuel avec la collaboration de Laure Delesalle et Marc Lachièze-Rey en 1996 et *Vagabondes du ciel*, avec la collaboration de Mathias Ledoux et de Véronique Ataly, un documentaire réalisé par ARTE télévision en 1999.

Enfin, son blog *LUMINESCIENCES : le blog de Jean-Pierre LUMINET, astrophysicien* se consacre à un partage de culture sur les sujets de ses recherches scientifiques et de ses réflexions ; il montre la réalisation concrète des relations entre la science, la littérature, l'art et la philosophie.

¹⁹⁴ https://www.lexpress.fr/culture/livre/entretien-avec-jean-pierre-luminet_810358.html

2. *Bonnes nouvelles des étoiles* : présentation de l'œuvre

Bonnes nouvelles des étoiles, écrit en 2009 avec la collaboration d'Élisa Brune¹⁹⁵, écrivaine et journaliste scientifique belge, possède ce titre parce qu'à diffusion de la Terre, dans les immensités du cosmos il n'y a pas de catastrophisme : les corps célestes suivent les lois physiques et chimiques, il n'y a pas de soucis liés à la pollution, aux guerres, à la santé ou à l'économie. L'Univers va dévoiler ses secrets grâce aux découvertes récentes en astronomie, en représentant les *Bonnes nouvelles des étoiles*, qui dans l'œuvre sont présentées en trois parties, à partir du système solaire jusqu'aux immensités galactiques : les « nouvelles régionales », les « nouvelles nationales » et les « nouvelles internationales ».

La première partie, les « nouvelles régionales », concerne les recherches dans notre système solaire, les planètes et leurs satellites. Le premier chapitre nommé *Le tour du propriétaire* comprend les sections : *Le mot de l'architecte*, *Le cas de Pluton*, *L'esprit de clocher*, *La vie dans le système solaire*, *La formation du système solaire*, *L'avenir de la Terre*, *Les nouvelles planètes*. Le deuxième chapitre, nommé *La vie dans le système solaire*, comprend les sections : *Un petit tour sur Mars*, *L'autre Europe*, *Titan*, *Encelade*, *Ganymède et Callisto*, *Les comètes*. Le troisième chapitre, *La formation du système solaire*, comprend *Opéra en quatre actes*, *Un nuage qui reçoit un coup de pied*, *Une nébuleuse toupie*, *Des planètes en flocons*, *Un nettoyage à l'aspirateur*, *Acte de naissance*, *Jusqu'où va le système solaire ?*, *Jeunes systèmes stellaires*. Le quatrième chapitre concerne *L'avenir de la Terre* qui comprend *Le climat*, *Les météorites*, *Dans le passé*, *Dans le futur*. Enfin, le cinquième chapitre de la première partie traite *Les nouvelles planètes*.

La deuxième partie, les « nouvelles nationales », traite des changements générationnels des étoiles et de la galaxie. Le premier chapitre est consacré à *la Voie lactée*, le deuxième chapitre concerne la *Naissance des étoiles* qui comprend *Matrice*, *Accouchement* et *Jeunesse*. Le troisième chapitre est consacré à *La vie des étoiles* et comprend *Maturité* et *Vieillesse*. Le quatrième chapitre porte sur *La mort des étoiles* et comprend *Poids plume et poids légers*, *Poids moyens* distingués en *Les nébuleuses planétaires* et

¹⁹⁵ Élisa Brune, romancière, chroniqueuse, auteure scientifique, dessinatrice et peintre, est née le 15 juillet 1966 à Bruxelles, malheureusement elle s'est éteinte le 29 novembre 2018, à cause d'un cancer. Voir aussi son site web www.elisabrune.com.

Les naines blanches, Poids lourds sont distingués en *Les supernovæ* et *Les étoiles à neutrons, Poids superlourds*.

Le cinquième chapitre, *La formation des trous noirs et la relativité générale*, comprend *L'idée de trou noir, La gravitation de Newton, La gravitation d'Einstein, L'espace-temps, Les vérifications et les prédictions, Les ondes gravitationnelles, Les trous noirs*. Cette dernière partie du chapitre sur les trous noirs traite en particulier *De quoi s'agit-il ?, Peut-on les détecter ?, Trous noirs et sursauts gamma, Les trous noirs géants, Les trous noirs dans l'Univers, Les trous noirs intermédiaires, Dans le trou noir, Le trou de ver, Microtrous noirs et trous de ver*.

La troisième partie, les « nouvelles internationales », a une perspective plus ample, qui concerne les galaxies, la structure et l'histoire de l'Univers à partir du Big Bang, dans les chapitres *Les galaxies, Le Big Bang* et *L'homme dans l'Univers*. Le premier chapitre concerne *Les galaxies* et opère des distinctions dans les sections suivantes : *Types de galaxies, La matière des galaxies, Le passé vu dans les galaxies, La réparation des galaxies, Les collisions entre galaxies, Les galaxies actives, Les mirages gravitationnels, Les mirages topologiques, La structure globale de l'Univers*. Le deuxième chapitre concerne *Le Big Bang* qui se développe dans les sections : *L'expansion de l'Univers, Le futur de l'Univers, Le passé de l'Univers, Un futur sombre, La taille et la forme de l'Univers, Unification de la physique, L'écume de l'espace-temps, L'Univers branairé, Avant le Big Bang ?*. Le troisième chapitre porte sur *L'homme dans l'Univers* et à travers deux questions existentielles *Sommes-nous seuls dans l'Univers* et *Et Dieu dans tout cela ?*, Jean-Pierre Luminet propose ses réflexions. La conclusion est présentée par le *Dernier tour de piste* qui opère une récapitulation des sujets traités dans l'œuvre.

Les annexes conclusives traitent *Les moyens et les métiers de l'astronomie* qui concernent l'instrumentation, l'histoire de l'astrophysique et les métiers de l'astrophysique. Le premier chapitre de cette partie concerne *L'instrumentation* développée dans les sections : *Les télescopes du visible, Les télescopes de l'invisible, Les messages non électromagnétiques, Les rayons cosmiques, Les ondes gravitationnelles, Les accélérations de particules*. Le deuxième chapitre s'intitule *D'où vient l'astrophysique*, où, à partir de l'idée du cosmos, sont nommés Platon, Homère et Héraclite, et les personnalités de Copernic, Kepler, Galilée et Newton qui ont contribué à

l'astrophysique. Puis, le troisième chapitre *Les métiers de l'astrophysique* se développe autour de *Comment devient-on astrophysicien ?* et de *Quatre types d'activités*. Ce dernier est traité selon des étapes suivantes : *L'acquisition de données, L'instrumentation, La modélisation, La théorisation, Les vertus de l'interaction*.

Enfin, dans cette œuvre ne sont pas présentes les images ou les photographies de ce qui est expliqué, mais sont indiqués les liens électroniques des sites Internet NASA et Hubble, grâce auxquels le lecteur peut bénéficier du spectacle cosmique à travers l'écran de son ordinateur. Pour ceux qui n'ont pas la possibilité d'accéder à Internet, l'imagination est le seul moyen qui suffit.

2.1. Caractéristiques stylistiques de *Bonnes nouvelles des étoiles*

L'œuvre *Bonnes nouvelles des étoiles* appartient au genre de la vulgarisation scientifique, qui est caractérisé par sa fonction didactique et qui vise à instruire le lecteur débutant en matière d'astrophysique à propos de planètes, de système solaire, de galaxies, de trous noirs et de trous de ver. La typologie du texte est explicative ; en fait son but est d'abord celui d'expliquer la thématique astrophysique, ensuite celui de fournir de nouvelles informations sur les phénomènes et les détails découverts dans l'Univers qui enrichissent les connaissances du destinataire.

La structure de cette œuvre de vulgarisation satisfait les conditions de clarté, de cohérence et d'homogénéité ; en outre, elle présente une organisation qui est logique et linéaire : les contenus sont traités selon une progression d'information et d'approfondissement qui se développe à partir d'un cadre général et qui mène les lecteurs aux concepts plus spécifiques. De même, cette structure est évidente non seulement grâce au développement des concepts, mais aussi grâce à la division de l'œuvre dans la disposition de ses différentes sections : d'abord en parties principales, ensuite en chapitres, enfin en paragraphes.

La tonalité du discours est neutre et objective, la fonction qui prévaut dans le texte est référentielle ; pour cette raison, les considérations personnelles et les commentaires de l'auteur ne sont pas prévus. Les temps des verbes sont commentatifs, le présent, le passé composé et les futurs dominant la syntaxe et les connecteurs présents soutiennent l'éclaircissement, l'exemplification et la conclusion. La subordonnée complétive est prédominante dans la syntaxe, pour préciser les concepts développés.

Enfin, l'auteur traite de façon systématique, claire et discursive les notions et les découvertes qui proviennent des recherches du domaine astrophysique et des missions spatiales. Il les présente à travers des exemples simples qui visent à rapprocher le lecteur de la matière scientifique au fur et à mesure que les connaissances sont partagées.

2.2. Le lexique dans l'œuvre

Le sujet astrophysique traité par Jean-Pierre Luminet est élevé et spécialisé, mais grâce au registre courant de la langue et à la simplification des contenus à travers des exemples concrets qui expliquent les terminologies et les effets physiques qui se passent dans l'Univers, l'auteur rend les notions plus accessibles, proches, et à la portée de tous ses lecteurs curieux. En outre, pour faciliter l'accès aux informations présentées, quand l'auteur utilise la terminologie propre du domaine, celle-ci est d'abord éclairée par des définitions qui expliquent les termes et les concepts, ensuite, par l'emploi d'un vocabulaire de la sphère du quotidien qui appartient au lecteur.

Comme vulgarisateur, Jean-Pierre Luminet rend passionnantes les découvertes astrophysiques à travers la création des images qui entrent dans l'imaginaire collectif et accompagnent le lecteur vers le savoir. Au langage technique et spécialisé propre de la science, l'auteur préfère le langage de partage qui vise à expliquer les terminologies complexes, à travers l'éclaircissement du sens par les analogies compréhensibles au public profane. De cette façon, la relation sémantique entre les termes scientifiques et les segments de la paraphrase vulgarisatrice est établie, en adaptant les notions scientifiques à transmettre aux nouveaux récepteurs.

En effet, la métalangue devient une langue moyenne qui est en mesure de rapprocher les terminologies spécifiques aux paraphrases typiques du genre de la vulgarisation. Premièrement, à travers l'emploi d'une synonymie référentielle, Jean-Pierre Luminet crée une mise en équivalence entre les termes scientifiques et des vocables ayant un sémantisme plus vague ; deuxièmement, l'emploi des marqueurs de glose explicite les notions et les concepts ; troisièmement, l'opération métalinguistique de la reformulation intradiscursive permet de atteindre la compréhension du terme inconnu, grâce au lien de similarité instauré avec un mot plus commun ; enfin, pour favoriser l'assimilation du nouveau mot, le terme scientifique est repris dans le développement du discours.

Les sections de l'œuvre *Bonnes nouvelles des étoiles* étudiées et analysées du point de vue linguistique présentent un tissu textuel qui se compose de la terminologie scientifique spécifique du domaine de l'astrophysique, des reformulateurs et des expressions figées qui appartiennent au langage courant et quotidien.

2.2.1. Les planètes et les satellites : terminologie et marqueurs de glose

La première partie qui a fait l'objet d'étude a été *Nouvelles régionales : les planètes et le système solaire*, le deuxième chapitre *La vie dans le système solaire* qui se compose de sous-sections qui traitent de : *Un petit tour sur Mars, L'autre Europe, Titan, Encelade*. En particulier, le lecteur qui commence la lecture reçoit des explications sur la terminologie spécialisée des caractéristiques et de la composition des planètes et des satellites, qui sont données par la juxtaposition du terme scientifique à sa définition, comme par exemple :

Terminologie	Définition	Page
Permafrost	Sol gelé sur plusieurs mètres de profondeur et contenant beaucoup d'eau	p.40
Astéroïdes	Corps rocheux qui gravitent autour du Soleil indépendamment des planètes	p.43
Nanobactéries	Bactéries beaucoup plus petites que celles que nous connaissons sur Terre	p.43
Bactéries thermophiles	Qui aiment la chaleur	p.44
Bactéries psychrophiles	Qui aiment le froid	p.44
Bactéries halophiles	Qui aiment le sel	p.44
Bactéries acidophiles	Qui aiment l'acide	p.44
Bactéries barophiles	Qui aiment la pression	p.44
Bactéries endogées	Dans les sous-sol rocheux, qui tirent leur énergie de l'oxydation des roches	p.44

De plus, pour mieux expliciter le concept scientifique et les phénomènes physiques qui ont lieu dans les planètes, Jean-Pierre Luminet fournit des exemples concrets à l'aide de marqueurs de glose, comme par exemple :

Marqueur de glose	Exemple	Page
Donc	Elles pourraient <i>donc</i> être à l'œuvre ailleurs	p.33
Comme	C'est le réservoir de la vie <i>comme</i> l'océan l'est de la pluie	p.34
C'est-à-dire	À partir de la chimie organique, <i>c'est-à-dire</i> l'ensemble des réactions chimiques que permet le carbone	p.34
En somme	Un lieu de brassage, <i>en somme</i> , comme le tambour d'une machine à laver	p.34
Comme, donc, telle	L'eau <i>comme</i> bain, <i>donc</i> , et le carbone <i>comme</i> matière première, <i>telle</i> est la formule gagnante	p.34
Appelle	On <i>appelle</i> « prébiotiques » les molécules formées par la chimie du carbone	p.38
Bref	<i>Bref</i> : « ça craint »	p.42
En d'autres termes	<i>En d'autres termes</i> , il s'agissait bien d'une trouvaille sensationnelle	p.44
Comme	La vie sur la Terre est <i>comme</i> une sauce qui mijote depuis des lustres dans le même chaudron	p.48

2.2.2. Les trous noirs : terminologie et marqueurs de glose

La deuxième section étudiée et analysée *Les Trous noirs* se compose de sous-sections qui traitent de *De quoi s'agit-il ?*, *Peut-on les détecter ?*, *Trous noirs et sursauts gamma*, *Les trous noirs géants*, *Les trous noirs dans l'Univers*, *Les trous noirs intermédiaires*, *Dans le trou noir*, *Les trous de ver*, *Microtrous noirs et trous de ver*. Les notions de base sur la nature des trous noirs, leurs caractéristiques physiques et leurs effets sont fournis à travers des explications de la terminologie, par exemple :

Terminologie	Définition	Page
Horizon des événements	Frontière du trou noir, distance limite, frontière géométrique de l'espace-temps qui marque la séparation entre une zone simplement incurvée et une zone de non-retour	p.171
Quasars	Galaxies qui apparaissent comme un seul point lumineux	p.183
Amas globulaires	Des sortes des boules composées de plusieurs centaines de milliers d'étoiles	p.188
Singularité	Valeur infinie apparaissant dans un continuum	p.190

Trous de ver	Tunnels hypothétiques qui mettent en communication différentes régions de l'Univers	p.191
Théorie des cordes	Théorie qui a pour ambition de remplacer la relativité générale pour écrire la gravitation à très petite échelle	p.197

En outre, les notions données sur les trous noirs sont éclairées par les marqueurs de glose, qui explicitent les concepts à travers des exemples plus proches et clairs au lecteur :

Marqueur de glose	Exemple	Page
Comme	Tout l'Univers se trouve dedans, <i>comme</i> l'arbre dans la graine	p.171
C'est-à-dire	Sans fond, <i>c'est-à-dire</i> que toute matière qui franchit le bord du puits est irrémédiablement capturée	p.171
Appelle	On <i>appelle</i> cette distance limite « frontière » du trou noir	p.171
Appelle	On <i>appelle</i> « trou noir » non pas l'objet qui se trouve au fond du puits, [...] mais tout la zone à l'intérieur de la frontière de non-retour	p.171
Comme	Près de la frontière d'un trou noir, la courbure est telle que l'espace se retourne <i>comme</i> un gant	p.175
Comme	Ce n'est plus le trou noir qui semble être un petit point dans l'Univers, mais l'Univers qui apparaît <i>comme</i> un petit point dans le trou noir	p.175
C'est-à-dire	Le puits de gravité va capturer la matière de l'étoile compagne. <i>C'est-à-dire</i> que le gaz de l'enveloppe extérieure va être aspiré dans le puits	p.177
C'est-à-dire	Ces flashes devaient provenir des galaxies lointaines, <i>c'est-à-dire</i> d'un millier de fois plus loin que ce qu'on pensait	p.179
Comme	Elles évoluent, <i>comme</i> une lignée végétale ou animale dont l'environnement changerait progressivement	p.181
Comme	Il suffit d'observer le comportement d'un corps pour tout savoir sur son voisin, <i>comme</i> si l'un était le moule qui donne l'empreinte de l'autre	p.182
Comme	<i>Comme</i> s'il était à la diète	p.183

Appeler	On a découvert aujourd'hui des catégories de trous noirs qu'il faut bien <i>appeler</i> « supergéants », ou « supermassifs »	p.183
Appelées	Ces galaxies sont <i>appelées</i> quasars	p.183
Appelés	Beaucoup d'étoiles, ou restes d'étoiles, du halo galactique sont groupées en troupeaux denses <i>appelés</i> amas globulaires	p.188
Par exemple	Il faudrait aller voir sur place, avec une sonde, <i>par exemple</i>	p.190
C'est-à-dire	Des boucles temporelles, <i>c'est-à-dire</i> des possibilités de retourner vers son propre passé	p.193
C'est-à-dire	La seule zone accessible aux voyages dans l'espace-temps serait sans connexion causale avec le présent, <i>c'est-à-dire</i> les endroits qui n'ont pas pu communiquer avec la Terre durant le laps de temps remonté lors du voyage	p.194

2.2.3. Les galaxies : terminologie et marqueurs de glose

La troisième section étudiée a été *Les galaxies*, qui se compose de sous-sections traitant de *Types de galaxies*, *La matière des galaxies*, *Le passé vu dans les galaxies*, *La répartition des galaxies*, *Les collisions entre galaxies*. Dans cette section, l'auteur fournit des explications sur la terminologie spécialisée des galaxies :

Terminologie	Définition	Page
Galaxies spirales	Comme la Voie lactée, comportent un disque, un bulbe et un halo	p. 203
Galaxies irrégulières	Comme les Nuages de Magellan, sont aplaties mais moins structurées, un peu comme des spirales sans bulbe et sans halo	p.204
Galaxies elliptiques	Présentent un gros bulbe, un gros halo et pas de disque	p.204
Galaxies à noyau actif	Des galaxies dont le noyau est extrêmement dense et lumineux	p. 205
Amas de galaxies	Galaxies se répartissent et forment des groupes d'amas	p. 212

Puis, l'emploi des marqueurs de glose explicite les notions sur les galaxies et leurs caractéristiques physiques, comme par exemple :

Marqueur de glose	Exemple	Page
Comme	Elles devraient fuser <i>comme</i> les gouttes d'eau autour d'un chien qui s'ébroue	p.205
C'est-à-dire	Matière classique brillante, <i>c'est-à-dire</i> les étoiles	p.208
C'est-à-dire	Matière classique invisible, <i>c'est-à-dire</i> tout le reste	p.208
C'est-à-dire	Faire de la cosmologie, <i>c'est-à-dire</i> étudier l'histoire de l'Univers dans son ensemble	p.211
Appelées	Les galaxies forment des grappes <i>appelées</i> amas de galaxies	p.212
Comme	Ils sont disposés selon des sections aplaties et forment des murs interconnectés, un peu <i>comme</i> les parois des bulles dans une mousse de savon	p.212
Appelait	Comme si l'on <i>appelait</i> « amas de noisettes » un noisetier, au mépris des branches et des feuilles	p.215
Comme	Les étoiles sont <i>comme</i> des guirlandes accrochées sur des carrousels de gaz et de poussières	p.215
Comme	Les galaxies sont <i>comme</i> des noisettes dans une frondaison de gaz	p.215
Comme	Notre Groupe local <i>comme</i> une frondaison de gaz	p.216
Autrement dit	<i>Autrement dit</i> , les distances entre les galaxies sont nettement moins grandes, comparativement, que les distances entre les étoiles	p.216
Comme	Le vide entre les galaxies diffère du vide entre les étoiles <i>comme</i> l'air diffère de l'eau	p.217
Comme, ou comme	Les galaxies s'accrochent <i>comme</i> des noisettes sur la branche, <i>ou comme</i> des gouttes d'eau sur une toile d'araignée	p.217
Comme	On voit des disques galactiques dont le plan est tordu <i>comme</i> une roue de vélo voilée	p.219
Comme	L'Univers est un ramassis d'épaves, <i>comme</i> une piste d'autos tamponneuses remplie de véhicules sans pare-chocs	p.219
Comme	N'allez pas croire qu'il s'agit de chocs violents <i>comme</i> lorsque deux corps solides se rencontrent	p.219
Comme	Ce sont deux bataillons très clairsemés qui se rencontrent et	p.220

	se croisent sans s'être touchés, <i>comme</i> deux groupe de danseurs qui se traversent sur scène.	
--	--	--

2.3. L'emploi des expressions figées dans *Bonnes nouvelles des étoiles*

Les expressions figées que Jean-Pierre Luminet utilise dans l'œuvre *Bonnes nouvelles des étoiles* rendent les notions et les exemples plus proches de lecteurs grâce à leur appartenance au registre familier. Elles représentent le style du genre de la vulgarisation, qui rapproche les notions techniques de lecteurs non spécialistes. En outre, elles transmettent le sens global des concepts qui donnent beaucoup d'informations scientifiques. Les expressions figées rendent le rythme des énoncés approprié au registre moyen de l'œuvre de vulgarisation, comme par exemple :

Dans le texte source :	Dans le texte cible :
Montrer le bout du nez	Mostrare la punta del naso
Garder sous le pied	Tenere da parte
S'accrocher aux basques de qqn	Seguire da vicino
Être sur une fausse piste	Essere in un vicolo cieco
Condamner dans l'œuf	Stroncare sul nascere
Froid de canard	Freddo cane
Avoir le cafard	Essere triste
Faire les délices de qqn	Essere la delizia per qualcuno
Reprendre le flambeau	Passare il testimone
Chercher au diable	Cercare chissà dove
Faire bombance	Fare una scorpacciata
Sortir le grand jeu	Usare i migliori mezzi
Mettre le grappin sur	Mettere le mani su
Avoir l'œil dessus	Tener d'occhio
Mettre au rancart	Mettere da parte
Se payer le luxe	Pagarsi il lusso
Prêter le flanc à	Essere oggetto di
Avoir le cœur net	Vederci chiaro
Être légion	Essere in gran numero
Boucler la boucle	Chiudere il cerchio

Idées en l'air	Solo idee
Faire le poids	Competere, reggere il confronto
Sens dessus dessous	Sottosopra, disordinato
Être les dindons de la farce	Essere le vittime della situazione
Jeter aux orties	Gettare alle ortiche
Voir de ses yeux	Vedere con i propri occhi
À qui mieux mieux	Fare del proprio meglio
Tomber nez à nez sur	Ritrovarsi faccia a faccia
Se crêper le chignon	Prendersi per i capelli

3. Caractéristiques syntaxiques dans l'œuvre

Les observations qui suivent proposent des remarques syntaxiques et des commentaires sur les choix et la stylistique du genre de vulgarisation de Jean-Pierre Luminet à propos de l'emploi de l'interrogation, des constructions impersonnelles, de la phrase passive, de la coordination, de la subordination et de la syntaxe des circonstancielles.

3.1. Le rôle de l'interrogation

Grâce à l'interrogation, Jean-Pierre Luminet pose le facteur d'incidence sur le complément qui est l'objet de la question. En outre, l'auteur augmente la participation du lecteur, parce que les questions qui sont posées sont des phares qui frappent l'attention du lecteur et le mènent aux explications qui sont développées dans la foulée.

Les typologies d'interrogation qui caractérisent l'œuvre sont représentées par les constructions suivantes : l'inversion sujet-verbe, l'inversion complexe constituée par le sujet et l'inversion pronom-verbe, le déterminant interrogatif *quel*, le pronom *que* et l'inversion sujet-verbe, et enfin, le pronom *que* et morphème *est-ce que*, comme dans les exemples :

Typologie d'interrogation	Exemple	Page
Pronom <i>que</i> + inversion sujet-verbe	Mais, pour fabriquer une bactérie, <i>que faut-il ?</i>	p.34
Pronom <i>que</i> + morphème <i>est-ce que</i>	<i>Qu'est-ce que</i> un solvant universel ?	p.34

Intonation	À quoi bon découvrir de la vie, si elle n'a pas pu s'épanouir au-delà de la première cellule ?	p.35
Inversion complexe : sujet + inversion pronom-verbe	<i>La vie est-elle</i> un phénomène unique et singulier, ou au contraire un phénomène banal qui s'enclenche chaque fois que certaines conditions sont réunies ?	p.36
Déterminant interrogatif <i>quel</i>	Alors, <i>quels</i> sont donc les cailloux qu'il s'agit de visiter ?	p.36
Adverbe <i>où</i>	Mais <i>où</i> sont les rivières d'antan ?	p.38
Inversion sujet-verbe	<i>Sommes-nous</i> seuls dans l'Univers ?	p.42
Inversion sujet-verbe	<i>Est-ce</i> bien d'ailleurs un gros sacrifice ?	p.42
Adverbe <i>pourquoi</i> + inversion sujet-verbe	<i>Pourquoi</i> ne <i>pourrait-elle</i> pas le faire ailleurs ?	p.45
Inversion sujet-verbe	<i>Est-il</i> possible qu'une seule souche de bactéries, une souche originelle, ait peuplé ces divers habitats déconnectés les uns des autres ?	p.48
Déterminant interrogatif <i>quel</i>	Par <i>quel</i> miracle ?	p.49
Pronom <i>que</i> + inversion sujet-verbe	<i>Qu'a-t-on</i> une chance de trouver entre les deux ?	p.49
Inversion sujet-verbe	<i>Est-ce</i> un lieu pour vivre ?	p.49
Adverbe <i>comment</i> + inversion sujet-verbe	<i>Comment</i> <i>pourrait-on</i> les observer ?	p.175
Adverbe <i>où</i>	Mais d' <i>où</i> vient qu'un trou noir pourrait être source de rayonnement X ?	p.177
Inversion sujet-verbe	<i>S'agissait-il</i> d'une bombe soviétique clandestine ?	p.179
Inversion sujet-verbe	<i>Sont-ils</i> des trous noirs primordiaux, formés très tôt dans l'histoire de l'Univers par des effondrements de matière cataclysmiques et autour desquels les galaxies se sont structurées ?	p.187
Adverbe <i>où</i>	<i>Où</i> va la matière qui tombe dans un trou noir ?	p.190
Inversion sujet-verbe	<i>Y a-t-il</i> un fond ?	p.190
Déterminant interrogatif <i>quelle</i>	De <i>quelle</i> nature est cette déformation radicale du tissu élastique ?	p.190
Inversion sujet-verbe	<i>S'agit-il</i> d'une courbure infinie ?	p.190
Inversion sujet-verbe	Ne tourneraient pas sur eux-mêmes ?	p.191

Pronom <i>que</i> + morphème <i>est-ce que</i>	<i>Qu'est-ce qu'un trou noir ?</i>	p.195
Pronom <i>que</i> + inversion sujet-verbe	<i>Que se passerait-il si l'on avait un petit tas de matière ultraconcentrée ?</i>	p.195
Inversion complexe : sujet + inversion pronom-verbe	<i>L'énergie nécessaire pour en produire un de la variété la plus petite serait-elle accessible dans l'accélérateur de particule LCH du CERN ?</i>	p.197
Adverbe <i>comment</i>	<i>Comment être sûr que celle-ci aura bien lieu ?</i>	p.198
Inversion sujet-verbe + déterminant interrogatif <i>quel</i>	<i>Peut-on savoir pour quel genre de film elles déploient les grandes scènes de leur répertoire : naissance nébuleuse, vie dispendieuse, mort spectaculaire, recyclage des cadavres ?</i>	p.201
Inversion sujet-verbe	<i>Demande-t-on au plancton de dresser une carte de l'océan ?</i>	p.201
Inversion sujet-verbe	<i>Ont-elles aussi une naissance, une vie, une mort ?</i>	p.202
Déterminant interrogatif <i>quelles</i>	<i>Quelles sont les relation entre elles ?</i>	p.202
Inversion sujet-verbe	<i>Forment-elles des sociétés à leur tour ?</i>	p.202
Déterminant interrogatif <i>quel</i>	<i>Quel motif compose le tableau global de l'Univers ?</i>	p.202
Inversion sujet-verbe	<i>Sont-elles réparties au hasard, comme des raisins dans un cake ?</i>	p.212
Déterminant interrogatif <i>quelle</i>	<i>Quelle est la taille de la galaxie ?</i>	p.216
Adverbe <i>comment</i> + inversion sujet-verbe	<i>Comment font-elles pour ne pas se cogner ?</i>	p.216
Pronom <i>que</i> + inversion sujet-verbe	<i>Que se passe-t-il pour empêcher qu'elles se cognent ?</i>	p.218

L'emploi de l'interrogation dans ces énoncés montre l'intention de l'auteur de reprendre le fil du discours, à partir des notions plus techniques qu'il a développé précédemment et il stimule aussi la curiosité du lecteur en lui posant des questions directes. Le rôle de l'interrogation est indispensable pour maintenir un haut niveau d'intérêt du public, autrement le lecteur est chargé de contenus spécifiques qui peuvent être de difficile compréhension. De cette façon, la question posée directement représente une pause de no-

tions déjà expliquées auparavant et elle prépare à un élan vers un rythme discursif moins intense, caractérisé par les éclaircissements discursifs typiques de la communication scientifique de vulgarisation. En fait, l'emploi des interrogations présente un impact fort dans la communication, parce qu'il permet au lecteur de réfléchir sur les informations données et d'introduire un raisonnement successif qui résume les notions techniques à travers des exemples plus concrets et pratiques.

3.2. Les constructions impersonnelles

Dans les phrases impersonnelles remarquables dans l'œuvre, le sujet impersonnel *il* montre son contenu référentiel vide avec les verbes météorologiques, *s'agir*, *avoir*, *être*, *exister* *falloir*, et *suffire*, comme dans les exemples tirés de l'œuvre :

Impersonnel	Exemple	Page
Il y a	<i>Il n'y a pas</i> de petits hommes verts	p.33
Il s'agit	<i>Il s'agit</i> d'une approche anthropocentrique	p.34
Il serait	<i>Il serait</i> interdit de s'y prendre autrement	p.35
Il faut	<i>Il nous faut</i> remuer un à un tous les cailloux du système solaire	p.36
Il fait	<i>Il fait</i> tellement froid que même les gaz deviennent solides	p.39
Il est	<i>Il est</i> maintenant certain que	p.46
Il existe	<i>Il n'existe pas</i> de vitesse de libération qui permettrait de s'échapper	p.171
Il suffit	<i>Il suffit</i> donc de pointer dans notre liste tous les compagnons invisibles	p.176
Il fut	<i>Il fut</i> baptisé Cygnus X-1	p.177
Il s'agit	<i>Il s'agit</i> de la disparition de gaz surchauffé au fond d'un trou noir	p.178
Il existe	<i>Il existe</i> en principe une autre façon de « voir » un trou noir	p.178
Il est	<i>Il est permis</i> d'espérer qu'un jour elle s'en passera	p.179

Il s'agit	<i>Il s'agit d'un nouveau changement d'échelle par rapport au chapitre précédent</i>	p.201
Il y a	<i>Il y en a des dizaines de milliers</i>	p.201
Il est	<i>Il est bien normal que</i>	p.205
Il faut	<i>Il faut nécessairement postuler une masse totale très supérieure</i>	p.205
Il suffirait	<i>Il suffirait que nous ayons des yeux pour les ondes radio ou les rayons X</i>	p.208
Il existe	<i>Ou s'il n'existe pas des champs de force</i>	p.209

Dans le genre de la vulgarisation pratiqué par Jean-Pierre Luminet, l'effet produit par ces constructions impersonnelles est celui de rendre les énoncés proches au registre moyen de la langue, afin de faciliter la lecture au grand public. De cette façon, le lecteur a la possibilité d'assimiler les notions à travers des structures syntaxiques simples et explicatives.

3.3. La phrase passive

L'emploi de la tournure passive est intéressant dans l'œuvre, parce qu'elle montre la valeur résultative dans les énoncés, afin d'éclairer les phénomènes et les effets qui ont lieu dans l'Univers, à l'aide aussi de la préposition *sous l'effet de*, comme par exemple :

Exemple de phrase passive	Page
L'eau y ayant été déposé jadis par une comète	p.47
L'autre partie de l'eau éjectée se fige immédiatement <i>sous l'effet</i> du gel	p.53
Il a été conceptualisé dès les années 1930	p.175
<i>Sous l'effet de</i> la gravitation, alors que la matière ordinaire en était empêchée par ses interactions avec le rayonnement intense	p.208
Les profondeurs <i>sont écrasées</i> et mises côte à côte	p.210
Des tranches d'espace et des tranches de temps se trouvent <i>assemblées</i> par le hasard de notre point de vue	p.210

Dans cette différence <i>sont inscrits</i> les effets du passage du temps	p.211
---	-------

Dans les énoncés qui portent la phrase passive, l’auteur montre le résultat qui est produit par les effets physiques qui ont eu lieu dans les corps célestes. Le style vulgarisateur de Luminet se caractérise par le passif en présentant de façon directe l’effet provoqué et facilite la compréhension des notions techniques au lecteur.

3.4. La coordination

Jean-Pierre Luminet privilégie la parataxe dans l’œuvre *Bonnes nouvelles des étoiles*. En effet, les syntagmes nominaux et verbaux sont sur le même plan syntaxique, et pour cette raison, l’enchaînement paratactique s’appuie sur la coordination qui permet la linéarité du discours et l’apprentissage du lecteur. En particulier, la liaison est évoquée par les connecteurs argumentatifs : les conjonctions de coordination et les adverbes conjonctifs argumentatifs.

Dans l’œuvre, les conjonctions de coordination *car, donc, et, mais, ni, or, ou* permettent la récursivité horizontale de combinaison des phrases, comme dans les exemples :

Conjonction de coordination	Exemple	Page
Car	<i>Car</i> la bactérie turbine sans relâche, capitalisant sur des milliers de générations avec l’efficacité de l’aveugle opiniâtre	pp.33-34
Et	Elle est apparue dans l’eau, un solvant universel, le plus simple, <i>et</i> à partir de la chimie organique	p.34
Ou	L’eau qui coule joyeusement <i>ou</i> s’étale en jolies flaques est un havre idéal	p.35
Et	Mars était dotée de cours d’eau, <i>et</i> elle était beaucoup moins froide qu’aujourd’hui	p.37
Or	<i>Or</i> , dans l’histoire de la Terre, la vie semble être apparue très tôt, aussi tôt qu’il était possible	p. 38
Or	<i>Or</i> , quand la pression atmosphérique est trop faible, tout liquide s’évapore instantanément	p.39

Et	L'atmosphère est retenue par la force de gravité, <i>et</i> son poids fait pression sur l'eau des océans et des rivières	p.39
Donc	Nous voyons <i>donc</i> son équateur au milieu de l'image, totalement déshydraté	p.39
Mais	Toutes les missions prévues jusqu'en 2050 au moins sont donc automatiques, <i>mais</i> les projets de missions habitées existent	p.41
Mais	<i>Mais</i> , quand l'excursion devient un périple d'un an ou deux, une nouvelle génération de problèmes surgissent	p.42
Donc	Il s'agit <i>donc</i> de trouver des stratégies de compensation destinées aux os, aux muscles, aux fluides, au métabolisme, sans parler du psychisme	p.42
Mais	La conquête de Mars sera une aventure longue, complexe et coûteuse, <i>mais</i> qui vaut bien des sacrifices	p.42
Car	Le méthane ne peut pas subsister plus de trois cents ans, <i>car</i> des réactions chimiques dues au rayonnement solaire le dégradent en permanence	p.46
Et	La sonde spatiale Galileo est passée près d'Europe à plusieurs reprises, <i>et</i> ses mesures ont indiqué, à la surprise générale, que le cœur du satellite était chaud	p.48-49
Mais	Sur Europe, il n'y a pas d'océan liquide, la surface est bien trop froide, <i>mais</i> en son sein il y a un cœur liquide	p.49
Mais	Ce volcanisme n'était pas enfouie à des dizaines ou des centaines de kilomètres, comme sur Europe ou Titan, <i>mais</i> se trouvait à seulement quelques mètres sous la glace	p.53-54
Et, donc	Il n'existe pas de vitesse de libération qui permettrait de s'en échapper, <i>et donc</i> la lumière non plus ne peut pas en sortir	p.171
Mais	L'observateur sur Terre qui regarde l'astronaute au	p.172

	télescope ne le verra jamais plonger dans le trou noir, <i>mais</i> aura l'impression qu'il ralentit	
Mais	Les plieurs de fourchettes n'existent probablement pas, <i>mais</i> le trou noir est un grand plieur de lumière	p.173
Et	Poussons la logique encore un peu plus loin, <i>et</i> nous allons mettre le monde à l'envers	p.173
Et	Le trou noir se renferme <i>et</i> vous avale	p.174
Mais, et	Non seulement l'espace et le temps sont relatifs, <i>mais</i> les notions d'intérieur et d'extérieur sont également relatives à un référentiel <i>et</i> dépendent du trajet des rayons lumineux	p.174-175
Mais	Il a été conceptualisé dès les années 1930, <i>mais</i> la théorie s'est surtout développé dans les années 1970	p.175
Et	Ils doivent être entourés de particules et de nuages de gaz, vestiges des étoiles qui leur ont donné naissance – <i>et</i> celles-ci pourraient trouver le moyen de nous faire signe	p.175
Et, car	De telles observations ont été réalisées, <i>et</i> les objets observés sont des candidats au statut de trou noir, <i>car</i> ils correspondent à tout ce qu'on a prévu au sujet de ces captures	p.177
Et, mais	Comme si vous entendez des voix à coup sûr <i>et</i> pouviez même les enregistrer, <i>mais</i> sans savoir d'où elles viennent	p.179
Et	Plus l'Univers vieillit, plus l'hydrogène disparaît <i>et</i> se transforme en éléments plus lourds	p.181
Mais	Les étoiles se succèdent <i>mais</i> ne se ressemblent pas tout à fait	p.181
Et	Ils se produisent dans des galaxies plus vieilles et plus proches que les sursauts longs <i>et</i> sont donc moins puissants	p.181
Et	Les étoiles plus massives observées jusqu'à présent ne dépassent pas cent fois la masse du Soleil <i>et</i> ne peuvent donc pas former de trous noirs plus massifs	p.182

Car	Ces galaxies sont appelées quasars, pour « quasi-star », <i>car</i> , supplantées par leur cœur brillant, elles apparaissent comme un seul point lumineux et non comme le halo diffus qu'affichent les autres galaxies	p.183
Car	Cette bouffée échappe au trou noir <i>car</i> elle est émise avant que l'étoile ait franchi l'horizon	p.184
Et	Il ne contient pas de gaz libre, <i>et</i> il ne s'y forme plus d'étoiles nouvelles	p.188
Et	La traversée d'un trou de ver obéit aux lois de la relativité <i>et</i> se fait à une vitesse inférieure	p.193
Et	Ces structures pourraient se former <i>et</i> survivre quelques fractions de seconde	p.195
Et	Des particules élémentaires pourraient s'engouffrer dans le trou de ver, remonter dans le temps <i>et</i> déboucher dans d'autres régions de l'Univers	p.196
Mais, ou	Plusieurs tentatives théoriques explorent activement ces hypothèses, <i>mais</i> nous ne sommes pas encore près de transformer <i>ou</i> de jeter aux orties une théorie aussi performante que la relativité générale	p.209
Donc	Toute image du ciel profond est <i>donc</i> un patchwork dont chaque source est saisie à un moment différent	p.210
Donc, et	Elle nous donne <i>donc</i> des informations directes sur le passé très ancien, <i>et</i> c'est grâce à cela que nous pouvons faire de la cosmologie	p.211
Mais, et	<i>Mais</i> la technique progresse sans arrêt, <i>et</i> nous creusons des tunnels de plus en plus profonds vers le passé de l'Univers	p.211
Mais	Newton aurait dit qu'elles sont attirées les unes par les autres, <i>mais</i> après Einstein on dirait plutôt qu'elles obéissent aux déformations de l'espace	p.213
Et	Elles sont logiquement difficiles à détecter <i>et</i> sont restées sous-représentées dans nos catalogues	p.214
Et	Les galaxies naines réchauffent l'espace, <i>et</i> , en réchauffant l'espace, elles rendent plus difficiles les	p.218

	effondrements gravitationnels ultérieurs	
Mais	Nous n'aurons pas le plaisir d'assister à l'événement, <i>mais</i> il suffit de pointer nos instruments un peu partout dans le ciel	p.218
Ou	Les galaxies continueront chacune leur chemin, <i>ou</i> bien elles resteront amalgamées, engluées par leur gravitation respective	p.220
Et	Les deux grandes spirales vont s'emmêler les pattes <i>et</i> se mélanger en une grande galaxie elliptique animée d'une immense flambée d'étoiles	p.221
Mais	Non seulement elles renseignent sur la façon dont la galaxie s'est formée, <i>mais</i> elles fournissent aussi des indices sur la répartition de la matière noire	p.222
Ou, et	Leur vitesse augmenterait <i>ou</i> diminuerait en fonction du champ gravitationnel, <i>et</i> nous aurions une idée de la distribution de la masse de la galaxie	p.222

Les adverbes conjonctifs argumentatifs favorisent la coordination et sont *ainsi*, *aussi*, *cependant*, *d'ailleurs*, *en effet*, *par conséquent*, *comme* :

Connecteur argumentatif	Exemple	Page
Même	Et, <i>même</i> s'il peut paraître moins glorieux de pister de miteux microbes	p.33
En effet	<i>En effet</i> , dès lors que vous avez fabriqué une bactérie, vous pouvez virtuellement confectionner n'importe quoi	p.33
Ainsi	<i>Ainsi</i> pour le carbone, et une ribambelle d'autres éléments qui aiment s'accrocher à ses basques	p.34
Même	Il est probable que les premières manifestations bactériennes remontent plus loin encore, <i>même</i> si nous n'en avons pas de traces	p.38
Ainsi	Des débris, sont <i>ainsi</i> libérés dans l'espace, et certains viennent croiser l'orbite de la Terre	p.43
D'ailleurs	Une nouvelle piste pour la recherche de vie sur Mars est <i>d'ailleurs</i> envisagée depuis qu'on connaît les bactéries	p.45

	endogées	
Ainsi	Et <i>ainsi</i> chaque année, sachant qu'elle s'y étend sur trente de nos années terrestres, tout le stock de méthane liquide migre d'un pôle à l'autre	p.52
Cependant	<i>Cependant</i> , plus il y a d'étoiles, plus le système solaire devient instable	p.176
Ainsi	<i>Ainsi</i> , les étoiles nous livrent, par leurs oscillations gravitationnelles, les fiches signalétiques des planètes ou des étoiles compagnes	p.182
Cependant	<i>Cependant</i> , nous nous attendions à voir les gerbes du repas de l'ogre, or ces étoiles du centre galactique semblent rester en équilibre	p.183
En effet	<i>En effet</i> , l'horizon d'un trou noir de cette masse ne se trouve qu'à un rayon de 3 kilomètres de son centre	p.186
Par conséquent	<i>Et par conséquent</i> le reste de la galaxie serait invisible, sans parler de l'Univers	p.188
En effet	<i>En effet</i> , ils modifient la topographie de l'Univers en créant des connexions directes entre des points éloignés	p.192
En effet	<i>En effet</i> , en vertu de la relativité, en acquérant de la vitesse, les intrus augmenteraient leur masse	p.194
En effet	<i>En effet</i> , ces éléments ne sont produits qu'au cœur des étoiles, ils ont donc dû être exportés très loin	p.217

3.5. La subordination

La subordination est présente en mesure réduite dans l'œuvre. En fait, l'emboîtement hypotactique est représenté par les subordonnées complétives et les circonstancielles causales, temporelles, finales et concessives. Les complétives indépendamment de leur forme, ont fonction de sujet ou de complément d'objet direct, par rapport à la phrase principale et elles représentent un achèvement indispensable.

Les subordonnées relatives que Jean-Pierre Luminet utilise, sont introduites par *auquel, dont, où, qui, que, quoi*, comme dans les exemples :

Pronom relatif	Exemple	Page
Que	La bactérie, c'est la vie dans l'œuf, la vie sous toutes ses formes, celles, foisonnantes, <i>que</i> nous connaissons, et puis les autres, innombrables, inimaginables, <i>qu'</i> elle garde sous le pied pour le cas où	p.34
Qui	Un milieu fluide <i>qui</i> vous accueille en son sein et permet à tout un chacun de se rencontrer	p.34
Qui	Rechercher dans le système solaire des localités <i>qui</i> peuvent ou <i>qui</i> ont pu présenter dans le passé des conditions analogues	p.34
Où	Allez donc mettre le doigt sur les infimes recoins <i>où</i> la température s'étale dans la plage comprise entre 0 et 100°C	p.35
Où	Cette immensité laiteuse, <i>où</i> notre angoisse clignote	p.36
Que	Mais cela n'excluait pas la possibilité <i>qu'</i> il y eût des résidus aqueux	p.39-40
Où	Dans une zone <i>où</i> de vastes stocks de glace ont été détectés juste au-dessous de la surface	p.41
Où	Les meilleurs terrains pour la récolte de météorites sont les déserts de sables et les banquises, <i>où</i> il y a peu d'autres reliefs et cailloux pour les camoufler	p.43
Qui	L'eau se soulève de plusieurs mètres sur le côté de la Terre <i>qui</i> fait face à la Lune	p.49
Que	On a acquis la conviction qu'un océan liquide se trouvait emprisonné sous l'épaisse couche de glace et <i>que</i> cet océan mériterait une étude plus approfondie	p.51
Dont	Elle donne quand même une idée concrète de la façon <i>dont</i> les équations d'Einstein relient la densité de la matière à la courbure de l'espace-temps	p.171
Que, qui, où	C'est n'est pas une frontière physique <i>qu'</i> on pourrait toucher, mais une frontière géométrique de l'espace-temps <i>qui</i> marque la séparation entre une zone simplement incurvée et une zone de non-retour, <i>où</i> la pente de la cuvette devient verticale	p.171
Qui	Les rayons <i>qui</i> proviennent d'un objet situé derrière le	p.172

	trou noir, par exemple, seront courbés en passant près de lui	
Que	Grâce aux torsions qu'il impose aux rayons lumineux, il rend visible tout ce <i>qu'</i> il est censé cacher	p.173
Qui	C'est n'est plus le trou noir qui semble être un petit point dans l'Univers, mais l'Univers <i>qui</i> apparaît comme un petit point dans le trou noir	p.175
Qui	Formant un disque plat <i>qui</i> va devenir de plus en plus chaud	p.177
Dont	Les étoiles hypermassives sont un peu les dinosaures du ciel, les premières grosses pourvoyeuses d'atomes lourds <i>dont</i> le règne est aujourd'hui révolu	p.181
Dont	Ses effets gravitationnels sont très clairement observés sur les étoiles proches, <i>dont</i> la vitesse est d'autant plus rapide que l'orbite est resserrée	p.182
Qui	La gravitation différentielle <i>qui</i> s'exerce sur les bords opposés de l'étoiles brise la cohérence	p.184
Auquel	Le modèle se hisse au rang glorieux de théorie vérifiée, du moins jusqu'à ce qu'on bute sur une anomalie, <i>auquel</i> cas il faudra songer à une meilleure théorie qui expliquera toutes les observations	p.185
Que	La surface du cliché ne représente <i>qu'</i> une infime portion du ciel	p.201
Quoi	Difficile en effet de saisir ce dans <i>quoi</i> l'on est profondément immergé	p.203
Dont	Ce sont des galaxies épaisses, <i>dont</i> la forme va de la sphère à la savonnette	p.204
Dont	Ce sont les galaxies à noyau actif, des galaxies <i>dont</i> le noyau est extrêmement dense et lumineux	p.205
Qui	Il y aurait de la matière noire « exotique », <i>qui</i> ne serait pas composée d'atomes ordinaires	p.206
Dont	Toute image du ciel profond est donc un patchwork <i>dont</i> chaque source est saisie à un moment différent	p.210
Qui, dont	Les amas de galaxies ne doivent pas être confondus	p.213

	avec les amas globulaires, <i>qui</i> sont des groupes d'étoiles présents dans le halo de la galaxie- et <i>dont</i> nous avons déjà dit qu'ils étaient le siège des trous noirs intermédiaires	
Qui	Il s'agit peut-être de galaxies <i>qui</i> ne sont pas nées comme telles mais par fusion d'un grand nombre de galaxies naines	p.214
Que	Quant à l'espace entre les galaxies, avec le gaz que nous venons de lui découvrir, on pourrait croire <i>qu'</i> il affiche une densité comparable à l'espace vide entre les étoiles	p.216
Qui	Ils sont marqués par une grande onde circulaire <i>qui</i> est née à partir du choc avec l'autre galaxie	p.219

Grâce à l'emploi des pronoms relatifs qui introduisent les propositions subordonnées relatives, l'auteur Jean-Pierre Luminet a la possibilité de mieux contextualiser les nouvelles notions qu'il présente et de donner plus d'informations concernant les découvertes scientifiques exposées. La fonction primaire des subordonnées relatives est donc celle de faciliter la compréhension du lecteur qui s'approche à la connaissance des corps célestes présents dans l'Univers en reliant l'énoncé principal à une ou plusieurs subordonnées en mesure de développer et d'éclairer les concepts.

3.6. La syntaxe des circonstancielles

Les circonstancielles présentes et prédominantes dans l'œuvre sont de la typologie causale, temporelle, finale et concessive.

Les marqueurs de subordination des circonstancielles causales présents dans l'œuvre sont *car*, *puisque* et *parce que*, comme dans les exemples :

Circonstancielles causales	Exemple	Page
Car	<i>Car</i> , avant de produire des éléphants et des violettes, la vie s'est développée sur Terre n'a d'abord montré que le bout de son nez	p.33
Car	Ces conjectures passionnantes restent malheureusement fumeuses jusqu'à nouvel ordre, <i>car</i> nous man-	p.35

	quons fatalement de guide pour la pensée	
Car	<i>Car</i> , en avalant de la matière, le trou noir est forcé de sortir de l'ombre	p.182
Car	<i>Car</i> les conditions ne peuvent pas rester idéales, il y aura tôt au tard de petites perturbations	p.194
Car	Les galaxies ont tendance à y tourner autour d'un centre de gravité commun, <i>car</i> elles sont liées entre elles par leur influence gravitationnelle	p.213
Car	Aucune collision n'a mis en péril la belle structure à spirale de la Voie lactée, <i>car</i> les assaillants étaient trop petits pour la détruire	p.221

Le choix du connecteur *car* favorise l'introduction d'une proposition qui explique ou justifie une proposition précédemment énoncée et permet d'expliquer la cause sans rendre l'énoncé trop long et lourd à la lecture. Pour cette raison, dans l'œuvre de vulgarisation de Jean-Pierre Luminet le connecteur *car* est plus présent que *parce que* et *puisque*.

Circonstanciennes causales	Exemple	Page
Parce que	Un astronaute qui s'y aventurerait verrait son corps étiré comme un spaghetti, <i>parce que</i> ses pieds subiraient une force de gravité beaucoup plus forte que sa tête	p.172
Parce que	Si la galaxie d'Andromède nous paraît vieille tandis que la galaxie Goods 850-5 nous semble très jeune, c'est <i>parce que</i> nous sommes en proximité d'Andromède	p.210

La locution conjonctive *parce que* marque une relation causale et introduit une proposition qui a le but d'expliquer la cause des événements, mais l'emploi de ce connecteur n'est pas aussi fréquent dans le texte.

Circonstanciennes causales	Exemple	Page
Puisque	Cela peut durer longtemps, en effet, <i>puisque</i> vous	p.174

	tournez en rond sans le savoir	
Puisque	En effet, <i>puisque</i> un trou noir engloutit tout ce qui passe à sa portée	p.182
Puisque	<i>Puisqu'</i> ils sont bien là, il faut expliquer leur cohésion et supposer une masse bien plus grande que celle qu'on voit	p.215
Puisque	On les reconnaît à ce qu'elles présentent une richesse chimique anormale par rapport à leurs cousines de formation primordiale, <i>puisque</i> elles recyclent le matériau de galaxies	p.221

L'emploi du connecteur *puisque* introduit une proposition qui exprime une cause ou une justification qui sont déjà connues par le lecteur. En outre, à travers le choix de *puisque* l'auteur pose l'accent sur la causalité des événements et souligne les effets qui sont expliqués dans les énoncés qui suivent.

Les marqueurs de subordination des circonstancielles temporelles remarquables dans l'œuvre sont *après*, *avant*, *quand* et *lorsque*, en fait :

Circonstancielles temporelles	Exemple	Page
Après	Les rencontres qu'elles feront <i>après</i> leur naissance joueront un rôle déterminant dans leur destin	p.204
Après	<i>Après</i> des années de chasse à la matière noire ordinaire, on a récolté beaucoup d'indices	p.206

Le connecteur *après* introduit une action postérieure par rapport aux actions énoncées et le choix de ce connecteur par rapport à d'autres synonymes comme *ensuite* ou *successivement*, remarque l'intention de rester proche à la langue commune et au style du genre vulgarisateur de l'œuvre qui favorise l'assimilation des concepts.

Circonstancielles temporelles	Exemple	Page
Avant	Le gaz s'épuise littéralement <i>avant</i> qu'un disque ne puisse se former	p.204

Avant	Le gaz en rotation s'aplatit sous son propre poids <i>avant</i> de se condenser localement	p.204
-------	---	-------

Le connecteur *avant* introduit une action antérieure par rapport aux actions énoncées et l'auteur choisit ce connecteur pour rester proche à la langue commune et au style de la vulgarisation qui caractérise l'œuvre, afin d'assurer au public la compréhension des notions et des phénomènes physiques qui ont lieu dans l'Univers.

Circonstanciennes temporelles	Exemple	Page
Lorsque	<i>Lorsqu'</i> il atteint la frontière du trou noir, sa vitesse atteint celle de la lumière	p.172
Lorsque	<i>Lorsque</i> la masse des neutrinos a enfin été mesurée, elle était bien trop minime pour satisfaire les projets de mariage	p.207
Lorsque	Une partie de la masse manquante a été identifiée <i>lorsqu'</i> on a pu observer les amas de galaxies en rayons X	p.215
Lorsque	<i>Lorsque</i> deux spirales massives entrent en collision, les grandes quantités de gaz qu'elles contiennent se transforment rapidement en étoiles	p.220

Le connecteur *lorsque* marque la simultanéité temporelle entre l'action présente dans la proposition principale et l'action de la proposition subordonnée. Le choix de ce connecteur par rapport à d'autres synonymes comme *pendant que* et *tandis que*, remarque les caractéristiques du genre de la vulgarisation de rendre accessibles les notions aux lecteurs.

Circonstanciennes temporelles	Exemple	Page
Quand	Le paysage que vous observez par le hublot <i>quand</i> vous regardez vers le trou noir est une zone noire sphérique	p.173
Quand, avant	<i>Quand</i> le taux de natalité stellaire est plus faible, le gaz en rotation s'aplatit sous son propre poids <i>avant</i>	p.204

	de se condenser localement	
Quand	<i>Quand</i> on étudie un cliché de l'espace lointain, il faut prendre en compte la profondeur temporelle	p.209

Le connecteur *quand* marque la simultanéité avec l'action exprimée dans la proposition principale, toutefois ce marqueurs n'est pas aussi fréquent par rapport à *lorsque*.

Le marqueur de subordination des circonstancielles finales est remarqué par *pour que*, comme dans l'exemple :

Circonstancielles finales	Exemple	Page
Pour que	Il suffirait que nous ayons des yeux pour les ondes radio ou les rayons X, à l'exclusion du reste, <i>pour que</i> l'Univers nous apparaisse fort différent	208

Le marqueur de subordination *pour que* introduit une proposition finale, mais il n'est pas fréquent dans l'œuvre.

Enfin, le marqueur de subordination des circonstancielles concessives est *bien que*, comme par exemple :

Circonstancielles concessives	Exemple	Page
Bien que	<i>Bien que</i> les trous noirs géants et supergéants soient détectés dans beaucoup de galaxies, le mécanisme de leur formation reste incertain	187
Bien que	<i>Bien qu'</i> observe ses effets gravitationnels, on n'a que des hypothèses théoriques sur sa composition	207

Le marqueur de subordination *bien que* introduit une proposition concessive qui indique l'absence des effets de l'action qui la relie à la proposition principale, en outre, ce connecteur est plus proche à la langue commune et au style vulgarisateur par rapport aux synonymes *malgré que*, *néanmoins*.

Chapitre V

Les opérations traductionnelles

1. L'origine des opérations de traduction : Vinay et Darbelnet

Dans leur célèbre *Stylistique comparée du français et de l'anglais*¹⁹⁶ publiée en 1958, Vinay et Darbelnet proposent une méthode qui a amélioré la conscience des processus de traduction grâce aux procédures qu'ils ont mises au jour. En effet, selon les auteurs, les phases auxquelles tous les traducteurs doivent faire face sont : 1) l'identification des unités de traduction, 2) l'analyse de la langue source du texte qui consiste dans la détermination du contenu descriptif, affectif ou intellectuel des unités de traduction, 3) la reconstitution de la situation qui a donné lieu au message, 4) la réflexion et l'évaluation des effets stylistiques. Selon Vinay et Darbelnet, toutes les réflexions qui concernent la langue de départ aboutissent aux opérations de traduction en langue cible. En conséquence, les opérations de traduction sont un résultat qui répond aux choix et aux exigences du traducteur et leur validité est assurée par la résolution des problèmes dans les contextes différents tenant à la finalité de la traduction et aux attentes des destinataires.

Grâce à l'étude de stylistique comparée, qui est à la base de la méthodologie de la traduction selon Vinay et Darbelnet, les opérations de traduction sont évaluées par rapport aux caractères fonctionnels et dynamiques qui dépendent du genre d'appartenance du texte, de la typologie de traduction, de la modalité de traduction, de la finalité de la traduction, des caractéristiques du destinataire et de la méthode choisie. En général, les traducteurs choisissent entre deux principales stratégies de traduction nommées *traduction directe* ou *littéraire* et *traduction oblique*. Dans certaines tâches de traduction, les opérations de *traduction directe* ou *littéraire* transposent directement en langue cible le terme présent dans le texte source pour des raisons de catégories ou des concepts parallèles résultant de parallélismes métalinguistiques ; en particulier, ces opérations sont représentées par l'emprunt, le calque et la traduction littéraire. Cependant, quand les traducteurs remarquent la présence de lacunes terminologiques dans la langue

¹⁹⁶ Vinay J.-P., Darbelnet J., *Stylistique comparée du français et de l'anglais*, Paris, Didier, Londres, Har-
rap, Montréal, Beauchemin, 1958.

cible, ce manque doit être comblé par l'emploi des éléments correspondants qui transmettent la même impression globale présente dans le texte source, en particulier, ces opérations sont : la transposition, la modulation, l'équivalence et l'adaptation.

Dans *Stylistique comparée du français et de l'anglais*¹⁹⁷, Vinay et Darbelnet ont élaboré une classification de ces sept différentes opérations de traduction. Ils les distinguent en les énumérant dans l'ordre de complexité croissante :

- 1) l'emprunt transmet directement le terme source en langue originale dans le texte cible de la traduction. C'est l'exemple des termes italiens comme *ravioli* et *spaghetti* ; des termes espagnols comme *sombrero* et *corrida* ; des termes anglais comme *cake*, *paquebot* et *quasar* qui sont présents en français. La décision d'emprunter un terme à une langue source est une question stylistique et en conséquence du message ;
- 2) le calque est un type particulier d'emprunt : il reproduit la construction du terme source et son image, à travers l'imitation, comme dans les exemples suivants de l'anglais au français : *full-time* > *temps plein*, *Web* > *Toile*, *skateboard* > *planche à roulettes* ; *walkman* > *baladeur*.
- 3) la traduction littérale a lieu quand la langue source et la langue cible ont une coïncidence exacte de la forme entre les termes et les constructions, comme dans les exemples : *j'aime ça* > *amo questo* ; *ça me plaît* > *mi piace*, *le livre est sur la table* > *the book is on the table* ;
- 4) la transposition consiste dans le remplacement d'un mot ou d'une partie du discours par un autre, sans changer le sens du message. Elle peut être obligatoire comme par exemple : *as soon as he gets up* > *dès son lever* ; ou optionnelle : *as soon as he gets up* > *dès qu'il se lève*, *after he comes back* > *à son retour* ;
- 5) la modulation rend le message à travers un changement de point de vue de la langue de départ, elle peut être obligatoire comme dans l'exemple : *the time when* > *le moment où*, ou optionnelle comme par exemple : *it is not difficult to show* > *il est facile de démontrer*. La modulation consiste dans le remplacement de l'abstrait par le concret ; la cause par l'effet ; la partie

¹⁹⁷ Vinay J-P, Darbelnet J, *op. cit.*, 1958.

par le tout ; la négation de l'opposé ; la forme active par le passif et vice-versa ; l'espace par le temps ; le changement de métaphores ;

- 6) l'équivalence traduit le message à travers des moyens stylistiques et structurels complètement différents, mais qui possèdent le même sens, comme dans les proverbes ou les expressions figées : *comme un chien dans un jeu de quilles* > *like a bull in a china shop*, *il pleut à seaux* > *it's raining cats and dogs* ;
- 7) l'adaptation constitue l'extrême limite de la traduction et elle peut être décrite comme un type particulier d'équivalence. Elle est le processus qui cherche à traduire une situation intraduisible par une autre plus ou moins semblable et elle implique un changement de référence culturelle, par exemple une comparaison de l'anglais qui vient du langage du baseball peut être traduite par une comparaison en français à travers la référence au Tour de France¹⁹⁸.

Enfin, les sept opérations principales formulées par Vinay et Darbelnet agissent sur trois niveaux : 1) le lexique ; 2) le message utilisé pour indiquer le contexte métalinguistique ; 3) l'agencement qui comprend les structures syntaxiques, l'ordre des mots, de la structure thématique, les connecteurs, les liens de cohésion, les marqueurs du discours et la ponctuation. Les sept opérations de Vinay et Darbelnet sont incluses dans les dix-huit techniques de traduction formulées par Hurtado Albir.

2. Les typologies des opérations traductionnelles selon Hurtado Albir et Molina

D'autres procédés de traduction sont définis dans *Traducción y Traductología : Introducción a la Traductología*¹⁹⁹, où la classification proposée par Hurtado Albir comprend les sept principales opérations formulées par Vinay et Darbelnet (l'emprunt, le calque, la traduction littérale, la transposition, la modulation, l'équivalence et l'adaptation), et ajoute onze autres typologies d'opération de traduction : l'expansion linguistique, l'amplification, la compensation, la compression linguistique, la création

¹⁹⁸ Mounin G., *Traductions et traducteurs*, traduit en italien par Morganti S., *Teoria e storia della traduzione*, Torino, Einaudi, 1965, p. 65.

¹⁹⁹ Hurtado Albir A., *Traducción y Traductología : Introducción a la Traductología*, Madrid, Cátedra, 2001.

discursive, la description, l'élision, la généralisation, la particularisation, la substitution, et la variation.

Pendant l'adaptation, le traducteur remplace un élément culturel par un autre qui appartient à la culture cible. Cette opération correspond à l'adaptation formulée par Vinay et Darbelnet, à la substitution culturelle de Taber et Nida et à l'équivalent culturel de Margot.

L'expansion linguistique est généralement utilisée dans l'interprétation consécutive et le doublage. Au lieu d'utiliser le même nombre de termes, l'expansion linguistique prévoit l'ajout d'éléments linguistiques et elle s'oppose à l'opération de compression linguistique.

L'amplification est caractérisée par l'introduction d'éclaircissements qui ne sont pas présents dans le texte source. Ces précisions comprennent des informations, des paraphrases explicatives ou des notes en bas de page. Cette opération concerne l'explicitation de Vinay et Darbelnet, l'addition de Delisle, la paraphrase légitime ou illégitime de Margot, la paraphrase explicative de Newmark, les périphrases et les paraphrases de Delisle. L'amplification s'oppose à l'opération de l'élision.

Le calque est caractérisé par la traduction littérale d'un terme ou d'un syntagme en langue étrangère. Le calque peut être : sémantique comme le verbe *realizzare* dans le sens de *rendersi conto* du verbe anglais *realize*, ou morphologique comme par exemple l'expression *paese in via di sviluppo* qui vient de l'anglais *developing country*, ou le terme *ferrovia* qui est un calque du terme allemand *Eisenbahn*. Cette opération correspond à l'acception de Vinay et Darbelnet.

La compensation introduit un élément d'information ou un effet stylistique dans une autre position dans le discours de traduction. La compensation coïncide avec la conception de Vinay et Darbelnet.

La compression linguistique utilise la synthèse des éléments linguistiques. La compression linguistique est généralement utilisée dans l'interprétation simultanée et dans le sous-titrage. Cette opération s'oppose à l'amplification linguistique.

La création discursive établit une équivalence éphémère imprévisible hors du contexte et elle coïncide avec la proposition de Delisle.

La description prévoit un remplacement d'un terme ou d'une expression par la description de sa forme ou de sa fonction.

Dans l'élision, des éléments d'information qui sont présents dans le texte source ne sont pas formulés dans le texte cible. L'élision peut être associée à l'implication de Vinay, Darbelnet et Delisle, elle s'oppose à l'amplification et à l'explicitation.

L'équivalence décrit la même situation présente dans le texte source en recourant à une expression totalement différente qui est propre de la langue cible, comme par exemple l'expression anglaise *break a leg* en italien est traduit par *in bocca al lupo* et en français par *bonne chance*. Cette opération correspond à l'équivalence de Vinay et Darbelnet.

La généralisation consiste dans l'emploi d'un terme qui a un caractère plus général ou plus neutre que celui présent dans le texte source. Cette opération coïncide avec l'acceptation de Vinay et Darbelnet et elle s'oppose à l'opération de la particularisation.

La modulation peut se manifester au niveau lexical ou structurel ; elle permet un changement du point de vue, de la perspective ou de la catégorie d'idée par rapport à la formulation présente dans le texte source ; comme par exemple l'expression française *danger de mort* est traduite en allemand par *Lebens gefahr*. Cette opération correspond à l'acceptation que lui donnent Vinay et Darbelnet.

La particularisation consiste dans l'emploi d'un terme qui a un caractère plus spécifique ou concret que celui présent dans le texte source. Cette opération coïncide avec l'acceptation de Vinay et Darbelnet et elle s'oppose à la généralisation.

L'emprunt intègre un terme ou une expression d'une autre langue. L'emprunt peut être *pur*, sans aucun changement, ou *naturalisé*, c'est-à-dire translittéré en langue cible. L'emprunt pur correspond à l'opération de l'emprunt formulée par Vinay et Darbelnet ; l'emprunt naturalisé coïncide avec la technique de la naturalisation de Newmark.

La substitution linguistique ou paralinguistique est propre à l'interprétation et elle suppose le remplacement des éléments linguistiques présents dans le texte source par d'autres éléments paralinguistiques, comme par exemple l'intonation ou les gestes, ou vice-versa : le geste arabe de porter la main sur le cœur peut être remplacé par *gracias*.

La traduction littérale est plus rare qu'on ne le pense et elle consiste dans la traduction mot à mot d'un terme ou d'une expression, comme par exemple l'expression

anglaise *They are as like as two peas* est traduite en espagnol par *Se parecen como dos guisantes*. L'opération de la traduction littérale de Hurtado et Molina correspond à la traduction littérale de Vinay et Darbelnet.

La transposition consiste dans le changement de catégorie grammaticale.

La variation implique un changement des éléments linguistiques ou paralinguistiques qui concernent les aspects de la variation linguistique, comme par exemple les changements de style, d'argot ou de dialectes géographiques, de tonalité comme par exemple dans la narration des fables ou des contes pour les enfants.

3. L'usage des opérations de traduction dans *Bonnes nouvelles des étoiles*

Pendant le processus de traduction des sections de l'œuvre *Bonnes nouvelles des étoiles*, la traductrice a rencontré des enjeux non seulement au niveau lexical, mais aussi au niveau syntaxique, qui ont demandé l'emploi de certaines opérations traductionnelles pour résoudre les problèmes de traduction. En fait, le processus de traduction présente plusieurs enjeux à propos des énoncés qui ne peuvent pas être traduits par des structures équivalentes et pour cette raison le traducteur utilise des stratégies et des opérations afin de garantir la fidélité au texte source.

La tâche du traducteur est celle de travailler sur le message que l'auteur du texte source veut transmettre et sur le sens. Pour cette raison, il doit être en mesure de privilégier le contenu du terme à transmettre par rapport à sa forme et à son sens primaire. En particulier, les termes appartenant à la terminologie de l'astrophysique, les expressions figées, les différentes sphères sémantiques des termes utilisés par l'auteur Jean-Pierre Luminet ont représenté pour le traducteur non seulement un enjeu, mais aussi une opportunité de mettre en œuvre personnellement les opérations traductionnelles définies par Vinay et Darbelnet, Hurtado et Molina.

Les objectifs de cette analyse consistent d'abord à quelques exemples dans le contexte en français ; ensuite à constater comment appliquer les procédés techniques de traduction définis et classés non seulement par Vinay et Darbelnet, mais aussi par Hurtado et Molina ; enfin à montrer l'aboutissement de l'opération traductionnelle en italien. D'ailleurs, pour résoudre les problèmes de traduction, la traductrice a recours à différents moyens pendant les nombreuses étapes de l'étude, du moment que la compétence linguistique en traduction n'est pas à considérer comme une entité isolée. En par-

ticulier, ont été déterminantes l'étude et l'analyse concernant les éléments culturels de la langue source et de la langue cible, la terminologie spécifique du domaine de l'astrophysique, les expressions figées présentes dans la langue source et puis transposées et adaptées à la langue cible. En matière de traduction, on peut affirmer qu'elle produit une transmission du sens qui est recréé par le traducteur à travers l'emploi des stratégies et des opérations de traduction pour communiquer les expressions, les termes et les structures syntaxiques en permettant aux lecteurs de la langue cible d'avoir accès aux notions exprimées par l'auteur du texte de la langue source. Enfin, les opérations mises en œuvre pendant le processus de traduction des sections de *Bonnes nouvelles des étoiles* ont été : 1) l'emprunt ; 2) le calque ; 3) la transposition ; 4) l'amplification ; 5) l'équivalence ; 6) la généralisation ; 7) la particularisation.

3.1. L'emprunt

L'opération traductionnelle de l'emprunt consiste dans l'intégration d'un terme ou d'une expression propre d'une autre langue. L'emprunt peut être de deux typologies : l'emprunt est *pur* quand il ne présente pas de changements ; l'emprunt est *naturalisé* quand il prévoit la translittération en langue cible. En particulier, un exemple de l'application de l'emprunt est le terme *trou de ver*.

Trou de ver / Wormhole

Pendant la recherche des candidats pour la traduction du terme *trou de ver*, les termes qui ont été détectés sont *ponte d'Eistein-Rosen*, *cunicolo spazio-temporale* et *wormhole*. Le traducteur a pratiqué l'emprunt pour aboutir à la traduction du terme *trou de ver*, qui en italien est *wormhole*. En effet, l'emploi du terme *wormhole* appartenant au domaine terminologique de l'astrophysique est plus fréquent en italien, même si ce terme vient de l'anglais et, partant, est quelque peu opaque à la compréhension immédiate du lecteur. *Wormhole* est un terme technique qui trouve un emploi plus usuel en italien que le synonyme *ponte di Einstein-Rosen* ; tandis que la traduction littérale *buco di verme* et l'amplification du terme *cunicolo spazio-temporale* sont toujours évités. Le terme technique *trou de ver* peut être traduit littéralement par *buco di verme* pour aider le lecteur, mais cette explication n'est pas présente dans la terminologie du domaine de l'astronomie. Pour cette raison, la traductrice doit recourir à des stratégies sémantiques

afin de rester cohérent au registre stylistique du texte source et de trouver des correspondants en langue cible. Les candidats pour la traduction du terme *trou de ver* sont : *ponte d'Eistein-Rosen*, *cunicolo spazio-temporale* et *wormhole*. En premier lieu, le terme *ponte d'Eistein-Rosen* est synonyme de *wormhole*, lié aux noms des deux savants qui ont théorisé son existence, mais qui n'est pas aussi fréquent dans les textes de vulgarisation scientifique. Donc, ce terme ne peut pas être choisi pour des raisons de registre linguistique, parce qu'il serait plus spécifique qu'au terme présent dans le texte source. En deuxième lieu, le terme *cunicolo spazio-temporale* est une périphrase qui explique de quoi s'agit-il. Donc, l'idée de remplacer une paraphrase par un terme technique résulte être un bon choix, mais qui est en même temps peut satisfaisant du point de vue de la recherche terminologique. Un autre candidat, *wormhole*, est emprunté à l'anglais : synonyme de *pont d'Eistein-Rosen*, il est d'emploi très fréquent, y compris dans les revues du genre de la vulgarisation scientifique qui traitent les sujets astronomiques. Pour cette raison, *wormhole* satisfait le besoin de trouver un terme qui n'appartienne pas à un registre trop spécialisé comme le terme *pont d'Eistein-Rosen* et qui n'est pas une explication comme *cunicolo spazio-temporale* qui rendrait l'énoncé trop lourd à la lecture. Ce terme a été intégré en italien dans sa forme originelle et il représente un exemple d'emprunt pur, sans aucun changement par rapport au terme anglais.

3.2. Le calque

L'opération traductionnelle du calque est caractérisée par la traduction littérale d'un terme ou d'un syntagme en langue étrangère. Elle a été mise en œuvre par exemple dans la traduction de l'adjectif *terrocentrique*, les termes *hyperamas* et *crêpe stellaire flambée*. Ces néologismes ne trouvent pas de correspondants cibles immédiats en italien, mais en considérant leur contexte, l'opération du calque morphologique a permis à la traductrice de transmettre le contenu des notions données par l'auteur dans le texte source.

Hyperamas / Iperamasso

Le terme *hyperamas* est un néologisme utilisé par l'auteur pour indiquer que les superamas sont la typologie de groupement d'échelle supérieure et qu'il n'existe pas de groupement en hyperamas. Pour cette raison, la traductrice doit recourir à des straté-

gies sémantiques afin d'adopter le même point de vue que l'auteur et de transmettre ce concept source au destinataire. À travers l'opération du calque linguistique, afin de transmettre la notion de grandeur donnée par le préfixe *hyper-*, le terme *hyperamas* a été traduit par *iperammasso*.

Terrocentrique / Terrocentrico

L'adjectif *terrocentrique* est un exemple de néologisme présent dans le texte source qui fait référence à la conception de la Terre au centre d'un système ou comme le centre de l'Univers selon le modèle ptolémaïque. Il instaure un rapport de concurrence avec l'adjectif *géocentrique*, plus technique et qui appartient à un registre plus élevé. Mais cet adjectif confère un caractère de nouveauté au texte de vulgarisation scientifique ; en fait, non seulement il semble faciliter la lecture, mais aussi il contribue à la compréhension immédiate grâce au terme *terro-* qui vient de Terre et *-centrique* qui indique le centre. Pour cette raison, l'adjectif *terrocentrique* ne peut pas être remplacé par *géocentrique* plus technique et qui appartient à un registre plus élevé, mais il doit être conservé dans l'énoncé dans la traduction, à travers la technique du calque sémantique et morphologique dont l'aboutissement est *terrocentrico*.

Crêpe stellaire flambée / Crêpe stellare infuocata

Le terme *crêpe stellaire flambée* est un autre exemple de néologisme qui a été proposé par l'astrophysique Jean-Pierre Luminet pour définir la déformation d'une étoile causée par un phénomène d'écrasement provoqué par les forces de marée d'un trou noir. Cependant, ce terme est présent seulement dans les textes de vulgarisation scientifique en français et pour cette raison la traductrice a dû recourir au calque morphologique. Le terme *crêpe stellaire flambée* relie le domaine culinaire, à travers le substantif *crêpe* et l'adjectif *flambée*, avec les domaines de l'astronomie et de l'astrophysique, à travers l'adjectif *stellaire*. Ce terme est un exemple de métaphore terminologique qui, en se détachant du domaine culinaire, constitue un nouveau terme désignant un phénomène spécifique du domaine de l'astrophysique. En particulier, la métaphore terminologique *crêpe stellaire flambée* représente un ressort en mesure de nouer un lien entre l'élément connu du domaine culinaire et le concept nouveau et inconnu de l'astrophysique. En fait, l'aplatissement en forme de *crêpe* est causé par la

force de gravité du trou noir ; en outre, ce processus peut déclencher une explosion au niveau thermonucléaire. Pour cette raison, le concept de *crêpe stellaire* génère aussi l'adjectif *flambée*. La traduction des métaphores à fonction vulgarisatrice implique l'exigence d'une exigence de montrer une adhésion plus stricte à l'isotopie présente dans le texte de départ. En fait, l'analogie servant de tremplin pour la compréhension du concept est partagée au-delà des divergences linguistiques, elle permet de conserver la notion exprimée dans le texte source.

La collocation *crêpe stellaire flambée* est un néologisme utilisé comme une métaphore terminologique, en mesure de se détacher de son domaine sémantique d'origine et de créer un nouveau concept lié à l'astrophysique. En fait, depuis sa naissance, le domaine de l'astrophysique est lié à un fond commun qui trouve ses racines dans l'imaginaire partagé dans la mémoire collective des hommes. Pour cette raison, l'emploi des métaphores terminologiques dans les sciences ne permet pas seulement de créer de nouveaux concepts, mais aussi de fonder une nouvelle dénomination terminologique. La nature essentiellement théorique qui caractérise l'astrophysique recourt souvent à la représentation mentale du concept, surtout à travers des images explicatives appartenant à d'autres domaines et qui sont fondatrices de paradigmes, comme par exemple les notions des *trous noirs* et des *trous de ver* qui sont le résultat d'une création à base métaphorique provenant du domaine de la physique quantique d'origine anglo-saxonne. Un domaine source que l'astrophysique privilégie pour la création des métaphores est celui de l'anthropomorphisme : en fait les différentes typologies d'étoiles sont souvent classifiées comme étoiles mères, étoiles partenaires et étoiles célibataires. Dans ces derniers exemples, la métaphore a une fonction vulgarisatrice, et elle fonctionne comme un ressort qui explique les concepts complexes au public non spécialisé de lecteurs, à travers la relation entre les corps célestes et la vie humaine. En général, les métaphores terminologiques constituent un cas particulier parce que dans cette grande catégorie, peuvent se distinguer les métaphores fondatrices de paradigmes ou de nouvelles théories et les métaphores désignatives issues de l'usage des professionnels et créées par le concept d'analogie référentielle qui a le but de contribuer à la transmission des notions à travers une dénomination plus compréhensible. En fait, les métaphores terminologiques se basent sur une analogie perçue comme performante dans la langue source. Cependant, elles peuvent être considérées comme un enjeu dans le processus de

traduction, parce que d'un côté, elles ne sont pas forcément transposables ou transposées dans la langue cible, et de l'autre côté, les termes techniques d'un domaine de spécialité doivent être traduits par leur équivalent en langue cible.

La traduction des métaphores terminologiques présentes dans *Bonnes nouvelles des étoiles* se fonde sur l'équilibre entre la terminologie normalisée au sein du domaine de l'astrophysique et le genre de la vulgarisation. En fait, les métaphores terminologiques font référence à des concepts fondamentaux dans la théorie de l'astrophysique : il s'agit de métaphores fondatrices de nouvelles théories ou de paradigmes, qui sont normalement traduites par le calque ou bien transposées par l'emprunt, ce qui risque par ailleurs de rendre l'expression opaque et d'annuler le pouvoir heuristique de la métaphore : par exemple, le terme *wormhole* utilisé en italien ne permet pas la visualisation du concept scientifique au lecteur italien, alors qu'en français, l'unité phraséologique *trou de ver* constitue un tremplin efficace pour la compréhension immédiate du concept plus complexe de *pont d'Einstein-Rosen*. Dans *Bonne nouvelles des étoiles*, un autre exemple intéressant de métaphore terminologique est représenté par l'unité phraséologique *crêpe stellaire flambée*, présente dans la section des trous noirs : cette métaphore terminologique recourt au domaine de la gastronomie et elle est destinée à devenir un concept de référence non seulement pour le grand public, mais aussi pour les spécialistes du domaine. Dans ce cas, la métaphore figure comme un tremplin qui crée un pont reliant un élément connu du domaine culinaire au concept nouveau et inconnu de l'astrophysique. Le cas de l'expression métaphorique *crêpe stellaire flambée* est une unité phraséologique en puissance, un néologisme ; mais, à ce jour ce terme n'est pas encore entré concrètement dans la terminologie de la cosmologie et de l'astrophysique. Cet exemple représente une métaphore à une fonction dénotative : elle fonde la désignation terminologique d'un nouveau concept. Cependant, cette dénomination est présente seulement dans le genre de la vulgarisation française : pour cette raison, les stratégies mises en œuvre pour la traduction en italien de cette métaphore terminologique source ont dû tenir compte qu'il s'agit d'un néologisme. D'ailleurs, la traduction des métaphores à fonction vulgarisatrice montre une exigence d'adhésion plus stricte à l'isotopie présente dans le texte de départ : en fait, l'analogie servant de tremplin pour la compréhension du concept est partagée au-delà des divergences linguistiques, ce qui permet d'habitude une traduction plus orientée au maintien de la notion exprimée dans le texte

source. Ainsi, la métaphore terminologique de *crêpe stellaire flambée*, inventée par Jean-Pierre Luminet, est nécessairement traduite en italien par un calque qui aboutit à : *crêpe stellare infuocata*. De cette façon, l'isotopie culinaire est retrouvée comme dans le texte source et elle est utilisée à des fins de vulgarisation pour décrire le phénomène physique d'aplatissement et de combustion qui concerne les étoiles qui passent trop près d'un trou noir massif dans l'Univers.

3.3. La transposition

Grâce à la transposition, la traductrice opère un changement de catégorie grammaticale. Deux exemples de cette opération sont la collocation *déguster en brochettes* et l'adjectif *solarien*, qui ont été rendus par transposition de catégorie.

Déguster en brochettes / Gustare come degli spiedini

Un premier emploi de la transposition se produit dans la collocation *déguster en brochettes* qui a représenté un véritable enjeu du point de vue traductologique. En fait, la préposition *en* représente un obstacle à la traduction littérale et la traductrice a dû mettre en œuvre des stratégies syntaxiques afin d'être, d'un côté, cohérent et proche du texte source, et de l'autre côté, de paraphraser et retraduire en fonction du destinataire. Pour cette raison, la traduction *gustare in spiedini* n'est pas satisfaisante, elle représente un obstacle pour la compréhension du texte. Mais, grâce à l'opération de transposition, dans la traduction le complément d'objet indirect *en brochettes* a subi un changement ; en fait, la préposition *en* a été remplacée par la proposition de comparaison *come* qui introduit le complément d'objet direct. Enfin, les termes cibles pour la traduction sont *gustare come degli spiedini*.

Solarien / Del Sole

Un deuxième exemple de l'emploi de la transposition est représenté par l'adjectif *solarien* qui en italien ne peut pas être traduit banalement par l'adjectif *solare*, mais plutôt par le changement de la catégorie adjectivale en syntagme prépositionnel introduit par *del* et le substantif *Sole*. *Solare* serait plutôt la traduction de l'adjectif *solaire* qui indique et caractérise quelque chose qui provient du Soleil comme l'énergie, la lumière, les rayons. Pour cette raison, l'adjectif *solare* doit être effacé de la liste des can-

didats cibles et les stratégies qui sont mises en œuvre doivent tenir compte non seulement de la position occupée par l'adjectif *solarien* dans son contexte source, où il qualifie *routard*, mais aussi du destinataire qui doit être mis en condition de comprendre l'image produite par l'auteur dans le texte source. Enfin, l'application de la transposition permet à la traductrice de rendre l'adjectif *solarien* par le complément d'objet indirect introduit par la préposition *del* et le substantif *Sole*, dont l'aboutissement est la traduction *del Sole*.

3.4. Un sous-procédé de la transposition : l'amplification

L'opération traductionnelle de l'amplification peut être considérée comme un sous-procédé de la transposition. En effet, l'amplification est caractérisée par le changement de catégorie des termes présents dans le texte de départ et par l'introduction d'éclaircissements, à travers l'emploi de périphrases, de gloses ou de paraphrases explicatives absentes du texte source. Deux exemples de l'amplification sont représentés par l'adjectif *endogé* et par le verbe *spiraler*.

Endogé / Degli ambienti endogei

Un exemple de l'application de l'amplification est l'adjectif *endogé*. Dans le texte source, il qualifie les bactéries et il indique la capacité de certaines espèces d'organismes à vivre dans le sous-sol, jusqu'à des profondeurs considérables. En italien, l'adjectif *endogé* peut être traduit par *endogeo* : mais cet adjectif technique et spécifique appartenant au domaine de la biologie ne qualifie pas directement les bactéries, mais à l'environnement qui accueille ces organismes. Pour cette raison, l'emploi de l'amplification a impliqué une paraphrase explicative qui précède l'adjectif *endogeo* par *degli ambienti*, afin de préciser au lecteur quelle espèce de bactéries est citée par l'auteur dans le texte source. En particulier, l'amplification a permis à la traductrice de filtrer le concept présent dans la culture source et de résoudre ce problème de traduction afin de rester fidèle aux notions transmises par le texte source sur l'espèce des bactéries endogées. À partir de la définition de l'adjectif *endogeo* : « In ecologia, la parte del suolo in cui vivono organismi sotterranei (fauna e.), caratterizzata dall'assenza di luce e

dalla temperatura più o meno costante²⁰⁰ », la traductrice a été en mesure de reformuler *bactéries endogées* par l'ajout du terme *ambiente* qui en italien accompagne souvent l'adjectif *endogeo* pour éclaircir l'espèce des bactéries qui vivent et se développent dans les profondeurs terrestres. Enfin, l'aboutissement de l'amplification est *batteri degli ambienti endogei*.

Spiraler / Seguire un moto a spirale

Un deuxième exemple de l'application de l'amplification est le verbe *spiraler* qui ne trouve pas de correspondant cible direct en italien. Pour cette raison, la traductrice doit mettre en œuvre des stratégies syntaxiques pour résoudre ce problème de traduction. L'information clé à transmettre est le mouvement géométrique en spirale qu'assument les débris et les gaz près d'un trou noir par effet de son champ gravitationnel. En conséquence, il faut recourir à l'opération de l'amplification afin d'expliquer ce mouvement et la liste des possibles candidats cibles est : *girare formando una spirale* et *seguire un moto a spirale*. La première solution ne semble pas être très satisfaisante parce que le verbe *girare*, synonyme de *tourner*, transmet le sens d'un mouvement circulaire, ce qui entre en conflit avec le terme *spirale* qui n'est pas seulement un mouvement circulaire, mais continue à l'infini son évolution dans l'espace comme une courbe qui s'enroule régulièrement autour d'un point dont elle s'écarte de plus en plus. En outre, le gérondif *formando una spirale* donnerait à l'énoncé une construction trop longue et lourde. Pour cette raison, la paraphrase *girare formando una spirale* n'est pas claire et satisfaisante, et elle doit être écartée. La paraphrase *seguire un moto a spirale* s'appuie sur le verbe *seguire* qui a une acception plus vague mais qui permet l'emploi d'un complément d'objet direct en mesure d'expliquer la séquence et l'itération du mouvement caractérisé par sa forme à spirale. L'amplification permet d'expliquer ce mouvement à travers un éclaircissement donné par le verbe *seguire* suivi du complément d'objet direct *un moto* et puis un complément d'objet indirect *a spirale*. Enfin, la construction *seguire un moto a spirale* s'appuie sur le verbe *seguire* ; l'acception générique du verbe et sa construction transitive permettent un complément d'objet direct, qui par périphrase, décrit le mouvement caractérisé par sa forme à spirale.

²⁰⁰ <http://www.treccani.it/enciclopedia/ambiente-endogeo/>

3.5. L'équivalence

L'opération traductionnelle de l'équivalence décrit la situation présente dans le texte de départ en recourant à une expression propre de la langue cible qui est totalement différente de la langue source. Cette opération a été largement utilisée pendant le processus de traduction, en premier lieu pour les expressions figées et pour les termes appartenant à la terminologie de l'astrophysique et enfin pour les termes sémantiquement connotés appartenant au registre familier. Les exemples d'équivalence sont les adjectifs *biscornu* et *titanesque*, les termes *fontaine blanche*, *flonflons*, *module d'exploration*, *pied de nez*, *soupe primitive*, *trou noir supergéant* et l'expression *se tenir les côtes de rire*.

Biscornu / Arzigogolato

Un premier exemple d'équivalence est l'adjectif *biscornu* ; il appartient au registre familier et il est sémantiquement connoté de critique. Dans l'énoncé source, cet adjectif produit une visualisation du concept exprimé par l'auteur qui entre dans l'imaginaire du lecteur et la tâche de la traductrice est celle de trouver un adjectif semblable en mesure de faire visualiser le même concept au lecteur italien. L'appartenance au registre familier et la connotation sémantique de critique portée par cet adjectif représentent les deux caractéristiques sur lesquelles le traducteur fonde les paramètres à garder. En particulier, les candidats cibles détectés pour la traduction de *biscornu* sont : *irregolare*, *contorto* et *arzigogolato*. En premier lieu, l'adjectif *irregolare* peut trouver son emploi dans plusieurs domaines, comme par exemple : les mathématiques, la géométrie, la botanique et le droit canonique, mais plus en général il indique quelque chose qui ne suit pas les règles conventionnelles et qui ne transmet pas l'idée d'uniformité. Cependant, l'adjectif *irregolare* aplatit l'effet plastique de l'adjectif français, son appartenance au registre familier et sa connotation sémantique de critique. Pour ces raisons, les caractéristiques de l'adjectif *irregolare* ne satisfont pas les critères de choix du registre familier et de la connotation de critique. En deuxième lieu, l'adjectif *contorto* indique, en général, quelque chose qui a l'aspect tordu. Au sens figuré, il indique l'absence de clarté et la forme irrégulière par rapport à sa pose naturelle ; en botanique, en particulier, l'adjectif qualifie les feuilles ou les pétales qui couvrent la moitié des autres feuilles ou pétales. L'adjectif *contorto* peut être un bon candidat pour la traduc-

tion de *biscornu*, mais il lui manque une connotation sémantique de critique et il n'appartient pas au registre familier : donc, pour ces raisons, cet adjectif ne résulte pas être le candidat cible qui répond aux exigences du texte source. En troisième lieu, l'adjectif *arzigogolato* indique quelque chose qui est fait de façon bizarre, artificielle et tordue comme par exemple un discours ou une justification qui manquent de clarté. Dans sa définition, cet adjectif non seulement correspond aux caractéristiques de l'adjectif *biscornu*, mais aussi il appartient au registre familier et il est connoté sémantiquement d'une critique qui n'est pas sévère. Pour ces raisons, il satisfait tous les critères pour traduire l'adjectif *biscornu* qui ont guidé le choix final de l'adjectif *arzigogolato*.

Fontaine blanche / Buco bianco

Un deuxième exemple d'équivalence est le terme technique *fontaine blanche* : il désigne un objet théorique dérivant de la loi de relativité générale qui l'indique comme hypothétique opposé du trou noir. *Fontaine blanche* est un synonyme de *trou blanc* et calque l'anglais *white fountain*. Cependant, *fontaine blanche* ne peut pas être traduit littéralement par *fontana bianca*, parce qu'en italien, ce terme n'a pas été accueilli dans la terminologie astrophysique. Mais à travers l'opération de l'équivalence, le traducteur peut utiliser le terme *buco bianco* pour traduire *fontaine blanche*. En effet, la définition du terme *buco bianco* indique un objet qui émet de la matière mais reste impénétrable et elle correspond à la définition de *fontaine blanche*. Enfin, le terme *buco bianco* est utilisé aussi dans le genre de la vulgarisation en italien qui traite des formulations hypothétiques de ces objets antagonistes des trous noirs.

Flonflons / Motivetti

Le terme *flonflons* présente l'acception d'un son lointain d'une musique. Ces caractéristiques du terme constituent un défi pour le traducteur qui doit rechercher un candidat pour rendre ce concept en langue cible à travers des stratégies sémantiques. En fait, deux candidats peuvent répondre aux besoins du texte cible et en même temps satisfaire les acceptions intrinsèques du terme *flonflons* : *rumore* et *motivetto*. D'un côté, le terme *rumore* indique par définition une perturbation sonore, qui peut être forte et de n'importe quelle origine : d'un instrument ou d'un coup soudain et violent qui rompt le silence et provoque une sensation acoustique. Cependant, *rumore* est trop générique par

rapport au contexte et trompeur pour le destinataire du texte cible. *Motivetto* indique une expression mélodique, facile et légère, qui est propre de la terminologie musicale. Spécifique du domaine de la musique, par équivalence, ce terme correspondant transmet les mêmes caractéristiques qu'une mélodie qui peut être entendue de loin et qui exprime la légèreté des accords comme *flonflons*.

Module d'exploration / Modulo di atterraggio

Le terme technique *module d'exploration* désigne la partie de la sonde spatiale qui se détache de l'orbiteur afin de descendre dans l'atmosphère et d'effectuer des détections sur la surface d'un corps céleste. La recherche de ce terme en italien n'a montré aucun terme résultant de la traduction littérale : le terme *modulo di esplorazione* semble ne pas exister. Pour cette raison, les consultations de la section « Esplorazione dello spazio²⁰¹ » de l'encyclopédie Treccani et de la section du dictionnaire des sciences physiques²⁰² se sont avérées indispensables. *Module d'exploration* peut trouver plusieurs candidats cible, comme par exemple : *lander*, *veicolo di atterraggio*, *veicolo di rientro* et *modulo di atterraggio*. D'abord, le terme *lander* et son synonyme *veicolo di atterraggio* sont trop génériques par rapport au contexte et aux composants spécifiques de la sonde spatiale de la mission Cassini-Huygens. Ensuite, *veicolo di rientro* est utilisé quand le corps céleste à détecter présente une atmosphère ; mais ce terme n'est pas aussi fréquent dans les dossiers qui traitent de cette mission. Donc, en considérant le genre du texte de vulgarisation, la stratégie de traduction focalisée sur la nécessité de se renseigner à propos de la progression de l'information et grâce à la technique de l'équivalence, enfin, le choix du terme technique italien pour désigner cette partie de la sonde spatiale Huygens est *modulo di atterraggio*.

Pied de nez / Fare marameo

Le terme *pied de nez* désigne un geste de moquerie que quelqu'un fait pour se narguer une personne. Le geste typique pose le bout du pouce sur le nez et agite les autres doigts de la main. Pour transmettre ce concept, le traducteur doit mettre en œuvre des stratégies sémantiques et syntaxiques aptes à décrire le geste à travers des formes

²⁰¹ http://www.treccani.it/enciclopedia/esplorazione-dello-spazio_%28Enciclopedia-del-Novecento%29/

²⁰² http://www.treccani.it/enciclopedia/atterraggio_%28Dizionario-delle-Scienze-Fisiche%29/

synonymiques de moquerie. Un des candidats cibles pour traduire le terme *pied de nez* peut être *sberleffo*. Le terme *sberleffo* en fait transmet la notion de dérision, mais il est trop générique par rapport au terme *pied de nez* qui indique en particulier le geste de la main auquel il est lié. Un terme qui indique une moquerie et qui est souvent accompagné par le même geste de la main est *maramео* en italien. En outre le terme *maramео* est précédé du verbe *fare*, et par équivalence, la collocation *fare maramео* est le résultat qui permet de traduire le terme *pied de nez*.

Se tenir les côtes de rire / Tenersi la pancia dalle risate

L'expression figée *se tenir les côtes de rire* apparaît dans un contexte qui imagine des touristes du futur venant sur notre planète pour la visiter et rire de ce qu'ils voient. En outre, dans le texte source, l'énoncé qui suit cette expression est « s'ils ont encore des côtes à cette époque-là », donc le terme *côtes* est repris et pendant la traduction, le traducteur doit garder un terme cible approprié, en mesure d'être un complément d'objet direct dans le premier énoncé et de devenir le sujet dans deuxième énoncé, afin de maintenir la cohésion textuelle présente.

L'expression figée *se tenir les côtes de rire* est caractérisée par une modalité de signification imagée intéressante pour la traduction. Voici quelques candidats cibles qui transmettent cette acception et cette particulière façon de fou rire sont : *sbellicarsi dalle risate*, *smascellarsi dalle risa*, *ridere a crepappelle* et *tenersi la pancia dalle risate*. En premier lieu, dans l'expression *sbellicarsi dalle risate*, le verbe *sbellicarsi* trouve sa racine dans le mot *ombelico* qui s'éloigne de l'expression présente dans le texte source, en outre le verbe *sbellicarsi* est intransitif et il est suivi d'un complément indirect de cause. Cependant, le deuxième énoncé où le terme *côtes* est répété, demande un complément d'objet direct présent dans le premier énoncé, en mesure de devenir le sujet de l'énoncé qui suit et qui peut transmettre une image semblable au texte source. Pour ces raisons, l'expression *sbellicarsi dalle risate* ne représente pas un choix satisfaisant et approprié à ce contexte.

En deuxième lieu, l'expression *smascellarsi dalle risa* est trop ancienne par rapport au registre linguistique du genre de divulgation scientifique et le verbe *smascellarsi* est intransitif. En outre, le verbe *smascellarsi* est lié au mot *mascella* qui s'éloigne beaucoup par rapport à l'image présente dans le texte source. En troisième lieu,

l'expression *ridere a crepelle* est liée au mot *pelle* qui s'éloigne des *côtes* ; en outre, elle indique une façon de rire et elle ne présente pas un complément d'objet direct en mesure de devenir le sujet de l'énoncé qui suit. Dans l'expression *tenersi la pancia dalle risate*, le verbe *tenersi* est transitif et le complément d'objet direct *pancia* peut devenir le sujet de l'énoncé suivant. Cette expression est propre du registre familier comme l'expression *se tenir les côtes de rire* ; en outre le terme *pancia* est sémantiquement lié à la sphère de l'anatomie du ventre, même si le terme *pancia* est plus familier. Donc le terme *côtes* peut être remplacé par le terme *pancia*, afin de maintenir une image semblable à celle présente dans le texte source et pour une raison de cohérence textuelle. En conclusion, l'expression cible du premier énoncé est *tenersi la pancia dalle risate*, et l'expression cible du deuxième énoncé est *se hanno ancora la pancia a quell'epoca*.

Soupe primitive / Brodo primordiale

La collocation *soupe primitive* traduite littéralement donne comme résultat *minestra primitiva*, une traduction qui peut représenter une fausse piste et amener le lecteur à penser à une soupe faite par l'homme des cavernes. Mais cette acception est trompeuse. L'idée que l'auteur exprime dans le texte source et celle d'un endroit qui conserve ses caractéristiques primordiales, sans être contaminé par les sondes spatiales. Pour aboutir à une traduction satisfaisante, les stratégies sémantiques mises en œuvre doivent tenir compte de l'énoncé et de l'intention de l'auteur présente dans le texte source afin de trouver des synonymes adaptés au contexte. Pour ce qui concerne l'emploi de cette collocation dans le domaine biologique, la recherche dans l'encyclopédie Treccani donne une équivalence, la collocation *soupe primitive* trouve un emploi précis qui présente d'autres termes en langue cible. En fait, la collocation *brodo primordiale*²⁰³ explique les conditions des eaux à l'origine de l'évolution des organismes vivants dans une planète et correspond parfaitement à la collocation *soupe primitive*.

²⁰³ <http://www.treccani.it/vocabolario/brodo/>

Titanesque / Titaniano

L'adjectif *titanesque*²⁰⁴ fait référence au plus grand satellite de Saturne, Titan. L'emploi d'un adjectif semblable en italien n'est pas fréquent dans les dictionnaires, mais à partir des recherches terminologiques sur des sites d'astronomie, le traducteur a découvert l'existence d'un adjectif semblable aussi en italien. La difficulté majeure est celle de ne pas confondre l'adjectif *titanesque* et l'adjectif *titanico* en italien. En premier lieu, l'adjectif *titanico* fait référence aux Titans de la mythologie grecque qui au sens figuré est synonyme de puissance et de grandeur, mais aussi le même adjectif fait référence aux composés chimiques dérivés du titane. En deuxième lieu, l'adjectif *titaniano*²⁰⁵ est résultat du processus de formation terminologique du domaine astrophysique par dérivation à partir du terme *Titano* et l'ajout du suffixe *-iano* pour former l'adjectif masculin singulier. Enfin, l'adjectif *titaniano* représente l'aboutissement de l'opération de l'équivalence qui permet de maintenir les relations conceptuelles présentes dans le texte source et il est le candidat cible satisfaisant parce qu'il est utilisé pour décrire les éléments qui caractérisent Titan.

Trou noir supergéant / Buco nero supermassiccio

La collocation *trou noir supergéant* ne présente pas de termes correspondant en italien et la traduction littérale *buco nero super gigante* n'est pas un terme technique propre de la terminologie italienne de l'astrophysique. Pour cette raison, le traducteur a dû mettre en œuvre des stratégies sémantiques afin de trouver des synonymes appropriés pour transmettre les informations au lecteur. Les recherches terminologiques qui considèrent les caractéristiques de cette typologie de trous noirs et de leur grandeur ont mené à un seul synonyme dont l'emploi remplace souvent l'adjectif *supergéant*. La consultation de l'encyclopédie Treccani²⁰⁶ a fourni des connaissances préliminaires à propos des trous noirs supergéants dans les galaxies et de leur puissance gravitationnelle, en fait, l'adjectif *supermassif* à travers l'opération de l'équivalence peut trouver son correspondant direct et être traduit par l'adjectif *supermassiccio* qui utilisé dans la terminologie des trous noirs en italien.

²⁰⁴ <https://www.cnrtl.fr/definition/titanesque>

²⁰⁵ <https://web.archive.org/web/20160602073431/http://www.asi-proc.it/titan-it>

²⁰⁶ http://www.treccani.it/enciclopedia/galassia_%28Enciclopedia-Italiana%29/

3.6. La généralisation

L'opération traductionnelle de la généralisation consiste dans l'emploi d'un terme ayant un caractère plus général ou plus neutre que celui qui est présent dans le texte source. Un exemple de l'application de cette opération concerne le terme *lueur*.

Lueur / Lucina

Dans le texte source, le terme *lueur* est précédé de l'adjectif *minuscule* et il représente un enjeu pour le traducteur. Son acception transmet l'information d'une lumière faible mais durable, comme par exemple la lueur des étoiles, combinée avec l'adjectif *minuscule*, qui indique la très petite dimension. Ces sèmes doivent persister dans le terme cible afin que ce dernier reste cohérent avec le texte source et induise la visualisation du concept pour le lecteur cible. En conséquence, le traducteur doit penser à l'emploi d'un terme qui satisfasse ces paramètres de recherche terminologique. La généralisation inspire l'emploi de *lucina*, diminutif de *luce*, au lieu de *bagliore* porteur d'une lumière trop intense et aveuglante, par rapport à celle présente dans le texte source. En effet, quand le terme *lueur* est précédé de l'adjectif *minuscule*, le traducteur utilise le terme *lucina* pour indiquer une très petite lumière caractérisée par la faiblesse, mais aussi par sa durabilité. Pour conclure, le terme *lucina* est plus général que *bagliore*, mais il permet de transmettre la notion correcte sur l'intensité des étoiles visibles dans le ciel profond et de rendre linéaire et fluide la structure syntaxique comme celle présente dans le texte de départ.

3.7. La particularisation

L'opération traductionnelle de la particularisation prévoit l'emploi d'un terme ayant un caractère plus spécifique ou concret que celui qui est présent dans le texte source. L'application de la particularisation est représentée par l'adjectif *rabougri* et les exemples des collocations : *réservoir de la vie* et *réservoir de glace*.

Rabougri / Rinsecchito

L'adjectif *rabougri* représente un défi sur le plan sémantique. En fait, il est synonyme de *mal formé*, irrégulier et les adjectifs italiens qui peuvent satisfaire les carac-

téristiques de la définition et être dans la liste des candidats cibles sont : *deforme* ou *irregolare*. Mais, dans le paragraphe qui contient cet adjectif, l'auteur ne fait pas référence à la forme de la planète Mars, mais à son manque d'eau. Donc, dans le texte cible, le traducteur ne doit pas seulement tenir compte de l'énoncé en particulier, mais surtout de l'ensemble de son contexte. Pour cette raison, la stratégie sémantique mise en œuvre dans le processus de traduction a été celle de trouver un synonyme en langue cible de l'adjectif *rabougri* à travers l'opération de la particularisation et la recherche a mené au choix final de l'adjectif *rinsecchito* qui transmet au lecteur la notion de manque d'eau et l'effet causé par la sécheresse de la planète, qui est présent dans l'énoncé précédent.

Réservoir de la vie / Serbatoio di vita

Dans l'œuvre *Bonnes nouvelles des étoiles*, le terme *réservoir* présente deux acceptions : d'un côté, un sens plus concret représenté par la combinaison du terme *réservoir* suivi du syntagme prépositionnel « de glaces » ou par l'adjectif « liquides » ; de l'autre côté, un sens métaphorique quand le terme *réservoir* est suivi du syntagme prépositionnel « de la vie ».

Pour cette double nature, la traductrice a cherché à différencier les deux acceptions du terme et à appliquer un raisonnement logique qui identifie les structures présentes dans le texte source. En premier lieu, pendant la recherche d'un terme correspondant à *réservoir de la vie*, le sens à transmettre se situe sur le plan métaphorique. Ce terme dans cet énoncé fait référence à un endroit qui garde les bactéries et leur capacité d'être le moteur qui déclenche la vie sur une planète en comparaison avec l'océan comme réservoir de la pluie. Donc, les stratégies doivent tenir compte de la comparaison avec l'océan et de l'emploi au sens figuré. Pour cette raison, les termes candidats sont : *contenitore*, *deposito*, *serbatoio*. Premièrement, le terme *contenitore* est trop générique, il indique tout objet ayant la capacité de contenir des matériaux et il a une acception très concrète ; deuxièmement, le terme *deposito* indique un endroit où sont conservés des objets, mais le terme est trop concret pour recevoir une acception métaphorique et qui n'est pas apte à être utilisé aussi pour la comparaison avec l'océan comme réservoir de la pluie. Troisièmement, le terme *serbatoio* fait référence à la capacité de contenir de l'eau ; en fait on parle de *serbatoi d'acqua*, donc il est en mesure de soutenir la comparaison avec l'océan et il est utilisé aussi au sens figuré. À travers la particuli-

sation, au lieu de traduire le terme *réservoir* par les termes plus génériques, la traductrice a trouvé une solution en utilisant un terme plus spécifique que celui présent dans le texte source, en accord avec le contexte. Le terme *serbatoio* a été utilisé pour transmettre le sens métaphorique, quand il est accompagné par le syntagme prépositionnel *de vie*. En effet, aboutissement de la particularisation, *serbatoio di vita* véhicule l'information d'un endroit qui garde les bactéries et leur capacité de développer des formes de vie sur une planète, comme l'océan est le réservoir de la pluie. Entre autres, ce terme est en accord avec les caractéristiques sémantiques actualisées par le terme *réservoir* et présentes dans le texte source : d'un côté, la comparaison avec l'océan et de l'autre côté, l'emploi au sens figuré lié au *réservoir de vie*.

Réservoir de glaces / Giacimento di ghiaccio

La recherche d'un terme correspondant à *réservoir de glaces* tient compte de la nécessité de communiquer l'information qui concerne un endroit où se vérifie l'accumulation de matière du point de vue géologique. Les candidats sont *accumulo* et *giacimento*. Le terme *accumulo* est utilisé pour indiquer l'amasement de matière dans le domaine médical, ou en géologie pour indiquer l'ensemble des roches, ou plus généralement pour indiquer l'action d'un individu qui amasse beaucoup d'objets. En outre, en italien, en terminologie des glaciers, le terme *accumulo di ghiaccio* est définit proprement le glacier. Toutefois, le texte source évoque la présence sur Mars d'accumulation de glace et à travers l'opération de traduction qui concerne la particularisation, le terme rencontré grâce à la consultation de l'encyclopédie Treccani et qui propose une définition semblable au terme français est *giacimento*. Dans ce cas, l'opération traductionnelle de la particularisation a permis de traduire le terme *réservoir de glace* par *giacimento di ghiaccio*, en accord avec le contexte source qui transmet l'information que sur Mars il y a la présence d'un endroit de réserve et d'accumulation de glace.

4. En guise de conclusion

Les opérations traductionnelles ont représenté une modalité de solution aux problèmes de traduction rencontrés dans le texte source, qui autrement seraient restés inachevés. En fait, quand la traductrice a évalué les difficultés aux niveaux lexical,

pragmatique, culturel et linguistique pendant la recherche et la traduction des termes et des expressions figées, les classifications des opérations de traduction proposée par Vinay et Darbelnet et par Hurtado Albir et Molina ont constitué le point de départ des principes fondamentaux qui ont permis la transposition des éléments linguistiques d'une langue à l'autre. En outre, les enjeux traductifs plus difficiles ont été surtout à propos des néologismes et des termes qui ne présentent pas de solution directe en italien, mais qui demandent une réélaboration du terme source à travers l'emploi de l'emprunt, du calque, de la transposition, de l'amplification, de l'équivalence, de la généralisation et de la particularisation. Ces opérations traductionnelles non seulement ont permis au traducteur de maintenir la cohérence et la cohésion textuelles dans les énoncés ayant les notions plus complexes à exprimer en langue cible, mais aussi elles ont représenté la possibilité de démontrer la capacité traductive et traductologique pendant le processus de traduction. Pour ce qui concerne la traduction de la métaphore terminologique *crêpe stellaire flambée*, l'opération du calque morphologique a permis de créer un néologisme dans la terminologie de l'astrophysique italienne et grâce à sa puissance, la métaphore a franchi les barrières linguistiques. En conclusion, dans le genre de la vulgarisation, les opérations de traduction ont joué un rôle clé dans la communication et elles ont déterminé la transmission du sens et du contenu du texte source et comme affirme Nida : « la traduction consiste à produire dans la langue d'arrivée l'équivalent naturel le plus proche du message de la langue de départ, d'abord quant à la signification, puis quant au style²⁰⁷ ».

²⁰⁷ Nida E. A., « Principles of translation exemplified by Bible translating » dans *On translation*, Cambridge, Mass., Harvard University Press, 1959, pp. 11-31, cité dans Mounin G., *Les problèmes théoriques de la traduction*, Paris, Gallimard, 1963, p. 278.

Conclusion

En s'approchant de l'étude du genre de la vulgarisation et de la traduction de l'œuvre *Bonnes nouvelles des étoiles*, les premières étapes ont concerné les recherches sur le genre auquel appartient ce texte qui présente des anomalies : en premier lieu, à la différence d'autres textes de vulgarisation, il ne présente pas les caractéristiques hypertextuelles comme des notes en bas de page ou des références à d'autres textes ; en deuxième lieu, il n'est pas accompagné d'images et de graphiques ; enfin, il n'y a pas d'emploi d'éléments textuels ultérieurs comme par exemple des citations, des notes explicatives ou des informations en bas de page. À partir de ces caractéristiques générales des textes de vulgarisation qui sont différentes selon deux stratifications, une à caractère « horizontal » relative aux plusieurs degrés de spécialisation possibles des destinataires qui sont des professionnels du domaine ; l'autre à caractère « vertical », qui considère les facteurs de variabilité socio-pragmatique diaphasique à l'intérieur de chaque domaine, donc la complexité des connaissances à transmettre et les différents niveaux de préparation des destinataires, on peut affirmer que l'œuvre de vulgarisation *Bonnes nouvelles des étoiles* privilégie la dimension verticale et la fonction didactique du texte pour transmettre le savoir aux destinataires appartenant au grand public des lecteurs profanes. En outre, la fonction didactique montre une tendance à la simplification et à la transparence du lexique et de la syntaxe textuelle : l'œuvre de vulgarisation *Bonnes nouvelles des étoiles* traite de sujets spécifiques de l'astrophysique, mais elle se détache des caractéristiques plus ou moins marquées propres du texte scientifique, en raison du but pratique de l'œuvre. Le but est celui d'instruire et de donner des informations de plus en plus spécifiques aux lecteurs qui d'un côté sont intéressés à la matière, mais de l'autre côté qui ne sont pas les spécialistes du domaine. De plus, la terminologie du domaine astrophysique représente un intérêt à caractère lexicologique, à plusieurs titres : premièrement, la stratification diachronique qui est caractérisée par la coexistence de termes redéfinis par Galilée comme par exemple *momento*, *forza*, *resistenza*, *attrito*, *pendolo*, *azione*, *reazione*, *insieme*, *funzione* et de termes très récents nés après les dernières découvertes ; deuxièmement, la richesse des processus de dérivation (*galaxie spirale* et *bras spiralés*) ; troisièmement, la variété concernant la typologie des termes techniques à caractère monorhématique (*étoile*) et à caractère polyrhématique (*trou noir*

et *trou de ver*), les éponymes (*pont d'Eistein-Rosen*), les acronymes comme *LHC* (Large Hadron Collider) et *CERN* (Conseil européen pour la recherche nucléaire), enfin, le caractère international des termes techniques spécialisés comme *cluster* (amas stellaire) et *quasar* (galaxie à noyau actif) qui dérivent de l'anglais, mais qui trouvent leur emploi direct dans d'autres langues.

Ensuite, la distinction essentielle a été faite entre la langue de spécialité du domaine astrophysique et la langue commune dans la rédaction du concordancier, sur le plan lexical pour toute une série de correspondances linguistiques et sur le plan morpho-syntaxique pour des régularités et des occurrences plus fréquentes. En fait, avant d'entamer la traduction, le traducteur a le devoir d'assurer la conformité terminologique et phraséologique par rapport aux conditions de l'œuvre, comme l'affirme Gouadec : « le concordancier terminologique et phraséologique représente, pour le traducteur, le moyen de fixer a priori le matériau terminologique et phraséologique qu'il utilisera²⁰⁸ ». En fait, la recherche systématique est focalisée sur l'élaboration d'un volet terminologique qui concerne d'un côté, les aspects techniques-encyclopédiques des termes, de l'autre côté, un volet phraséologique qui considère « les tours d'expression ». Afin de rédiger un inventaire terminologique et phraséologique qui représente un point de repère et grâce auquel les problèmes de traduction qui d'abord semblent être opaques et ambigus, peuvent trouver une solution. De plus, Gouadec soutient que :

Le concordancier terminologique et phraséologique du traducteur est l'une des clés de l'assurance de qualité. Il est un prérequis absolu de toute traduction assistée ou aidée. Il est le gisement de matériaux (matière première) indispensables à la traduction humaine. Il peut constituer le support d'un dialogue entre traducteur, réviseur, et donneur de l'ouvrage. Il peut apporter des garanties contractuelles au traducteur comme au donneur d'ouvrage en ce sens qu'il fixe à l'avance la terminologie et la phraséologie qui seront utilisées. Il est facteur d'homogénéité, de gains de productivité et de gains de qualité²⁰⁹.

En fait, les facteurs de spécification et de discrimination du terme ou de l'unité phraséologique à considérer pendant la rédaction du concordancier sont : 1) la catégorie grammaticale ; 2) la « circonscription » de la désignation par délimitation d'un champ d'application ; 3) le contexte de discours ; 4) les caractères significatifs de l'élément désigné. Sur le plan pratique, à travers cinq étapes de recherche, le facteur discriminant ou séparateur permet de : 1) déterminer le cadre de conception, établir l'identification du « terme désigné » et donc spécifier la valeur de la désignation considérée ; 2) considérer

²⁰⁸ Gouadec D., *Terminologie & phraséologie pour traduire : Le concordancier du traducteur*, Les guides langagiers Terminoguide n°3 Traduguide n°3, Paris, La maison du dictionnaire, 1997, p. 13.

²⁰⁹ Gouadec D., *op.cit.*, p. 9.

et fixer la valeur de la désignation qui s'applique le mieux au cas particulier considéré ; 3) sélectionner le dictionnaire pertinent en retenant celui qui couvre le même champ - pour la traduction des sections de l'œuvre *Bonnes nouvelles des étoiles*, le choix s'est focalisé sur le dictionnaire en ligne *CNRTL* pour la recherche terminologique en français et sur l'*Enciclopedia Treccani* en ligne pour chercher les correspondants en italien ; 4) choisir la concordance la plus appropriée par rapport aux critères de circonscription de la désignation concernée, parmi celles proposées par une même ressource ou plusieurs ressources ; 5) confirmer la validité de la concordance par rapport aux conditions de désignation. Pour ce qui concerne le volet phraséologique du concordancier de l'œuvre *Bonnes nouvelles des étoiles*, le traducteur a la tâche de s'assurer une bonne maîtrise de la phraséologie du domaine de l'astrophysique et de la typologie vulgarisatrice du texte, afin de trouver les concordances entre la langue source et la langue cible. Mais là où les concordances ne sont pas possibles, il peut reformuler les parties peu claires à travers l'emploi de stratégies et d'opérations de traduction. Dans la rédaction du volet phraséologique du concordancier, la traductrice s'est focalisée d'abord sur les restrictions qui concernent la combinatoire syntaxique en considérant les phénomènes particuliers de restriction ou les phénomènes de valence syntaxique dans la langue source et puis dans la langue cible ; ensuite, sur les collocations selon le facteur d'affinité combinatoire qui sont des termes et des mots qui renvoient aux spécialisations des champs d'application.

Sur le plan lexical, le texte source montre la présence d'éléments lexicaux d'usage commun ou plus générique, comme par exemple des hyperonymes au lieu des hyponymes, ou des locutions équivalentes aux termes techniques, l'emploi des gloses, des périphrases, des paraphrases ou des exemplifications qui, à travers des analogies ou des comparaisons, créent des liens avec des concepts les plus connus du grand public. En outre, dans le texte source, une prédominance de vocables synonymiques d'emploi commun est évidente par rapport aux technicismes. Mais, là où la synonymie n'est pas possible, les termes spécifiques du domaine de l'astrophysique sont contextualisés, combinés à d'autres vocables appartenant à la langue commune et ils sont souvent associés à des gloses explicatives, introduites par l'emploi des marqueurs de glose.

La tâche la plus complexe du traducteur a pour objectif non seulement celui de traduire un texte d'une langue source à une langue cible, mais aussi celui de transmettre

et d'adapter aux lecteurs d'une autre langue les contenus d'une œuvre écrite en langue étrangère. En outre, l'intention de bien réussir une traduction suppose l'assimilation non seulement du discours de la langue source, mais aussi de celui de la langue cible, car ce bagage cognitif crée la structure du message dans les deux langues et il fournit au traducteur les instruments de la réexpression. En particulier, le traducteur doit être en mesure de traiter les caractéristiques grammaticales et textuelles en vue de l'intention communicative du texte, parce que dans le genre de la vulgarisation coexistent les notions du discours spécialisé et de la fonction didactique qui transmettent des concepts scientifiques et complexes à un contexte linguistique de registre moyen de lecteurs. En fait, la traduction d'une œuvre du genre de la vulgarisation est le résultat de techniques et de stratégies qui traitent cette typologie textuelle qui d'un côté se présente spécialisée pour ses caractéristiques typiques, mais de l'autre côté est à la portée de toute catégorie du grand public. Pour cette raison, la traduction d'un texte de vulgarisation doit trouver la voie moyenne pour transmettre les notions scientifiques aussi dans la langue cible, en éclairant la terminologie présente dans le texte source qui, à première vue, reste floue et lointaine, à travers l'emploi de la glose et des exemples pratiques plus proches aux connaissances du grand public. De plus, l'approche à un domaine très spécialisé comme celui de l'astrophysique a été effectuée en plusieurs étapes : en premier lieu, une étude très approfondie de la matière, en particulier pour les notions présentes dans les sections traduites sur les planètes et leurs satellites, les trous noirs et les trous de ver, sur les galaxies et leur nature ; en deuxième lieu, une recherche terminologique en français et puis une recherche des concordances en italien ; enfin la rédaction complète du tissu syntaxique du texte cible.

Comme l'auteur qui rédige les textes de vulgarisation, le traducteur peut être un spécialiste du domaine auquel appartient le texte. Mais s'il n'est pas spécialisé, il doit montrer les compétences de recherche et de documentation d'une façon efficace à propos du sujet de la traduction. En fait, la complexité de la tâche du traducteur ne demande pas seulement une excellente maîtrise des concepts techniques et de la terminologie scientifique présents dans le texte, mais aussi des compétences culturelles au sens large, qui permettent de décoder les expressions figées et les termes métaphoriques lexicalisés ainsi que leurs emplois détournés à des fins plus expressives et créatives permettent de s'approprier du contenu textuel afin de le rendre accessible au lectorat cible dans

tout son enrichissement potentiel. En conséquence, le choix de traduction ne s'établit pas entre une traduction littérale et une traduction libre, mais entre une traduction exacte et une traduction inexacte. D'un côté, la littérarité est écartée pour satisfaire des exigences particulières de la langue cible et la traduction oblique doit être utilisée dans des limites nettement définies ; de l'autre côté, la littéralité est gardée quand elle ne représente pas un problème pour la compréhension dans la langue cible et quand la traduction oblique assure le sens, elle a lieu pour des raisons de structure ou de métalinguistique. À ce propos, les stratégies et les opérations traductionnelles ont aidé la traductrice à résoudre les enjeux du texte et les problèmes de traduction concernant un terme ou un énoncé complexe ; les classifications proposées par Vinay et Darbelnet et par Hurtado Albir et Molina formulent les procédures à utiliser en fonction de la traduction appartenant à deux typologies de traduction : *directe* et *oblique*. En particulier, les opérations de traduction utilisées pendant le processus de traduction de *Bonnes nouvelles des étoiles* ont été l'emprunt, le calque, la transposition, l'amplification, l'équivalence, la généralisation, la particularisation et grâce à ces opérations traductionnelles, la traductrice a été en mesure de transmettre en italien les concepts énoncés dans le texte source en français, qui autrement seraient restés inachevés. Entre autres, quelques exemples résultant des opérations de traduction et pris en considération dans les réflexions métatraductologiques remarquent les étapes du raisonnement du traducteur, l'application et l'aboutissement des procédures pendant le processus de traduction.

Enfin, *Bonnes nouvelles des étoiles* ne semble résulter pas être seulement un manuel d'information qui transmet les dernières découvertes du domaine de l'astrophysique, mais elle constitue un exemple de tissu narratif où l'auteur Jean-Pierre Luminet démontre, d'un côté, son habileté à alterner des moments de narration et des explications scientifiques des théories, et de l'autre côté, la vulgarisation savante et amusante qui est caractérisée par une tendance créative particulière donnée par l'emploi métaphorique des expressions figées appartenant au registre familier.

Annexes

Traduction *La vie dans le système solaire* de la page 33 à 54

La vie dans le système solaire

Disons-le tout de suite : il n'y a pas de petits hommes verts par Mars, ni même de canaux suspects. Il n'y a pas de lagons sur la Lune, fût-ce sur sa face cachée, ni d'émetteur radio sur Vénus. Personne ne patine sur les anneaux glacés de Saturne, ni ne fait du planeur dans les vents tempétueux de Jupiter. Tous ces scénarios de science-fiction ont été écartés depuis longtemps. Mais il reste des questions à creuser. Car, avant de produire des éléphants et des violettes, la vie qui s'est développée sur Terre n'a d'abord montré que le bout de son nez. Pendant des milliards d'années, seules les bactéries ont vaqué à la surface du globe (en fait, au fond des océans). Elles pourraient donc être à l'œuvre ailleurs, attendant l'heure de se transformer. Et, même s'il peut paraître moins glorieux de pister de miteux microbes que des sauriens bipèdes pourvus d'antennes, il n'en reste pas moins que, conceptuellement, ceux-là valent bien ceux-ci. En effet, dès lors que vous avez fabriqué une bactérie, vous pouvez virtuellement confectionner n'importe quoi, pourvu que vous disposiez du temps et des conditions idoines.

La bactérie, c'est comme la brique : la base nécessaire au développement de l'architecture. Sauf qu'elle travaille toute seule. Prenez une colonie de bactéries quelconques, laissez-la s'ébattre au soleil et, quand vous reviendrez quelques centaines de millions d'années plus tard, vous pourrez admirer des baobabs, des mousses, des mangues, des coléoptères, des hirondelles, des ty-

La vita nel sistema solare

Diciamolo subito: non ci sono piccoli omini verdi su Marte, né canali sospetti. Non ci sono lagune sulla Luna, neppure sulla sua faccia nascosta, né un trasmettitore radio su Venere. Nessuno pattina sugli anelli ghiacciati di Saturno, né va con l'aliante nei venti tempestosi di Giove. Tutti questi scenari di fantascienza sono stati scartati da molto tempo. Ma restano delle questioni da approfondire. Perché, prima di creare elefanti e violette, la vita che si è sviluppata sulla Terra, all'inizio, ha mostrato solo la punta del proprio naso. Per miliardi di anni, solo i batteri hanno occupato la superficie del globo (di fatto, nel fondo degli oceani). Dunque potrebbero essere all'opera altrove, aspettando il momento di trasformarsi. E anche se può sembrare meno glorioso rintracciare miseri microbi rispetto a sauri bipedi dotati di antenne, resta il fatto che, concettualmente, quelli equivalgono proprio a questi. Infatti, nel momento in cui voi avete creato un batterio, potete virtualmente costruire qualsiasi cosa, purché disponiate di tempo e di condizioni idonee.

Il batterio è come il mattone: la base necessaria allo sviluppo dell'architettura. A parte il fatto che lavora da solo. Prendete una colonia di batteri qualunque, lasciatela divertire al sole e, quando ritornerete qualche centinaio di milioni di anni più tardi, potrete ammirare baobab, muschi, manghi, coleotteri, rondini, tirannosauri o ruminanti, secondo il tempo e le risorse locali disponibili.

rannosaures ou des ruminants, selon le temps et les ressources locales disponibles. Car la bactérie turbine sans relâche, capitalisant sur des milliers de générations avec l'efficacité de l'aveugle opiniâtre. Elle explore tout, essaie tout, s'adapte à tout, résiste à tout, se reprend et repart de zéro en cas de coup dur ; c'est le réservoir de la vie comme l'océan l'est de la pluie, ou la douleur humaine de l'art. La bactérie, c'est la vie dans l'œuf, la vie sous toutes ses formes, celles, foisonnantes, que nous connaissons, et puis les autres, innombrables, inimaginables, qu'elle garde sous le pied pour le cas où. Gageons que, si la Terre flambait d'un bout à l'autre, la vie, réduite à sa source bactérienne, repartirait vers d'autres aventures et rédigerait de tout nouveaux livres d'histoire. Où Waterloo serait une victoire napoléonienne et Adolf Hitler un peintre renommé. Où, plus probablement, l'espèce humaine serait une fiction inconcevable, même pour les *aliens* les plus dérangés.

La bactérie, donc, c'est la vie. Mais, pour fabriquer une bactérie, que faut-il ? Il faut, au minimum, de l'eau et du carbone.

Sur Terre, la vie est apparue très tôt. Elle est apparue dans l'eau, un solvant universel, le plus simple, et à partir de la chimie organique, c'est-à-dire l'ensemble des réactions chimiques que permet le carbone. Qu'est-ce qu'un solvant universel ? Un milieu fluide qui vous accueille en son sein et permet à tout un chacun de se rencontrer. Un lieu de brassage, en somme, comme le tambour d'une machine à laver, comme le sang d'un organisme vivant, comme les rues et les places d'une ville, où l'on circule et où l'on peut se rencontrer. Les molécules en suspension dans l'eau se croisent et se touchent, s'embrassent et se mouchent, se

Perché il batterio sgobba senza sosta, capitalizzando su delle migliaia di generazioni con l'efficacia del cieco ostinato. Esplora tutto, prova tutto, si adatta a tutto, resiste a tutto, si ricompone e riparte da zero quando le cose vanno male, è il serbatoio della vita come l'oceano lo è della pioggia, o la sofferenza umana lo è dell'arte. Il batterio è la vita nell'uovo, la vita sotto tutte le sue forme, quelle rigogliose che conosciamo, e poi le altre, innumerevoli, inimmaginabili, che tiene da parte per l'eventualità. Scommettiamo che, se la Terra bruciasse da un estremo all'altro, la vita, ridotta alla sua fonte batterica, ripartirebbe verso altre avventure e scriverebbe libri di storia del tutto nuovi. Dove Waterloo sarebbe una vittoria napoleonica e Adolf Hitler sarebbe un pittore rinomato. Dove, più probabilmente, la specie umana sarebbe una fantasia impensabile, anche per gli *alien* più folli.

Il batterio, dunque è la vita. Ma per creare un batterio, che cosa serve? Servono, come minimo, dell'acqua e del carbonio.

Sulla Terra, la vita è apparsa molto presto. È apparsa nell'acqua, un solvente universale, il più semplice, e a partire dalla chimica organica, ovvero l'insieme delle reazioni chimiche che permette il carbonio. Che cos'è un solvente universale? Un luogo fluide che vi accoglie al suo interno e permette a tutti di rincontrarsi. Un luogo di mescolamento, insomma, come il tamburo della lavatrice, come il sangue di un organismo vivente, come le vie e le piazze di una città, dove si circola e dove si può rincontrarsi. Le molecole in sospensione nell'acqua si incrociano e si toccano, si baciano e si soffiano il naso, si danno la mano, a volte si diver-

donnent la main, s'amusant parfois à faire des chaînes interminables. Ainsi pour le carbone, et une ribambelle d'autres éléments qui aiment s'accrocher à ses basques.

L'eau comme bain, donc, et le carbone comme matière première, telle est la formule gagnante. C'est pourquoi il est logique et naturel de rechercher dans le système solaire des localités qui peuvent ou qui ont pu présenter dans le passé des conditions analogues.

Bien sûr, il s'agit d'une approche anthropocentrique, ou plus exactement « terrocentrique », qui suppose que la vie ailleurs devrait ressembler à la vie ici, comme si nous détenions le seul numéro gagnant. On ne voit pas pourquoi il serait interdit de s'y prendre autrement. Les scientifiques sont conscients de ce biais, certains d'entre eux se plaisant à imaginer des formes de vie à partir d'autres prémisses. On peut tenter de concevoir des êtres vivants faits de silicium, de gouttes d'huile ou de structures gazeuses, ou même des créatures à quatre dimensions... Ces conjectures passionnantes restent malheureusement fumeuses jusqu'à nouvel ordre, car nous manquons fatalement de guide pour la pensée et de formules concrètes pour l'expérimentation. Pas d'exemples, peu d'idées. En pratique, il est nettement plus simple de commencer par explorer le terrain qui s'est déjà montré fécond, preuves abondantes à l'appui. On s'attache donc à repérer, dans ce petit village sympathique qu'est le système solaire, toutes les résidences, tous les pied-à-terre, toutes les poches qui, à un moment ou à un autre, ont pu présenter à la fois de l'eau liquide et du carbone.

tono a fare delle catene interminabili. Così per il carbone, e una sfilza di altri elementi che amano seguirsi ovunque.

L'acqua come vasca, dunque, e il carbonio come materia prima, questa è la formula vincente. Ecco perché è logico e naturale cercare nel sistema solare delle località che possano o che abbiano potuto presentare delle condizioni analoghe in passato.

Certo, si tratta di un approccio antropocentrico, o più esattamente "terrocentrico", che suppone che la vita altrove dovrebbe assomigliare alla vita qui, come se noi avessimo il solo numero vincente. Non vediamo perché sarebbe vietato procedere in un altro modo. Gli scienziati sono consapevoli di questa alterazione, alcuni di loro si compiacciono d'immaginare delle forme di vita a partire da altre premesse. Si può tentare di generare degli esseri viventi fatti di silicio, di gocce d'olio o di strutture gassose, o anche delle creature a quattro dimensioni... Queste congetture affascinanti, restano purtroppo fumose fino a nuovo ordine, perché ci manca inevitabilmente una guida per il pensiero e delle formule concrete per l'esperimento. Niente esempi, poche idee. In pratica, è nettamente più semplice cominciare con l'esplorare il terreno che si è già mostrato fecondo, con prove abbondanti come supporto. Ci si impegna dunque a reperire, in questo piccolo villaggio simpatico che è il sistema solare, tutte le residenze, tutti gli alloggi, tutte le sacche che, ad un certo punto, hanno potuto presentare al tempo stesso dell'acqua liquida e del carbonio.

Liquide, oui, bien sûr. L'eau qui coule joyeusement ou s'étale en jolies flaques est un havre idéal pour héberger les ébats du carbone et consort. Mais la glace et la vapeur, « ça marche beaucoup moins bien », comme la voiture en miettes de Bourvil dans *Le Corniaud*. Euphémisme pour dire que ça ne marche pas du tout, car la glace est figée comme du marbre, tandis que la vapeur, loin de dissoudre et de brasser les particules s'envoie toute seule en l'air.

De l'eau liquide. Voyez d'ici la restriction. Dans un univers où les grands espaces vides sont à - 270 °C de moyenne et le cœur des étoiles à 15 millions de degrés au bas mot, allez donc mettre le doigt sur les infimes recoins où la température s'étale dans la plage comprise entre 0 et 100 °C, et ce pendant plusieurs millions d'années ! C'est l'esquif dans la flotte du rien.

Une bonne définition de la Terre...

Certains demanderont pourquoi l'on s'acharne à dénicher si péniblement l'une ou l'autre population de bactéries dont on sait par avance qu'elles n'ont jamais pu aiguïser leur talent à évoluer vers davantage de complexité. À quoi bon découvrir de la vie, si elle n'a pas pu s'épanouir au-delà de la première cellule ? Elle manquera singulièrement de conversation...

Bien au contraire ! Toute forme de vie, même la plus rudimentaire, serait pour nous la plus grande des découvertes. Car, elle démontrerait que la vie est capable de fleurir spontanément dès que les conditions le permettent, ce qui mettrait fin à un débat aussi vieux que la pensée : la vie est-elle un phénomène unique

Liquida, sì, certo. L'acqua che scorre gioiosamente o si dispone in graziose pozzanghere è un porto ideale per ospitare i sollazzi del carbonio e consorte. Ma il ghiaccio e il vapore, “funziona molto meno bene”, come l'automobile distrutta di Bourvil nel film *Colpo grosso ma non troppo* (in francese *Le Corniaud*). Eufemismo per dire che non funziona per niente, perché il ghiaccio è immobile come il marmo, mentre il vapore, lungi dal dissolvere e dal mescolare le particelle, si sprigiona tutto solo nell'aria.

Dell'acqua liquida. Da qui vedete la restrizione. In un universo dove i grandi spazi vuoti sono a -270°C di media e il nucleo delle stelle è ad almeno 15 milioni di gradi, andate allora a mettere il dito negli angoli insignificanti, dove la temperatura si estende nell'intervallo compreso tra 0 e 100 °C, e per molti milioni di anni! È la scialuppa nella flotta del nulla.

Una buona definizione della Terra...

Alcuni chiederanno perché ci si ostina a scovare così faticosamente l'una o l'altra popolazione di batteri di cui si sa già che non hanno potuto mai affinare il loro talento nell'evolvere verso una maggiore complessità. A cosa serve scoprire la vita, se non ha potuto svilupparsi al di là della prima cellula? Veramente mancherà di conversazione...

Tutt'altro! Ogni forma di vita, anche la più rudimentale, sarebbe per noi la più grande delle scoperte. Perché dimostrerebbe che la vita è capace di fiorire spontaneamente ogni volta che le condizioni lo permettono, quello che metterebbe fine ad un dibattito vecchio come il pensiero: la vita è un fenomeno unico e singola-

et singulier, ou au contraire un phénomène banal qui s'enclenche chaque fois que certaines conditions sont réunies ?

Dans le premier cas, nous serions seuls, tirés du néant par on ne sait quel concours extraordinaire de circonstances inimitables, à moins que ce ne soit par le doigt tendu de Dieu qui s'ennuyait ferme. Dans l'autre cas, nous aurions des voisins quelque part, et même en grand nombre. Car, en cette matière, il n'y a que deux façons de compter : un ou beaucoup. Soit l'exception, soit la règle. Si la vie peut apparaître deux fois, c'est qu'elle peut apparaître mille fois, ou un milliard de fois, c'est du pareil au même. Et, d'un seul coup, nous voici soulagés de l'indigeste honneur de ramer seuls dans cette immensité laiteuse, où notre angoisse clignote comme un fanal dans le brouillard.

Si un beau jour nous recevions la visite ou les messages de créatures extraterrestres, nous serions fixés pour de bon, et peut-être pour le pire si elles n'avaient d'autre vœu que de nous déguster en brochettes. Mais, dans l'attente, il nous faut remuer un à un tous les cailloux du système solaire dans l'espoir de débusquer ne fut-ce qu'une insipide et taiseuse bactérie, car alors le message sera exactement aussi clair que si nous avions reçu une soucoupe volante sur le crâne : ouf ! la vie est apparue plus d'une fois dans l'Univers.

Vous voyez que l'enjeu de cette quête dépasse de loin le modeste unicellulaire qu'on espère coincer. Tout comme le Graal, qui promettait l'immortalité, la première bactérie extraterrestre apporterait avec elle un soulagement philosophique intense : la fin de notre solitude en ces contrées.

re, o al contrario un fenomeno banale che si mette in moto ogni volta che alcune condizioni sono riunite?

Nel primo caso, saremmo soli, venuti fuori dal nulla per non si sa quale straordinario contributo di circostanze inimitabili, a meno che non sia per il dito teso di Dio che si annoiava a morte. Nell'altro caso, avremo dei vicini da qualche parte, e anche in gran numero. Perché, in questa materia, ci sono solo due modi di contare: uno o molti. O l'eccezione, o la regola. Se la vita può apparire due volte, è perché può apparire mille volte, o un miliardo di volte, è la stessa cosa. E, d'un tratto, eccoci sollevati dall'onore indigesto di remare soli in questa immensità latteata, dove la nostra angoscia lampeggia come un fanale nella nebbia.

Se un bel giorno ricevessimo la visita o i messaggi di creature extraterrestri, saremmo fissati per sempre, e il peggio può essere se non avessero altro desiderio che di gustarci come degli spiedini. Ma, nell'attesa, dobbiamo spostare uno per uno tutti i sassolini del sistema solare nella speranza di scovare se non altro un batterio insipido e silenzioso, perché altrimenti il messaggio sarebbe così chiaro come se avessimo ricevuto un disco volante sul cranio: la vita è apparsa più di una volta nell'Universo.

Vedete che la sfida di questa ricerca supera di gran lunga il modesto unicellulare che si spera di catturare. Proprio come il Graal, che prometteva l'immortalità, il primo batterio extraterrestre porterebbe con sé un sollievo filosofico intenso: la fine della nostra solitudine in queste terre.

Alors, quels sont donc les cailloux qu'il s'agit de visiter ? Il y a plusieurs sites intéressants dans le système solaire – intéressants car ils présentent des signes d'une présence possible d'eau (le carbone, lui est disponible un peu partout). Les sites les plus courus en ce moment dans le guide du routard solarien sont Mars, Europe, Titan, Encelade, Callisto, Ganymède et les comètes. Rendons-nous donc là où ça pourrait se passer.

Un petit tour sur Mars

Depuis les premières sondes Viking qui se sont posées sur la planète rouge, chacun connaît ses paysages désolés à perte de vue, sa poussière et ses cailloux, son ciel rose pâle²¹⁰. Température moyenne : - 60 °C, avec un maximum de 20 °C et un minimum de -140 °C. Et pas une trace d'eau à la ronde ! Difficile d'imaginer vision plus déprimante pour l'explorateur sur le sentier de la vie. On est sur une fausse piste. Ce n'est pas dans cette rocaille frisquette qu'une bactérie, même peu regardante, pourrait venir pique-niquer.

Pourtant, les paysages martiens vus de loin étaient troublants. Tellement que les premiers observateurs, à la fin du XIX^e siècle, n'hésitèrent pas à parler de « canaux ». On voyait très nettement sur la surface de la planète des nervures et des ramifications qui faisaient penser à un réseau d'irrigation. D'où une prolifération

Allora, quali sono dunque i sassolini che bisogna visitare? Ci sono molti siti interessanti nel sistema solare – interessanti perché presentano dei segni di una presenza possibile d'acqua (il carbonio è disponibile un po' dappertutto). I siti più frequentati in questo momento nella guida dell'autostoppista del Sole sono Marte, Europa, Titano, Encelado, Callisto, Ganimede e le comete. Dunque, spostiamoci là dove questo potrebbe succedere.

Un piccolo giro su Marte

Dalle prime sonde Viking che si sono posate sul pianeta rosso, tutti conoscevano i suoi paesaggi desolati a perdita d'occhio, la sua polvere e le sue pietre, il suo cielo rosa pallido²¹⁰. Temperatura media: -60°C, con un massimo di 20°C e un minimo di -140°C. E neanche una traccia d'acqua per miglia e miglia! Difficile immaginare una visione più deprimente per l'exploratore sul sentiero della vita. Si è in un vicolo cieco. Non è in questo pietrame freddino che un batterio, anche poco guardingo, potrebbe venire a fare un pic-nic.

Tuttavia, i paesaggi marziani visti da lontano erano sconcertanti. Tanto che i primi osservatori, alla fine del XIX secolo, non esitarono a parlare di “canali”. Si vedevano molto chiaramente sulla superficie del pianeta delle nervature e delle ramifications che facevano pensare ad una rete di irrigazione. Da qui una prolifera-

²¹⁰ Cliché du désert martien sur http://www.geokem.com/images/nasa/Mars_Rover_2004.jpg
Immagine del deserto marziano su http://www.geokem.com/images/nasa/Mars_Rover_2004.jpg

de récits de science-fiction spéculant sur une civilisation martienne grande productrice de légumes. Au début du XX^e siècle, des observations méticuleuses faites à la grande lunette de l'observatoire de Meudon ont bien vu des taches, mais aucun réseau géométrique. Il n'y a donc pas de canaux artificiels sur Mars. Toutefois, des vallées profondes sont bien présentes à la surface du sol et elles ont bien été remplies d'eau - une eau qui a dû couler en abondance et former des océans à une époque lointaine. On pourrait objecter qu'il existe d'autres fluides que l'eau ; du méthane liquide, par exemple, qui pourrait s'écouler en rivières comme sur Titan (voir plus bas). Mais l'érosion des roches par du méthane est différente de l'érosion par l'eau ; et c'est bien ce dernier type d'érosion qu'on observe sur Mars. On le sait donc aujourd'hui de façon sûre : au temps de sa folle jeunesse, Mars était dotée de cours d'eau, et elle était beaucoup moins froide qu'aujourd'hui. Ce réseau hydrographique, tout à fait naturel, est à présent complètement asséché²¹¹. Sur Mars, on pourrait chanter : « Mais où sont les rivières d'antan ? » La réponse est simple : elles se sont volatilisées. Littéralement.

Mars s'est formée en même temps que la Terre, il y a 4,5 milliards d'années, on peut la considérer comme sa petite sœur, promise au même destin. Or, dans l'histoire de la Terre, la vie semble être apparue très tôt, aussi tôt qu'il était possible. Lors de la formation du système solaire, la Terre s'est constituée par agglutination de blocs épars jusqu'à former une énorme boule de roches en fusion. Cette Terre primitive, comme tous les autres corps du système solaire, a subi un déluge de comètes et

razione di storie di fantascienza che speculano su una civiltà marziana grande produttrice di ortaggi. All'inizio del XX secolo, delle osservazioni meticolose fatte al telescopio dell'osservatorio di Meudon hanno visto sì delle macchie, ma nessuna rete geometrica. Non ci sono dunque dei canali artificiali su Marte. Tuttavia, valli profonde sono sì presenti sulla superficie del suolo e sono state sì riempite d'acqua – un'acqua che è dovuta scorrere in abbondanza e formare oceani in un'epoca lontana. Si potrebbe obiettare che esistano altri fluidi oltre all'acqua; del metano liquido, per esempio, che potrebbe scorrere in fiumi come su Titano (vedere più avanti). Ma l'erosione delle rocce per effetto del metano è diversa dall'erosione compiuta dall'acqua; ed è proprio quest'ultimo tipo di erosione che si osserva su Marte. Dunque, lo si sa oggi in modo certo: al tempo della sua folle giovinezza, Marte era dotato di corsi d'acqua, ed era molto meno freddo di oggi. Questa rete idrografica, del tutto naturale, è al momento completamente prosciugata²¹¹. Su Marte si potrebbe cantare: “Ma dove sono i fiumi di un tempo?” La risposta è semplice: si sono volatilizzati. Letteralmente.

Marte si è formato contemporaneamente alla Terra, 4,5 miliardi di anni fa, la si può considerare come sua sorella minore, promessa allo stesso destino. Tuttavia, nella storia della Terra, la vita sembra essere apparsa molto presto, il prima possibile. Al momento della formazione del sistema solare, la Terra si è costituita per agglutinazione di blocchi isolati fino a formare un'enorme sfera di rocce in fusione. Questa Terra primitiva, come tutti gli altri corpi del sistema solare, ha subito una pioggia di

²¹¹ Cliché du réseau hydrographique martien sur <http://www.solar-views.com/cap/mars/network.html>
Immagine delle rete idrografica marziana su <http://www.solar-views.com/cap/mars/network.html>

d'astéroïdes la bombardant en impacts continus et gigantesques. Puis l'avalanche s'est calmée, les conditions se sont stabilisées, l'eau liquide apportée par les comètes a formé les océans, et très vite les premières molécules prébiotiques ont fait leur apparition. On appelle « prébiotiques » les molécules formées par la chimie du carbone – des molécules complexes constituées de carbone, d'azote, d'hydrogène, d'oxygène, qui réagissent, s'enchaînent, s'accrochent et finissent par former des macromolécules nommées « protéines », « acides aminés », « acides nucléiques », etc. Ce sont les briques de la construction du vivant, les petites briques nécessaires pour fabriquer la grosse brique bactérie, et elles sont apparues voilà 4 milliards d'années – peu de temps avant les premières bactéries elles-mêmes. Le plus ancien fossile de bactérie connu a été daté de 3,8 milliards d'années, il est probable que les premières manifestations bactériennes remontent plus loin encore, même si nous n'en avons pas de traces. À cette époque, Mars, en tant que *petite* sœur de la Terre, riche en eau liquide, pouvait fort bien connaître le même scénario.

Toute la différence se joue dans le mot « petite ». Mars eût-elle été plus massive qu'elle eût gardé son eau. Elle en avait des catacactes, s'il faut en croire ces lits de rivière si fortement tracés. Il y a 4 milliards d'années, la Terre et Mars se ressemblaient comme... deux gouttes d'eau. Mais c'était sans tenir compte des lois de la gravitation. La Terre, plus massive, était un piège efficace dont l'eau ne put jamais s'échapper, tandis Mars, trop légère, la vit progressivement s'évaporer. Étant donné la faible gravité martienne, les gaz présents dans l'atmosphère primitive n'ont pas été efficacement retenus ; ils se sont perdus dans l'espace, et la pression atmosphérique sur Mars est devenue cent

comete e di asteroidi che l'hanno bombardata con impatti continui e giganteschi. Poi la valanga si è calmata, le condizioni si sono stabilizzate, l'acqua liquida portata dalle comete ha formato gli oceani, e molto presto le prime molecole prebiotiche hanno fatto la loro apparizione. Si chiamano “prebiotiche” le molecole formate dalla chimica del carbonio – delle molecole complesse costituite da carbonio, azoto, idrogeno, ossigeno, che reagiscono, s'incatenano, si avvinghiano e finiscono col formare delle macromolecole chiamate “proteine”, “amminoacidi”, “acidi nucleici”, ecc. Sono i mattoni della costruzione del vivente, i piccoli mattoncini necessari per creare il grande mattone batterio, e sono apparsi 4 miliardi di anni fa – poco tempo prima dei primi batteri stessi. Il più antico fossile di batterio conosciuto è stato datato 3,8 miliardi di anni, è probabile che le prime manifestazioni batteriche risalgano a molto tempo prima, anche se non abbiamo prove. A quest'epoca, Marte, essendo la sorella *minore* della Terra, ricco d'acqua liquida, poteva conoscere perfettamente lo stesso scenario.

Ogni differenza si gioca sulla parola “minore”. Marte sarebbe stato più massiccio, se avesse conservato la sua acqua. Ne aveva a cascate, secondo questi letti di fiume così fortemente delineati. 4 miliardi di anni fa, la Terra e Marte si assomigliavano come... due gocce d'acqua. Ma era così senza tener conto delle leggi della gravità. La Terra, più massiccia, era una trappola efficace la cui l'acqua non poté più scappare; invece Marte, troppo leggero, la vide evaporare progressivamente. Considerando la debole gravità marziana, i gas presenti nell'atmosfera primitiva non sono stati trattenuti in modo efficace; si sono persi nello spazio, e la pressione atmosferica su Marte è diventata cento volte più debo-

fois plus faible que sur Terre ; or, quand la pression atmosphérique est trop faible, tout liquide s'évapore instantanément. Chez nous au contraire, l'atmosphère est retenue par la force de gravité, et son poids fait pression sur l'eau des océans et des rivières, qui se le tiennent pour dit et restent dans leur lit.

Et c'est ainsi que le destin des corps bifurque. Les rivières de Mars sont parties se promener dans l'espace, condamnant dans l'œuf quelque bactérie débutante. Avec une masse imposante, la vie aurait peut-être pu s'enraciner et prospérer, mais, puisque toute l'eau a disparu, n'en parlons plus...

Toute l'eau ? Pas sûr ! Il reste peut-être une flaque qui résiste à l'évaporation. Pour la trouver, il faut chercher dans les coins. Quand nous observons Mars depuis la Terre, notre angle de vue est celui du plan des orbites planétaires (toutes les planètes tournent pratiquement dans le même plan autour du Soleil). Nous voyons donc son équateur au milieu de l'image, totalement déshydraté. Mais dès l'arrivée des premiers bons clichés photographiques, les astronomes ont été intrigués par ce qui apparaissait dans le haut et le bas des images : un changement de couleur semblait indiquer la présence de calottes glaciaires sur les pôles de la planète²¹². De la glace ? Donc de l'eau ! Pas si vite... L'eau n'est pas la seule substance à geler. Aux pôles de la planète Mars, il fait tellement froid que même les gaz deviennent solides. Pas plus qu'un bonnet rouge ne fait le Père Noël, un simple bonnet blanc ne fait le château d'eau.

le rispetto a quella sulla Terra; ma, quando la pressione atmosferica è troppo debole, ogni liquido evapora istantaneamente. Da noi al contrario, l'atmosfera è trattenuta dalla forza di gravità, e il suo peso esercita una pressione sull'acqua degli oceani e dei fiumi che se ne fanno una ragione e restano nel loro letto. Ed è così che il destino dei corpi si biforca. I fiumi di Marte sono andati a farsi una passeggiata nello spazio, stroncando sul nascere qualsiasi batterio principiante. Con una massa più imponente, la vita forse avrebbe potuto radicarsi e prosperare, ma dato che tutta l'acqua è sparita, non ne parliamo più...

Tutta l'acqua? No di certo! Resta forse una pozzanghera che resiste all'evaporazione. Per trovarla, bisogna cercare negli angoli. Quando osserviamo Marte dalla Terra, la nostra angolazione è quella del piano delle orbite planetarie (tutti i pianeti ruotano praticamente nello stesso piano attorno al Sole). Vediamo quindi il suo equatore al centro dell'immagine, totalmente disidratato. Ma all'arrivo delle prime buone immagini fotografiche, gli astronomi sono stati incuriositi da quello che appariva in alto e in basso delle immagini: un cambiamento di colore sembrava indicare la presenza di calotte glaciali ai poli del pianeta²¹². Del ghiaccio? Allora, dell'acqua! Andiamoci piano! L'acqua non è la sola sostanza a gelare. Ai poli del pianeta Marte, fa talmente freddo che i gas stessi diventano solidi. Così come un cappello rosso non fa Babbo Natale, un semplice cappello bianco non fa il serbatoio idrico.

²¹² Cliché de la calotte polaire martienne sur <http://antwpr.gsfc.nasa.gov/apod/ap980924.html>
Immagine della calotta polare marziana su <http://antwpr.gsfc.nasa.gov/apod/ap980924.html>

Dans les années 1970, grâce aux missions Viking, on a pu établir que le pôle nord était bien couvert d'une calotte de glace d'eau. Pour le pôle sud, d'autres missions martiennes ont dû être envoyées, et les premières analyses ont montré que cette calotte-là était, essentiellement composée de gaz carbonique (CO₂). Mais cela n'excluait pas la possibilité qu'il y eût des résidus aqueux dans cette énorme masse gelée. Il fallait mener des analyses plus précises. Aujourd'hui, c'est chose faite. Nous savons que la couche de gaz carbonique ne dépasse pas dix mètres d'épaisseur et recouvre une banquise d'eau gelée. Les deux pôles sont donc bien couverts d'eau, une eau figée et piégée par le froid avant d'avoir eu l'occasion de s'envoler.

C'est une aubaine pour nous. Au même titre que la momie de Toutankhamon nous livre le passé égyptien tel quel ; en bloc et sans transformation, les vieilles glaces martiennes contiennent les traces de ce qui s'est passé dans l'eau originelle. Et si elle a abrité les ébats de bactéries, même il y a quatre milliards d'années, nous en retrouverons les restes fossiles. Nos capacités d'enquête vont jusque-là. Qu'il y ait eu un hoquet de vie sur Mars au tout début du système solaire, et nous l'enregistrerons.

De plus, les missions martiennes récentes ont apporté la preuve que les sols de surface, indépendamment des calottes, ressemblent à ce qu'on appelle « permafrost », ce sol gelé sur plusieurs mètres de profondeur et contenant beaucoup d'eau, comme en Sibérie ou en Alaska. L'eau pourrait même représenter jusqu'à 60 % du volume du sol sur Mars. Or on a trouvé dans le permafrost terrestre des bactéries extrêmement simples, certaines endormies depuis des milliers d'années mais prêtes à se réveiller

Negli anni 1970, grazie alle missioni Viking, si è potuto stabilire che il polo nord era ben coperto da una calotta di ghiaccio d'acqua. Per il polo sud, sono dovute essere inviate altre missioni marziane, e le prime analisi hanno mostrato che quella calotta era composta essenzialmente da anidride carbonica (CO₂). Ma questa non escludeva la possibilità che ci fossero dei residui acquosi in questa enorme massa gelata. Bisognava condurre delle analisi più precise. Oggi, è cosa fatta. Sappiamo che lo strato di anidride carbonica non supera i dieci metri di spessore e ricopre una banchisa d'acqua gelata. I due poli sono dunque ben coperti d'acqua, un'acqua congelata e intrappolata dal freddo prima di aver avuto l'occasione di volare via.

Per noi è una manna dal cielo. Alla pari della mummia di Tutankhamon che ci fornisce il passato egizio tale e quale, in toto e senza trasformazione, gli antichi ghiacciai marziani contengono delle tracce di quello che è successo nell'acqua originale. E se ha protetto i sollazzi dei batteri, anche se quattro miliardi di anni fa, noi ritroveremo i resti fossili. Le nostre capacità d'indagine arrivano fino a lì. Se mai c'è stato un singhiozzo di vita su Marte all'inizio del sistema solare, noi lo registreremo.

Inoltre, le recenti missioni marziane hanno fornito la prova che i suoli della superficie, indipendentemente dalle calotte, assomigliano a quello che si chiama "permafrost", questo suolo gelato per molti metri di profondità e che contiene molta acqua, come in Siberia o in Alaska. L'acqua potrebbe addirittura rappresentare fino al 60% del volume del suolo su Marte. Ebbene si sono trovati dei batteri estremamente semplici nel permafrost terrestre, alcuni addormentati da migliaia di anni ma pronti a svegliarsi ai

aux premiers signes de dégel, d'autres qui conservent une activité réduite malgré le gel, preuve que la vie n'attend pas les conditions Club Méditerranée pour se développer. Même dans le froid de canard actuel, il n'est donc pas impossible que la surface martienne abrite quelque forme rudimentaire d'existence, assoupie depuis des lustres, voire encore active.

La voie est toute tracée, les laboratoires sont prêts, il n'y a plus qu'à procéder aux analyses. Certes, mais encore faut-il aller chercher sur place la matière à ausculter ! Car de tels examens approfondis doivent être menés dans des laboratoires dernier cri, avec équipements lourds, et non seulement les moyens limités d'une petite sonde spatiale dont chaque gramme est négocié contre la gravitation terrestre. Nous ne saurons faire parler les glaces de Mars qu'en les soumettant à la technologie la plus massive. Il faut en acheminer des fragments jusqu'ici. En attendant, la sonde Mars Phoenix Lander s'est posée en mai 2008 à proximité de la calotte polaire nord, dans une zone où de vastes stocks de glace ont été détectés juste au-dessous de la surface, et s'adonne à une exploration robotique, grattouillant çà et là le sol martien à l'aide de son bras automatisé²¹³.

Les missions martiennes qui sont actuellement à l'étude constitueront sans doute la grande aventure spatiale du XXI^e siècle, tout comme la conquête de la Lune a marqué le XX^e siècle. Une mission vers Mars requiert au minimum six mois de voyage. Jusqu'à présent, seules des sondes automatiques ont couvert cette distance, et seulement en aller simple. Le prochain objectif

primi segni di disgelo, altri che conservano un'attività ridotta malgrado il gelo, prova che la vita non attende le condizioni del Club Mediterraneo per svilupparsi. Anche nel freddo cane attuale, non è dunque impossibile che la superficie marziana protegga qualche forma rudimentale di esistenza, assopita da secoli, forse ancora attiva.

La via è tutta tracciata, i laboratori sono pronti, non resta altro che procedere alle analisi. Certo, ma bisogna ancora andare a cercare sul posto la materia da esaminare! Perché esami approfonditi del genere devono essere condotti in laboratori all'ultimo grido, con attrezzature pesanti, e non solo le risorse limitate di una piccola sonda spaziale di cui ogni grammo è negoziato contro la gravità terrestre. Sapremo far parlare i ghiacci di Marte solo se li sottomettiamo alla tecnologia più massiccia. Bisogna trasportare dei frammenti fino a qui. Nel frattempo, la sonda Mars Phoenix Lander si è posata nel maggio 2008 in prossimità della calotta polare nord, in una zona dove ampie riserve di ghiaccio sono state rilevate appena sotto la superficie, e si dedica a un'esplorazione robotica, grattando qua e là il suolo marziano con l'aiuto del suo braccio automatizzato²¹³.

Le missioni marziane che sono attualmente in fase di studio costituiranno senza dubbio la grande avventura spaziale del XXI secolo, proprio come l'atterraggio sulla Luna ha segnato il XX secolo. Una missione verso Marte richiede al minimo sei mesi di viaggio. Finora, solo sonde automatiche hanno coperto questa distanza, e soltanto per un viaggio di sola andata. Il prossimo

²¹³ <http://phoenix.lpl.arizona.edu/>

consistera à réussir l'aller-retour, une mission qui durera deux à trois ans, en fonction des calendriers de nos deux planètes. N'oublions pas, en effet, qu'il s'agit de quitter un corps mobile pour aller vers un autre corps mobile, et non de Lisbonne à Moscou par une route fixe. La Lune, au moins tourne autour de la Terre, on l'a toujours sous la main, mais planifier un trajet vers Mars, c'est comme envoyer un ballon vers une autre voiture quand on tourne sur un circuit automobile, pour récupérer ledit ballon lors d'un tour de piste ultérieur : il y a peu de fenêtres de tir.

Le premier retour d'échantillons martiens sur Terre est programmé vers 2020. Quant à l'expédition d'une mission habitée, elle coûterait cent fois plus cher qu'une mission automatique, pour un bénéfice difficile à établir, en dehors du bonheur de pouvoir s'écrier : « On a marché sur Mars ! » C'est un ravissement certes considérable, mais abstraction faite de cet argument psychologique, les robots peuvent fonctionner aussi bien sinon mieux que les humains, surtout en conditions extrêmes ; ils ne dorment pas, ils n'ont pas froid, ils n'ont pas faim, ils ne sont pas distraits, ils n'ont pas le cafard et ils se fichent de l'impesanteur. Toutes les missions prévues jusqu'en 2050 au moins sont donc automatiques, mais les projets de missions habitées existent, l'une des justifications de la station spatiale internationale étant précisément d'étudier les effets de longues périodes d'impesanteur sur la physiologie des astronautes, en vue d'un tel voyage.

Envoyer un corps humain dans l'espace, c'est un peu comme lancer un brin d'herbe dans un volcan, un poussin dans un lami-

obiettivo consisterà nel riuscire a fare l'andata e ritorno, una missione che durerà da due a tre anni, in base ai calendari dei nostri due pianeti. Non dimentichiamoci infatti che si tratta di lasciare un corpo mobile per andare verso un altro corpo mobile, e non da Lisbona a Mosca su una strada fissa. La Luna, almeno, ruota attorno alla Terra, la si ha sempre sotto mano, ma pianificare un tragitto verso Marte, è come lanciare un pallone verso un'altra automobile quando giriamo su un circuito automobilistico, per recuperare il suddetto pallone durante un ulteriore giro di pista, ci sono poche finestre di tiro.

Il primo ritorno di campioni marziani sulla Terra è programmato verso il 2020. Quanto alla spedizione di una missione umana, costerebbe cento volte più cara di una missione automatica, per un beneficio difficile da stabilire, oltre al poter gridare dalla felicità: "abbiamo camminato su Marte!". È un'estasi considerevole, certo, ma a prescindere da questa ragione psicologica, i robot possono lavorare bene quanto gli uomini, se non meglio, soprattutto in condizioni estreme; loro non dormono, non hanno freddo, non hanno fame, non sono distratti, non sono tristi e non si preoccupano dell'assenza di gravità. Tutte le missioni previste almeno fino al 2050 sono dunque automatiche. Ma i progetti di missioni umane esistono, uno dei fondamenti della stazione spaziale internazionale è proprio quello di studiare gli effetti di lunghi periodi di assenza di gravità sulla fisiologia degli astronauti, in vista di un viaggio del genere.

Inviare un corpo umano nello spazio, è un po' come lanciare un filo d'erba in un vulcano, un pulcino nel laminatoio, una candela

noir, une bougie dans la tornade ou un œuf de caille dans un précipice. Bref : « ça craint ». Ce sont combinaisons, casques, coques, cuirasses et boucliers à n'en plus finir. Le vide, le froid, les rayons cosmiques, les cailloux errants sont autant d'ennemis terrifiants qui, en quelques secondes à peine, transformeraient la tendre chair humaine en charpie. Tous ces obstacles ont cependant été pris à bras-le-corps un à un par des ingénieurs obstinés, à la suite de quoi une poignée d'humains transformés en bonshommes Michelin ont finalement réussi à gambader presque élégamment sur la Lune. Mais, quand l'excursion devient un périple d'un an ou deux, une nouvelle génération de problèmes surgissent, bien plus inextricables encore que les premiers. Ce n'est pas parce que l'organisme peut supporter un bref séjour dans un bunker spatial qu'il peut s'y habituer pour de bon. Les astronautes qui reviennent sur Terre après avoir passé plusieurs mois dans l'espace ne se sentent pas très bien. Pour tout dire, ils ne tiennent plus debout. Sans pesanteur, le corps s'égaille comme un troupeau sans berger : le sens de l'équilibre perd le nord, les os perdent leur calcium, les muscles fondent, le sang monte à la tête, les globules rouges disparaissent, le système immunitaire s'affaiblit, le volume pulmonaire diminue. Il s'agit donc de trouver des stratégies de compensation destinées aux os, aux muscles, aux fluides, au métabolisme, sans parler du psychisme. Il faudra certainement des années encore avant d'avoir passé en revue tous les problèmes de fonctionnement du corps humain dans l'espace.

Qu'elle soit humaine ou automatique, la conquête de Mars sera une aventure longue, complexe et coûteuse, mais qui vaut bien des sacrifices, puisqu'une seule bactérie découverte suffira pour

nel tornado o un uovo di quaglia in un precipizio. Insomma: "è orribile". Ci sono tute, caschi, gusci, corazze e scudi a non finire. Il vuoto, il freddo, i raggi cosmici, le pietre erranti sono tutti dei nemici terrificanti che in appena qualche secondo riducono a brandelli la tenera carne umana. Tuttavia, tutti questi ostacoli sono stati presi di petto uno per uno da ingeneri ostinati, con la conseguenza che una manciata di umani trasformati in omini Michelin sono riusciti finalmente a saltellare quasi elegantemente sulla Luna. Ma quando il viaggio diventa un periplo di un anno o due, sorge una nuova generazione di problemi, ancor più inestricabili dei primi. Non è perché l'organismo può reggere una breve permanenza in un bunker spaziale, che si abitua per sempre. Gli astronauti che ritornano sulla Terra dopo aver passato molti mesi nello spazio non si sentono più molto bene. A dirla tutta, non si reggono più in piedi. Senza gravità, il corpo vaga come un gregge senza pastore: il senso dell'equilibrio perde la bussola, le ossa perdono il loro calcio, i muscoli diminuiscono di volume, il sangue sale alla testa, i globuli rossi spariscono, il sistema immunitario s'indebolisce, il volume polmonare diminuisce. Si tratta dunque di trovare delle strategie di compensazione rivolte alle ossa, ai muscoli, ai fluidi, al metabolismo, senza parlare della psiche. Ci vorranno sicuramente ancora degli anni, prima di aver esaminato tutti i problemi di funzionamento del corpo umano nello spazio.

Che sia umano o automatico, l'atterraggio su Marte sarà un'avventura lunga, complessa e costosa, ma che conta più dei sacrifici, visto che un solo batterio scoperto basterà per risponde-

répondre à la question : sommes-nous seuls dans l'Univers ? Est-ce bien d'ailleurs un gros sacrifice ? Le budget annuel que la NASA et les autres agences spatiales consacrent aux missions martiennes est d'à peu près 500 millions de dollars. Dans le même temps, Mars – le groupe agroalimentaire cette fois, dont les barres chocolatées font les délices de beaucoup – vient de déboursier 23 milliards de dollars pour s'offrir Wrigley, le numéro un mondial du chewing-gum... Cinquante années de financement de missions sur la Planète rouge !

Notons qu'une découverte étonnante faite en 1996 a laissé croire qu'on pouvait déjà répondre à la question de la vie sur Mars. Car aller à Mars est une chose, d'un coût monumental, mais il ne faut pas oublier que, de temps à autre, c'est Mars qui vient à nous, et tout à fait gratuitement, sous la forme de météorites.

La plupart de celles qui tombent sur Terre sont des morceaux d'astéroïdes, ces corps rocheux qui gravitent autour du Soleil indépendamment des planètes. Beaucoup sont concentrés entre Mars et Jupiter, et occasionnellement l'un d'eux, ou un fragment d'une collision entre eux, sort de sa trajectoire et peut croiser l'orbite de la Terre. Mais il existe aussi des météorites d'origine martienne (comme il y en a d'origine lunaire). Ce sont des morceaux qui ont été arrachés à la planète par de gros impacts de comètes ou d'astéroïdes. La gravité étant assez faible à la surface de Mars, il suffit qu'un rocher soit éjecté avec une vitesse de 5 km/s (contre 11 sur Terre) pour s'affranchir de l'attraction de la planète. Cela reste une vitesse importante, mais très plausible pour un gros impact. Des débris sont ainsi libérés dans l'espace,

re alla domanda: siamo soli nell'Universo? Inoltre, è davvero un sacrificio così grande? Il budget annuale che la NASA e le altre agenzie spaziali destinano alle missioni marziane è di circa 500 milioni di dollari. Nel frattempo, Mars – questa volta il gruppo agroalimentare, le cui barrette al cioccolato sono una delizia per molti – ha appena sborsato 23 miliardi di dollari per comprarsi Wrigley, il numero uno mondiale delle gomme da masticare... Cinquant'anni di finanziamento di missioni sul Pianeta rosso!

Notiamo che una scoperta straordinaria fatta nel 1996 ha lasciato credere che si potesse già rispondere alla domanda della vita su Marte. Perché andare su Marte è una cosa, di un costo monumentale, ma non bisogna dimenticare che da un momento all'altro, è Marte che viene da noi, e in modo del tutto gratuito, sotto forma di meteoriti.

La maggior parte di quelle che cadono sulla Terra sono dei frammenti di asteroidi, questi corpi rocciosi che gravitano attorno al Sole indipendentemente dai pianeti. Molti sono concentrati tra Marte e Giove, e occasionalmente uno di loro, o un frammento di una collisione tra loro, esce dalla sua traiettoria e può incrociare l'orbite della Terra. Ma esistono anche delle meteoriti di origine marziana (come ce ne sono di origine lunare). Sono dei frammenti che sono stati staccati dal pianeta in occasione di grossi impatti di comete o di asteroidi. La forza di gravità è molto debole sulla superficie di Marte, basta che una roccia sia lanciata ad una velocità di 5 km/s (contro gli 11 sulla Terra) per liberarsi dall'attrazione del pianeta. Resta una velocità importante, ma molto plausibile per un grande impatto. Dei detriti sono così

et certains viennent croiser l'orbite de la Terre, sur laquelle ils tombent alors – il n'y a plus qu'à les ramasser. Encore faut-il savoir les reconnaître, bien entendu. Si un caillou tombe du ciel dans votre jardin, impossible de savoir d'où il vient, à moins de mener des analyses dans un laboratoire. Et, s'il est tombé pendant que vous aviez le dos tourné, vous ne remarquerez même pas sa présence. Les meilleurs terrains pour la récolte de météorites sont les déserts de sable et les banquises, où il y a peu d'autres reliefs et cailloux pour les camoufler.

En août 1996, la NASA fit une annonce sensationnelle : on avait découvert des traces de vie dans une météorite martienne. Les structures analysées au microscope révélaient la présence de nanobactéries, des bactéries beaucoup plus petites que celles que nous connaissons sur Terre, et ce nanisme, pensait-on, constituait la preuve de leur origine extraterrestre. S'ensuivit une longue controverse au cours de laquelle certains invoquaient une origine non biologique (des réactions chimiques à haute température pouvant produire les mêmes structures), et d'autres une simple contamination terrestre (avant sa découverte, la météorite était restée des années exposée sur le sol de l'Antarctique). Le débat fut finalement tranché en 1999, lorsqu'on se rendit compte que les nanobactéries étaient courantes sur notre planète. Simple, on ne les avait encore découvertes !

En d'autres termes, il s'agissait bien d'une trouvaille sensationnelle, mais elle n'avait rien d'extraterrestre. Les bactéries étaient bien de chez nous, quoique d'une espèce totalement inconnue jusqu'alors. Et c'est en décortiquant un caillou martien avec une minutie sans précédent qu'on fit connaissance avec ces bêtes-là.

liberati nello spazio, e alcuni vengono ad incrociare l'orbita della Terra, sulla quale cadono allora – non resta che raccogliarli. A patto di saperli riconoscere, beninteso. Se un sassolino cade dal cielo nel vostro giardino, è impossibile sapere da dove viene, a meno che non si conducano delle analisi in laboratorio. E se è caduto quando eravate di spalle, non notate neanche la sua presenza. I migliori terreni per la raccolta di meteoriti sono i deserti di sabbia e le banchise, dove ci sono pochi altri rilievi e sassi per mimetizzarsi.

Nell'agosto del 1996, la NASA fece un annuncio sensazionale: si erano scoperte delle tracce di vita in una meteorite marziana. Le strutture analizzate al microscopio rivelavano la presenza di nanobatteri, dei batteri più piccoli di quelli che conosciamo sulla Terra, e si pensava che questo nanismo costituisse la prova della loro origine extraterrestre. Seguì una lunga controversia durante la quale alcuni facevano valere un'origine non biologica (delle reazioni chimiche ad alta temperatura possono produrre le stesse strutture), e altri una semplice contaminazione terrestre (prima della sua scoperta, il meteorite era rimasto esposto degli anni sul suolo dell'Antartico). Il dibattito fu finalmente risolto nel 1999, quando ci si rese conto che i nanobatteri erano comuni sul nostro pianeta. Semplicemente, non erano ancora stati scoperti!

In altre parole, si trattava di una scoperta sensazionale, ma non aveva niente di extraterrestre. I batteri erano delle nostre parti certo, anche se di una specie totalmente sconosciuta fino ad allora. Ed è dissezionando un sassolino marziano con una minuzia senza precedenti che si fece la conoscenza di quegli organismi.

Cet épisode, ainsi que bien d'autres ces dernières années, nous a appris combien la vie peut prendre des formes inattendues. Depuis peu, on découvre des bactéries partout, y compris dans les environnements les plus hostiles. Dans le geyser de Yellowstone qui bout à 110 °C et regorge de soufre. Dans le sol de l'Antarctique gelé en permanence. Dans des lacs où la salinité atteint 35 %. Dans les eaux les plus acides. Dans le fond des océans, par 2 600 mètres de profondeur et une pression deux cent cinquante fois plus élevée qu'en surface, près de sources hydrothermales dont la température atteint les 350 °C. On les appelle « thermophiles » (qui aiment la chaleur), « psychrophiles » (qui aiment le froid), « halophiles » (qui aiment le sel), « acidophiles » (qui aiment l'acide), « barophiles » (qui aiment la pression). Globalement, on range toutes ces bizarreries en « phile » dans la catégorie des bactéries « extrémophiles », parce qu'elles semblent aimer les conditions extrêmes – extrêmes de notre point de vue, s'entend, pour elles, ce serait plutôt nous les excentriques.

On trouve même des bactéries dans le sous-sol rocheux – dites « endogées » –, à 1 ou 2 kilomètres de profondeur, qui tirent leur énergie de l'oxydation des roches et fabriquent leur matière organique à partir du gaz carbonique dissous. D'autres encore présentent une forte résistance aux radiations ultraviolettes ou radioactives. On en a trouvé dans les déchets du réacteur atomique de Los Alamos, au Nouveau-Mexique, qui se reproduisent benoîtement malgré une radioactivité deux mille fois supérieure à la dose mortelle pour l'homme !

Bonne nouvelle : même en cas de conflagration atomique plané-

Questo episodio, così come molti altri in questi ultimi anni, ci ha insegnato quante forme inaspettate può prendere la vita. Ultimamente, si scoprono batteri ovunque, compresi gli ambienti più ostili. Nel geyser di Yellowstone che ribolle a 110°C e trabocca di zolfo. Nel suolo dell'Antartico sempre ghiacciato. Nei laghi dove la salinità raggiunge il 35%. Nelle acque più acide. Nel fondo degli oceani, a 2600 metri di profondità e una pressione duecentocinquanta volte superiore a quella della superficie, vicino alle fonti idrotermali la cui temperatura raggiunge i 350°C. Si chiamano “termofili” (che amano il calore), “psicrofili” (che amano il freddo), “alofili” (che amano il sale), “acidofili” (che amano l'acido), “barofili” (che amano la pressione). Generalmente, si classificano tutte queste stranezze in “filo” nella categoria dei batteri “estremofili”, perché sembrano amare le condizioni estreme – estreme dal nostro punto di vista, s'intende, per loro, invece saremmo noi gli strambi.

Si trovano anche dei batteri nel sottosuolo roccioso – detti “degli ambienti endogei” –, a 1 o 2 chilometri di profondità, che traggono energia dall'ossidazione delle rocce e producono la loro materia organica a partire dall'anidride carbonica disciolta. Altri ancora presentano una forte resistenza alle radiazioni ultraviolette o radioattive. Se n'è trovati nei residui del reattore atomico di Los Alamos, nel Nuovo Messico, che si riproducono tranquillamente malgrado una radioattività due mila volte superiore alla dose mortale per l'uomo!

Buona notizia: anche in caso di conflagrazione atomica planeta-

taire, il y aura des bactéries survivantes pour reprendre le flambeau et faire redémarrer la vie sur Terre.

Ces découvertes récentes sont dues (notamment) à la recherche de vie extraterrestre, et elles lui apportent en retour de nouveaux espoirs. La vie est beaucoup, mais vraiment beaucoup plus flexible et plus adaptable que tout ce qu'on imaginait il y a seulement vingt ans. Les milieux les plus inhospitaliers (pour nous) recèlent une activité biologique intense, que nous étions loin de soupçonner. Cela élargit d'autant l'éventail des milieux où nous pourrions découvrir des traces de vie sur d'autres planètes. Si la vie parvient à coloniser des milieux extrêmes sur Terre, pourquoi ne pourrait-elle pas le faire ailleurs ?

Une nouvelle piste pour la recherche de vie sur Mars est d'ailleurs envisagée depuis qu'on connaît les bactéries endogées. Celles-ci vivent au sein même des roches du sous-sol terrestre, tirant leur énergie de l'oxydation des silicates à partir de l'oxygène contenu dans l'eau souterraine. Or, si le sol martien est par endroits un permafrost, il contient de l'eau gelée. Par ailleurs, il contient sûrement des silicates, une roche extrêmement courante. Et, si l'eau de surface est gelée, il ne faut pas oublier que la température augmente de 5 °C à 10 °C par kilomètre de profondeur, à cause de la pression. À 5 ou 10 kilomètres sous la surface, l'eau pourrait donc être liquide. Des silicates et de l'eau, il n'en faudrait pas plus pour les bactéries endogées. Voilà un nouveau scénario séduisant. La vie sur Mars pourrait très bien exister sous forme d'organismes profondément enfouis dans le sol et n'utilisant que des substances minérales et de l'eau. Malheureusement, pour s'en assurer il faudrait pouvoir forer à plu-

ria, ci saranno dei batteri sopravvissuti per passare il testimone e far ripartire la vita sulla Terra.

Queste scoperte recenti sono dovute (soprattutto) alla ricerca di vita extraterrestre, e la sostengono in cambio di nuove speranze. La vita è molto, ma veramente molto più flessibile e più adattabile di quanto si immaginava solo vent'anni fa. Gli habitat più inhospitali (per noi) celano un'attività biologica intensa, che noi eravamo lungi dal supporre. Questo amplia ulteriormente il ventaglio degli habitat dove potremmo scoprire delle tracce di vita su altri pianeti. Se la vita riesce a colonizzare gli habitat estremi sulla Terra, perché non potrebbe farlo altrove?

Una nuova pista per la ricerca della vita su Marte, inoltre, è considerata da quando si conoscono i batteri degli ambienti endogei. Questi vivono in mezzo alle rocce del sottosuolo terrestre, ricavando la loro energia dall'ossidazione dei silicati a partire dall'ossigeno contenuto nell'acqua sotterranea. Ebbene, se il suolo marziano è in alcune zone un permafrost, contiene acqua ghiacciata. Inoltre, contiene sicuramente dei silicati, una roccia estremamente comune. E, se l'acqua della superficie è ghiacciata, non bisogna dimenticare che la temperatura aumenta da 5 a 10°C per chilometro di profondità, a causa della pressione. Da 5 a 10 chilometri sotto la superficie, l'acqua potrebbe dunque essere liquida. Dei silicati e dell'acqua, non servirebbe altro per i batteri degli ambienti endogei. Ecco un nuovo scenario incantevole. La vita su Marte potrebbe benissimo esistere sotto forma di organismi profondamente sepolti nel suolo e che usano solo delle sostanze minerali e dell'acqua. Purtroppo, per assicurarsene bi-

siieurs kilomètres sous la surface de notre voisine, une entreprise hors de prix pour l'heure.

Épisode encore plus récent de notre connaissance martienne : en mars 2004, la mission Mars Express²¹⁴ a détecté la présence de méthane en faibles quantités dans la très fine atmosphère martienne. Cette découverte pourrait avoir de profondes implications. En effet, dans les conditions qui règnent à la surface de Mars, le méthane ne peut pas subsister plus trois cents ans, car des réactions chimiques dues au rayonnement solaire le dégradent en permanence. Sa présence implique donc l'existence d'une source de méthane qui réalimente l'atmosphère. Deux possibilités : une activité géologique de type volcanique ou une activité biologique. Les recherches pour départager ces deux hypothèses sont en cours. À l'heure actuelle, elles sont plausibles toutes deux. D'une part, l'activité géologique, qu'on croyait éteinte à cause du refroidissement de la planète, pourrait bien subsister. Selon les derniers résultats, certaines coulées de lave ne dateraient que de 2 millions d'années, ce qui est beaucoup plus récent qu'on ne le pensait. D'autre part, on a découvert des traces d'eau gelée (encore de l'eau !) sur les pentes mêmes des volcans étudiés. La conjonction de réservoirs de glaces et d'une activité volcanique impliquerait alors l'existence d'eau liquide à intervalles réguliers, voire l'existence de réservoirs liquides permanents entretenus par la chaleur de poches magmatiques, ce qui ouvre une nouvelle possibilité au développement des bactéries. Ainsi, les pentes des volcans comme l'impressionnant mont Olympus²¹⁵ (27 kilomètres de haut, 600 kilomètres à la base)

sognerebbe poter perforare a molti chilometri sotto la superficie del nostro vicino, un'impresa costosissima per il momento.

Episodio ancor più recente di nostra conoscenza marziana: nel marzo 2004, la missione Mars Express²¹⁴ ha rilevato la presenza di metano in piccole quantità nella sottilissima atmosfera marziana. Questa scoperta potrebbe avere delle profonde conseguenze. Infatti, nelle condizioni che dominano la superficie di Marte, il metano non può rimanere più di trecento anni, perché delle reazioni chimiche dovute all'irraggiamento solare lo deteriorano costantemente. La sua presenza implica quindi l'esistenza di una fonte di metano che rialimenta l'atmosfera. Due possibilità: un'attività geologica di tipo vulcanico o un'attività biologica. Le ricerche per fare lo spareggio tra queste due ipotesi sono in corso. Per il momento, sono plausibili entrambe. Da un lato, l'attività geologica, che si credeva spenta a causa del raffreddamento del pianeta, potrebbe sussistere. Secondo gli ultimi risultati, alcune colate di lava datano solo 2 milioni di anni, il che è molto più recente di quanto si pensasse. Dall'altro lato, si sono scoperte delle tracce d'acqua ghiacciata (ancora acqua!) sui pendii stessi dei vulcani studiati. La combinazione di giacimenti di ghiaccio e di un'attività vulcanica implicherebbe allora l'esistenza d'acqua liquida ad intervalli regolari, persino l'esistenza di giacimenti liquidi permanenti trattenuti dal calore di camere magmatiche, il che apre ad una nuova possibilità di sviluppo dei batteri. In questo modo, i pendii dei vulcani come l'incredibile Monte Olimpo²¹⁵ (27 chilometri di altezza, 600 chilometri di base) potrebbero diventare delle regioni prioritarie per

²¹⁴ http://www.esa.int/esaMI/Mars_Express/

²¹⁵ Cliché d'Olympus Mons sur <http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap970915.html>

pourraient devenir des régions prioritaires pour la recherche de vie sur Mars. Et la liste des sites à prospector s'allonge d'autant.

Dernier élément d'importance : il est maintenant certain que, pendant la période humide de la planète, entre -4,6 et -3,8 milliards d'années, l'écoulement des eaux a provoqué la formation d'argiles. Celles-ci ont été détectées en de nombreux endroits, principalement des hauts plateaux très anciens, parfois sur 500 mètres d'épaisseur. C'est la preuve indubitable que Mars a effectivement connu une époque atmosphérique, avec effet de serre et eau sous forme liquide en permanence. Sur Terre, il faut des millions d'années d'érosion par l'eau pour que des argiles se forment. Or, et c'est là que les choses deviennent intéressantes, certains biologistes estiment que, sur Terre, la vie pourrait être apparue précisément dans les argiles, dont la structure feuilletée est propice aux répliquations de molécules. L'argile un peu comme dans la Bible, constituerait la matière première non pas de l'homme, mais de son lointain ancêtre, la première bactérie (que rien n'interdit de baptiser Adam si le cœur vous en dit). Et voilà encore une flopée de sites prometteurs à prospector sur Mars.

Mars, que l'on croyait sèche, morte et stérile, se montre de plus en plus riche en eau, de plus en plus animée géologiquement et présente de plus en plus de sites potentiellement propices à une vie passée ou même actuelle. Il y a tellement de sites intéressants qu'on ne sait plus où donner de la mission martienne. Une chose est sûre : dans notre grande traque de la bactérie, il faut impérativement continuer à ausculter cette petite sœur rabougrie.

la ricerca di vita su Marte. E la lista dei siti da perlustrare si allunga in proporzione.

Ultimo elemento d'importanza: adesso è certo che, durante il periodo umido del pianeta, tra -4,6 e -3,8 miliardi di anni, lo scorrimento delle acque abbia provocato la formazione di argille. Queste sono state rilevate in numerose zone, principalmente degli altopiani molto antichi, spesso sui 500 metri di spessore. È la prova indiscutibile che Marte ha effettivamente conosciuto un'epoca atmosferica, con effetto serra e acqua sempre sotto forma liquida. Sulla Terra, servono milioni di anni di erosione per effetto dell'acqua affinché le argille si formino. Ma, è lì che le cose diventano interessanti, alcuni biologi stimano che, sulla Terra, la vita potrebbe essere apparsa proprio nelle argille, la cui struttura stratificata è favorevole alle replicazioni delle molecole. L'argilla, un po' come nella Bibbia, costituirebbe la materia prima non per l'uomo, ma per il suo lontano antenato, il primo batterio (che nulla vieta di battezzare Adam, se volete). Ed ecco ancora una grande quantità di siti promettenti da perlustrare su Marte.

Marte, che credevamo secco, morto e sterile, si mostra sempre più ricco d'acqua, sempre più animato geologicamente, e presenta sempre più siti potenzialmente favorevoli ad una vita passata o anche attuale. Ci sono così tanti siti interessanti che non si sa più dove condurre la missione marziana. Una cosa è certa: nella nostra grande caccia al batterio, bisogna assolutamente continuare ad osservare questa sorella minore rinsecchita.

Et l'autre bonne nouvelle, pour les missions habitées du futur, c'est qu'il n'y aura pas besoin d'emporter des centaines de litres d'eau en bidon. Les glaçons se trouvent en stock sur place. Quittons donc la planète rouge en admirant un splendide cliché pris en 2005 par la sonde européenne Mars Express : près du pôle nord martien, un cratère d'impact de 35 kilomètres de diamètre abrite en son fond un petit lac de glace de 2 kilomètres d'épaisseur, l'eau y ayant été déposée, jadis par une comète²¹⁶.

L'autre Europe

Les bactéries, telles que nous avons appris à les connaître ces dernières années, posent un épineux problème : on peut les trouver à peu près n'importe où. Plus seulement entre 0 et 100 °C, musardant au soleil, comme on le pensait, mais plutôt de -200 à +200 °C, et aussi dans la roche et la glace ou les abysses.

Certains biologistes pensent d'ailleurs que, sur la Terre, la vie ne serait pas apparue d'abord dans les eaux de surface, exposées au rayonnement solaire, ni dans les argiles, mais plutôt dans le fond de l'océan, près des sources hydrothermales très chaudes, à l'écart de toute lumière. C'est du moins ce que peuvent donner à penser les nombreux sites de cette sorte découverts depuis une vingtaine d'années. Ils abritent des colonies de plantes et d'animaux qui vivent en totale autarcie, sans échange avec la

²¹⁶ Cliché sur <http://antwpr.gsfc.nasa.gov/apod/ap050720.html>
Imagine su <http://antwpr.gsfc.nasa.gov/apod/ap050720.html>

E l'altra buona notizia, per le missioni umane del futuro, è che non ci sarà bisogno di portare centinaia di litri d'acqua nelle tanniche. I ghiacciai si trovano in riserva sul posto. Lasciamo dunque il pianeta rosso ammirando una splendida fotografia scattata nel 2005 dalla sonda europea Mars Express: vicino al polo nord marziano, un cratere d'impatto di 35 chilometri di diametro ospita nel suo fondo un piccolo lago di ghiaccio di 2 chilometri di spessore, in passato l'acqua vi era stata depositata da una cometa²¹⁶.

L'altra Europa

I batteri, come abbiamo imparato a conoscerli in questi ultimi anni, pongono un problema spinoso: si possono trovare un po' dovunque. Non più soltanto tra 0 e 100°C, trastullandosi al sole, come si pensava, ma addirittura da -200 a +200°C, e anche nella roccia e nel ghiaccio oppure negli abissi.

Alcuni biologi pensano inoltre che, sulla Terra, la vita non sarebbe apparsa inizialmente nelle acque di superficie, esposte all'irraggiamento solare, né nelle argille, bensì nel fondo dell'oceano, vicino a fonti idrotermali molto calde, lontano da qualsiasi raggio di luce. Almeno è quello che possono far immaginare i numerosi siti di questo tipo scoperti da una ventina d'anni. Loro ospitano colonie di piante e di animali che vivono in totale autarchia, senza il minimo scambio con la superficie o

surface ou la lumière.

Mais si cela est vrai, direz-vous, est-il possible qu'une seule souche de bactéries, une souche originelle, ait peuplé ces divers habitats déconnectés les uns des autres ? N'est-ce pas plutôt que la vie est apparue plusieurs fois de façon indépendante, même à la surface de la Terre ? Dans ce cas, pourquoi aller chercher au diable une preuve que nous avons sous les yeux ? Il est possible, en effet, que la première bactérie terrestre n'ait pas été la seule à trouver son chemin vers la vie. Il est possible que les mêmes conditions dans différents endroits aient conduit à plusieurs éclosions indépendantes les unes des autres. C'est possible... mais totalement indémonstrable. Contentons-nous d'arriver à dater des fossiles d'organismes microscopiques vieux de 3,8 milliards d'années. Prouver qu'ils ne sont pas apparentés entre eux relève de l'utopie totale. La vie sur Terre est comme une sauce qui mijote depuis des lustres dans le même chaudron ; toute mémoire du ou des amorçages a disparu. Si nous voulons mettre le doigt sur un démarrage indépendant, si bizarre que cela puisse paraître, il est plus réaliste d'aller sonder d'autres astres éloignés qui pourraient présenter les mêmes conditions que la Terre lorsque la ou les premières bactéries ont pris vie.

Or, à première vue, nul corps du système solaire ne présente d'océan liquide, encore moins pourvu de sources chaudes. À première vue. Mais les scientifiques se contentent rarement d'un examen superficiel.

la luce.

Ma se questo è vero, voi direte, è possibile che un solo ceppo di batteri, un solo ceppo originale, abbia popolato questi diversi habitat isolati gli uni dagli altri? Non è invece che la vita sia apparsa diverse volte in modo indipendente, anche sulla superficie della Terra? In questo caso, perché andare a cercare chissà dove una prova che abbiamo sotto gli occhi? È possibile, infatti, che il primo batterio terrestre non sia stato il solo a trovare la sua strada verso la vita. È possibile che le stesse condizioni in luoghi diversi abbiano condotto a più nascite indipendenti le une dalle altre. È possibile, ma totalmente indimostrabile. Accontentiamoci di riuscire a datare dei fossili di organismi microscopici antichi di 3,8 miliardi di anni. Provare che non sono collegati tra loro rientra nell'utopia totale. La vita sulla Terra è come un sugo che cuoce a fuoco lento da dei secoli nello stesso calderone; ogni memoria del o degli inizi è scomparsa. Se volessimo puntare il dito sull'avvio indipendente, per quanto strano che possa essere, è più realista andare a sondare altri astri allontanati, che potrebbero presentare le stesse condizioni di vita della Terra laddove il o i primi batteri hanno preso vita.

Tuttavia, a prima vista, nessun corpo del sistema solare presenta un oceano liquido, ancor meno provvisto di fonti calde. A prima vista. Ma gli scienziati raramente si accontentano di un esame superficiale.

Europe est une grosse boule recouverte de glace craquelée qui tourne autour de Jupiter²¹⁷. Sa glace est surtout formée d'eau, et de gaz congelés, comme le méthane. Entre 1995 et 2003, la sonde spatiale Galileo est passée près d'Europe à plusieurs reprises, et ses mesures ont indiqué, à la surprise générale, que le cœur du satellite était chaud. Par quel miracle ? Après réflexion et calcul, on a pointé du doigt les forces de marée dues à Jupiter. Sur Terre, les marées sont dues à l'attraction de la Lune (et, à un degré moindre, à celle du Soleil) qui met la masse océanique en mouvement. L'eau se soulève de plusieurs mètres sur le côté de la Terre qui fait face à la Lune. En fait, il s'agit là de petites marées de rien du tout. Imaginez une marée causée par Jupiter, qui fait trois cents fois la masse de la Terre ! Sur Europe, il n'y a pas d'océan liquide, la surface est bien trop froide, mais en son sein il y a un cœur liquide qui n'a pas encore eu le temps de refroidir et de se solidifier, précisément à cause de ces forces de marée joviennes (on ne dit pas « jupitériennes »). Le cœur liquide de la petite Europe est chamboulé sans arrêt par l'attraction de la gigantesque planète. À chaque rotation, le magma est précipité d'un côté à l'autre, comme dans un bateau qui tangue, et à force d'être ainsi remué il reste chaud et ne se solidifie pas. Mais, si le cœur est chaud, et la surface glacée, qu'a-t-on une chance de trouver entre les deux ? Du tiède bien sûr ! Et par conséquent de l'eau liquide. Il est ainsi devenu certain qu'Europe camoufle un océan d'eau liquide sous plusieurs kilomètres de glace. Mais, se demandera-t-on, est-ce un lieu pour vivre ?

Europa è una grossa sfera ricoperta di ghiaccio crepato che ruota attorno a Giove²¹⁷. Il suo ghiaccio è soprattutto formato d'acqua, e da gas congelati, come il metano. Tra il 1995 e il 2003, la sonda spaziale Galileo è passata vicino ad Europa più volte, e le sue misurazioni hanno indicato, a sorpresa di tutti, che il nucleo del satellite era caldo. Per quale miracolo? Dopo aver riflettuto e calcolato, si è puntato il dito sulle forze di marea causate da Giove. Sulla Terra, le maree sono causate dall'attrazione della Luna (e, a un grado inferiore, da quella del Sole) che mette in movimento la massa oceanica. L'acqua si solleva di alcuni metri sul lato della Terra che si affaccia sulla Luna. Infatti, lì non si tratta affatto di piccole maree. Immaginate una marea causata da Giove, che è trecento volte la massa della Terra! Su Europa, non c'è un oceano liquido, la superficie è troppo fredda, ma al suo interno c'è un nucleo liquido che non ha ancora avuto il tempo di raffreddare e di solidificarsi, proprio a causa di queste forze di marea gioviane (non si dice "gioviali"). Il nucleo liquido della piccola Europa è stravolto di continuo per effetto dell'attrazione del pianeta gigantesco. Ad ogni rotazione, il magma è precipitato da una parte all'altra, come in una barca che dondola, e a forza di essere così mescolato, resta caldo e non si solidifica. Ma, se il nucleo è caldo, e la superficie è ghiacciata, che cos'è possibile trovare tra i due? Del tiepido, certo! E di conseguenza dell'acqua liquida. Così è diventato certo che Europa nasconde un oceano d'acqua liquida sotto diversi chilometri di ghiaccio. Ma ci si chiederà, è un luogo per vivere?

²¹⁷ Cliché sur <http://antwarp.gsfc.nasa.gov/apod/ap071202.html>
Immagine su <http://antwarp.gsfc.nasa.gov/apod/ap071202.html>

Pourquoi pas ? Les recherches sur Terre ont montré que certaines bactéries étaient capables de vivre sous la banquise. Et, même à l'intérieur de la glace, la vie s'installe entre les cristaux. Il n'est donc pas interdit de penser qu'il existe aujourd'hui sur Europe le même type de bactéries vivantes psychrophiles (c'est-à-dire qui aiment le froid, cf. supra). Dans Europe, plus exactement.

L'autre hypothèse plausible concerne le fond de l'océan : tout comme sur Terre, la vie pourrait s'être développée à proximité d'orifices volcaniques sous-marins qui lui apporteraient l'énergie nécessaire. Sur notre planète, on connaît déjà des dizaines d'espèces de bactéries sous-marines capables de vivre au-dessus de 100 °C. Ces bactéries thermophiles, pratiquant la chimiosynthèse, et non la photosynthèse, se nourrissent d'hydrogène et de dioxyde de carbone contenus dans les roches avoisinant les sources chaudes. Elles n'ont besoin ni d'oxygène ni de lumière pour faire bombance. Or les mêmes conditions sont probablement réunies au fond de l'océan d'Europe, si bien que de lointains cousins de nos thermophiles pourraient être en train d'y festoyer.

Europe serait-elle le berceau de bactéries psychrophiles ou de bactéries thermophiles ? Ou des deux ?

Pour tester ces possibilités, il faudrait aller y voir de plus près, débarquer, creuser, prélever. Ici, on parle de missions qui ne sont même pas encore programmées. Mais, dans la seconde partie du XXI^e siècle, il y aura probablement des sondes qui se poseront sur Europe pour effectuer des prélèvements liquides à travers les

Perché no? Le ricerche sulla Terra hanno mostrato che alcuni batteri erano capaci di vivere sotto la banchisa. E, anche all'interno del ghiaccio, la vita si mette tra i cristalli. Non è dunque vietato pensare che esista oggi su Europa lo stesso tipo di batteri viventi psicrofili (ovvero che amano il freddo, cf. supra). Dentro Europa, più precisamente.

L'altra ipotesi plausibile riguarda il fondo dell'oceano: proprio come sulla Terra, la vita potrebbe essersi sviluppata in prossimità degli orifici vulcanici sottomarini che gli avrebbero dato l'energia necessaria. Sul nostro pianeta, si conoscono già decine di specie di batteri sottomarini capaci di vivere al di sotto dei 100°C. Questi batteri termofili, facendo la chemiosintesi e non la fotosintesi, si nutrono di idrogeno e di diossido di carbonio contenuti nelle rocce che sono vicine alle fonti calde. Loro non hanno bisogno né di ossigeno né di luce per fare festa. Tuttavia, le stesse condizioni sono probabilmente riunite nel fondo dell'oceano di Europa, tanto che dei lontani cugini dei nostri termofili potrebbero essere in fase di festeggiamenti.

Europa sarebbe la culla di batteri psicrofili o di batteri termofili? O di entrambi?

Per testare queste possibilità, bisognerebbe dare un'occhiata più da vicino, arrivare, cercare, prelevare. Qui, si parla di missioni che non sono state ancora programmate. Ma, nella seconda parte del XXI secolo, ci saranno probabilmente delle sonde che si poseranno su Europa per effettuare prelievi liquidi attraverso le

failles de la banquise et pour étudier la composition chimique de son océan subglaciaire. Encore faut-il trouver un endroit où la croûte ne soit pas trop épaisse, car, s'il s'agit d'un bouclier uniforme de 300 kilomètres d'épaisseur, il faudra dire adieu aux espoirs de forage.

En attendant, pour éviter tout risque de contamination de la blanche Europe par des bactéries d'origine terrestre, on a volontairement crashé sur Jupiter la sonde Galileo qui, arrivée à court de combustible après des années de bons et loyaux services, risquait de tomber n'importe où, tel un cheveu dans la soupe primitive.

Titan

Un autre corps du système solaire semble très prometteur. C'est un gros satellite de Saturne nommé Titan²¹⁸, dont les astronomes ont coutume de dire qu'il s'agit d'une Terre primitive mise au congélateur. Pourquoi Terre primitive ? Parce que la composition de son atmosphère actuelle est très proche de celle de l'atmosphère primitive de la Terre, avant l'apparition de la vie. À l'époque, il n'y avait pas d'oxygène gazeux, puisque celui-ci a été libéré par les plantes. C'était de l'azote, du méthane, de l'ammoniac et autres bizarreries (du point de vue actuel bien sûr). Et pourquoi le congélateur ? Simplement parce qu'on est très loin du seul radiateur disponible. À 2,5 milliards de kilo-

crepe della banchisa e per studiare la composizione chimica del suo oceano subglaciale. Bisogna ancora trovare un posto dove la crosta non sia troppo spessa, perché si tratta di una barriera uniforme di 300 chilometri di spessore, bisognerà dire addio alle speranze di perforazione.

Nel frattempo, per evitare ogni rischio di contaminazione della bianca Europa da batteri di origine terrestre, abbiamo schiantato volontariamente la sonda Galileo su Giove che, arrivata a corto di combustibile dopo anni di buoni e leali servizi, rischiava di cadere da qualche parte, come un capello nel brodo primordiale.

Titano

Un altro corpo del sistema solare sembra molto promettente. È un grosso satellite di Saturno chiamato Titano²¹⁸, di cui gli astronomi sono soliti dire che si tratta di una Terra primitiva messa in congelatore. Perché Terra primitiva? Perché la composizione della sua attuale atmosfera è molto simile a quella dell'atmosfera primitiva della Terra, prima dell'apparizione della vita. All'epoca, non c'era ossigeno gassoso, dato che è stato sprigionato dalle piante. Si trattava di azoto, metano, ammoniaca e altre stranezze (dal punto di vista attuale s'intende). E perché in congelatore? Semplicemente perché si è molto lontano dal solo radiatore disponibile. A 2,5 miliardi di chilometri dal Sole, si

²¹⁸ Cliché de Titan (image animée montrant la rotation) sur <http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap060215.html>

Immagine di Titano (immagine animata che mostra la rotazione) su <http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap060215.html>

mètres du Soleil, il fait quelque chose comme - 180 °C en permanence. Donc on peut faire une croix sur les palmiers, mais il n'empêche, à nouveau, qu'il n'est pas impossible qu'une petite bactérie pas trop douillette ait réussi à émerger dans, ou sous, cet univers gelé.

La mission Cassini est donc allée faire un tour par là (elle a mis sept ans pour y arriver) et elle a largué un module d'exploration nommé Huygens qui est descendu dans l'atmosphère de Titan le 14 janvier 2005. En fait de paysages titanesques, les scientifiques ont été déçus : Titan était plat comme une crêpe, parsemé de petits cailloux, de glace d'eau et de méthane²¹⁹.

Les instruments de la sonde Huygens ont effectué toute une série de mesures pour savoir ce que l'atmosphère et le sol de Titan pouvaient présenter comme genre de molécules. Au premier stade des analyses, pas de découverte spectaculaire, pas la moindre bactérie, même naine, pas non plus la moisson de molécules prébiotiques espérée. Mais, comme pour Europa, on a acquis la conviction qu'un océan liquide se trouvait emprisonné sous l'épaisse couche de glace et que cet océan mériterait une étude plus approfondie.

Titan, par ailleurs, réservait des surprises bien à lui, largement étalées en surface, mais seulement en nocturne. Durant l'année 2006, des survols cassiniens de la région polaire plongée dans la nuit ont révélé des paysages extraordinaires. Le radar a découvert d'innombrables taches foncées à bords nets, très tranchés.

ha continuamente qualcosa come -180°C. Dunque, si può fare una croce sopra le palme, ma ciò non impedisce, di nuovo, che un piccolo batterio non troppo schizzinoso sia riuscito ad emergere nel, o sotto, questo universo ghiacciato.

La missione Cassini è andata a fare un giro da quella parte (ci ha impiegato sette anni per arrivarci) e ha sganciato un modulo di atterraggio chiamato Huygens che è sceso nell'atmosfera di Titano il 14 gennaio 2005. In fatto di paesaggi titaniani, gli scienziati sono stati delusi: Titano era piatto come una crêpe, ricoperto di piccole pietre, di ghiaccio d'acqua e di metano²¹⁹.

Gli strumenti della sonda Huygens hanno effettuato tutta una serie di misurazioni per sapere che genere di molecole l'atmosfera e il suolo di Titano potevano presentare. Nella prima fase delle analisi, nessuna scoperta spettacolare, neanche il minimo batterio, neanche nano, nemmeno la raccolta di molecole prebiotiche sperata. Ma, come per Europa, si è giunti alla conclusione che un oceano liquido si trovasse imprigionato sotto lo spesso strato di ghiaccio e che questo oceano meritasse uno studio più approfondito.

Titano, d'altra parte, riservava delle sorprese tutte sue, ampiamente disposte in superficie, ma solamente in notturna. Durante il 2006, dei sorvoli cassiniani della regione polare immersa nella notte hanno rivelato paesaggi straordinari. Il radar ha scoperto innumerevoli macchie scure dai bordi netti, ben definiti. Queste

²¹⁹ Le premier cliché de Titan pris par la sonde Huygens est sur <http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap050117.html>
La prima immagine di Titano scattata dalla sonda Huygens è su <http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap050117.html>

Ces taches correspondent à des zones horizontales totalement lisses. Il est pratiquement impossible de les interpréter autrement que comme des lacs liquides. Des lacs liquides. par -180°C ? C'est possible, s'il s'agit de lacs de méthane et d'éthane. La sonde Cassini poursuit sa cartographie minutieuse²²⁰. 60 % des terrains situés au-dessus de 60 degrés de latitude ont été examinés. Les lacs en recouvrent 14 %, ils ont des tailles variant de 1 à plus de 100 000 kilomètres carrés. Une véritable éponge qui évoque un peu les paysages du nord du Canada ou de la Scandinavie, mais en nettement plus froid. De plus, ces lacs semblent tributaires des saisons. En « hiver », quand le pôle est plongé dans la nuit, le méthane serait liquide. Au « printemps », quand le Soleil se lève et que la température monte de 10°C , le méthane s'évaporerait pour migrer vers le pôle sud et tomber en précipitations diluviennes, formant de nouveaux lacs de ce côté. Et ainsi chaque année, sachant qu'elle s'y étend sur trente de nos années terrestres, tout le stock de méthane liquide migre d'un pôle à l'autre. Les lits des rivières qui drainent les pluies de méthane vers les lacs sont clairement imprimés des deux côtés.

En clair, il semble que le méthane soit à Titan ce que l'eau est à la Terre, nourrissant un cycle complet et permanent d'érosion, de formation de réservoirs, d'évaporation et de précipitations. Tandis que l'eau y joue plutôt le rôle de notre sol rocheux : formant un plancher de glace solide qui recouvre toute la planète. Des orages de méthane sur un sol de glace, quelle féerie ! Même le grand Jules Verne n'y a pas pensé.

macchie corrispondono a zone orizzontali totalmente lisce. Le si possono interpretare soltanto come laghi liquidi. Dei laghi liquidi, a -180°C ? È possibile, si tratta di laghi di metano e di etano. La sonda Cassini continua la sua cartografia minuziosa²²⁰. Il 60% delle aree situate al di sopra dei 60 gradi di latitudine sono state esaminate. I laghi ne ricoprono il 14%, sono di misura che varia da 1 a più di 100°000 chilometri quadrati. Una vera e propria spugna che evoca un po' i paesaggi del nord del Canada o della Scandinavia, ma decisamente più freddo. In più, questi laghi sembrano dipendere dalle stagioni. In “inverno”, quando il polo è immerso nella notte, il metano sarebbe liquido. In “primavera”, quando il Sole si leva e la temperatura sale di 10°C , il metano evapora per migrare verso il polo sud e cadere sotto forma di precipitazioni torrenziali, formando nuovi laghi da questa parte. E così ogni anno, sapendo che dura trenta dei nostri anni terrestri, tutta la riserva di metano liquido migra da un polo all'altro. I letti dei fiumi che drenano le piogge di metano verso i laghi sono chiaramente impressi su entrambe le parti.

In poche parole, sembra che il metano appartenga a Titano come l'acqua alla Terra, nutrendo un ciclo completo e continuo di erosione, di formazione di giacimenti, di evaporazione e di precipitazioni. Mentre l'acqua vi svolge invece il ruolo del nostro suolo roccioso: formando un fondo di ghiaccio solido che ricopre tutto il pianeta. Le tempeste di metano su un suolo di ghiaccio, che stranezza! Neanche il grande Jules Verne ci aveva pensato.

²²⁰ <http://saturn.jpl.nasa.gov/multimedia/images/index.cfm>

Oltre l'océan d'eau liquide qui se trouve sous la glace, Titan devient donc intéressant à un second titre, car on y retrouve la même problématique que sur Mars. Le méthane gazeux étant dégradé en permanence dans la haute atmosphère, d'où provient son renouvellement ? Géologie ou biologie ?

Certains chercheurs soutiennent que le milieu titanésque, contenant de l'acétylène et de l'hydrogène, pourrait fournir les nutriments nécessaires à des bactéries productrices de méthane, même à des températures aussi basses que - 180 °C. À creuser, donc.

Encelade

La liste des corps intéressants s'arrêtait là il y a dix ans. Mais les missions spatiales parties pour étudier Europe et Titan ont survolé par la même occasion une poignée d'autres satellites de Saturne et de Jupiter, dont certains se sont avérés bien intrigants. Trois au moins sont entrés dans la catégorie très prisée des détenteurs d'eau. Parmi eux, Encelade, satellite de Saturne, est sans conteste le plus déconcertant.

Avec un diamètre de 500 kilomètres à peine (la Terre en fait près de 13 000), Encelade était *a priori* classé parmi les bouts de caillou froids et morts, genre Lune mais en glaçon. Quelle ne fut pas la surprise des astronomes de contempler sur les clichés envoyés par la mission Cassini d'énormes panaches de matière éjectés sur plusieurs dizaines de kilomètres de hauteur dans la région du

Oltre all'oceano d'acqua liquida che si trova sotto il ghiaccio, Titano diventa interessante per un secondo motivo, perché vi si ritrova la stessa problematica di Marte. Il metano gassoso essendo deteriorato di continuo nell'alta atmosfera, da dove proviene il suo rinnovo? Geologia o biologia?

Alcuni ricercatori sostengono che il luogo titaniano, che contiene acetilene e idrogeno, potrebbe fornire i nutrimenti necessari ai batteri produttori di metano, anche a delle temperature basse come -180°C. Dunque, da approfondire.

Encelado

La lista dei corpi interessanti si fermava lì dieci anni fa. Ma le missioni spaziali partite per studiare Europa e Titano hanno sorvolato al tempo stesso una manciata di altri satelliti di Saturno e di Giove, di cui alcuni sono risultati davvero intriganti. Almeno tre sono entrati nella categoria molto stimata dei detentori d'acqua. Tra loro, Encelado, satellite di Saturno, è senza dubbio il più sconcertante.

Con un diametro di appena 500 chilometri (la Terra ne misura circa 13 000), Encelado, era classificato *a priori* tra i frammenti di rocce fredde e morte, come la Luna ma in ghiaccio. Quale non fu la sorpresa degli astronomi nel contemplare sugli scatti inviati dalla missione Cassini di enormi pennacchi di materia lanciati per molte decine di chilometri di altezza nella regione del polo

pôle sud²²¹ ! Des volcans sur Encelade ? Alors que la température de surface est de $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$? Et avec quelle chaleur, s'il vous plaît ?

Après examen des données, il est apparu que les jets visibles sur les clichés n'étaient pas faits de lave, mais d'eau et de vapeur. Encelade possède des volcans d'eau ! Après les lacs de méthane de Titan et son cycle météorologique complet, voici les volcans d'eau d'Encelade et son cycle volcanique complet. Au lieu de recycler les roches silicatées, comme le fait la Terre (fondues en profondeur, éjectées par les volcans, solidifiées en surface), Encelade fait circuler son eau (fondue, éjectée et solidifiée) selon le même cycle.

Une partie de cette eau se trouve vaporisée en haute altitude, formant un semblant d'atmosphère éphémère qui échappe bientôt à l'attraction du satellite pour se retrouver dispersée dans l'un des anneaux de Saturne, qu'elle alimente – ainsi s'explique la teneur anormalement élevée en oxygène de cet anneau (qu'on avait précédemment observée sans connaître sa source). L'autre partie de l'eau éjectée se fige immédiatement sous l'effet du gel et forme du nouveau sol, à la manière dont chez nous la lave se fige à la sortie des volcans. La glace et l'eau en lieu et place de roche et de lave, encore une féerie digne de la meilleure science-fiction.

sud²²¹ ! Dei vulcani su Encelado? Quando la temperatura di superficie è di -200°C ? E con che calore, prego?

Dopo un esame dei dati, è apparso che i getti visibili sugli scatti non erano fatti di lava, ma di acqua e di vapore. Encelado possiede dei vulcani d'acqua! Dopo i laghi di metano di Titano e il suo ciclo meteorologico completo, ecco i vulcani d'acqua di Encelado e il suo ciclo vulcanico completo. Invece di riciclare le rocce silicatiche, come fa la Terra (fuse in profondità, espulse dai vulcani, solidificate in superficie), Encelado fa circolare la sua acqua (fusa, espulsa e solidificata) secondo lo stesso ciclo.

Una parte di quest'acqua si trova vaporizzata ad alta quota, formando un qualcosa che assomiglia all'atmosfera effimera che scappa presto dall'attrazione del satellite per ritrovarsi dispersa in uno degli anelli di Saturno, che lei alimenta – così si spiega il livello stranamente elevato di ossigeno di questo anello (che si era osservato in precedenza senza conoscere la sua fonte). L'altra parte dell'acqua espulsa si solidifica immediatamente per l'effetto del gelo e forma il nuovo suolo, nel modo in cui da noi la lava si solidifica all'uscita dei vulcani. Il ghiaccio e l'acqua invece di roccia e lava, ancora una stranezza degna della migliore fantascienza.

²²¹ Comparer le cliché réel pris par la sonde Cassini (<http://antwrrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap071013.html>) avec une « vue d'artiste » (<http://antwrrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap060608.html>).
Confrontare l'immagine reale scattata dalla sonda Cassini (<http://antwrrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap071013.html>) con una “rappresentazione artistica” (<http://antwrrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap060608.html>).

Établir la présence d'eau liquide sur un corps aussi petit et aussi froid qu'Encelade était une conclusion stupéfiante.

Après examen plus serré encore, on a établi que la réserve d'eau liquide alimentant ce volcanisme n'était pas enfouie à des dizaines ou des centaines de kilomètres, comme sur Europe où Titan, mais se trouvait à seulement quelques mètres sous la glace. En outre, il ne s'agit pas d'un grand océan mais de différentes poches d'eau, ou lacs sous-glaciaires. Comment cette eau liquide peut-elle se former dans un environnement aussi froid ?

Si la glace d'Encelade est composée d'eau pure, il faut qu'elle atteigne $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ pour fondre. Si elle est composée d'eau salée, il lui suffit d'atteindre $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. S'il s'agit de glace ammoniacuée, la fusion partielle peut commencer à $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Mais comment réchauffer un aussi petit corps même à $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$?

La radioactivité interne et l'effet de marée dû à Saturne, sur le papier ne semblent pas suffire. Peut-être existe-t-il des interactions gravitationnelles avec les autres satellites qui ajoutent des forces de marée ? À ce stade, il s'agit d'un mystère total, et d'un beau casse-tête à résoudre pour les astronomes. En mars 2007, les experts de la NASA ont proposé un nouveau modèle de formation du satellite, avec un début surchauffé par des réactions radioactives rapides. Un peu tordu comme scénario, proche de la solution désespérée, mais nous ne sommes certainement pas au bout de nos surprises.

Toujours est-il que l'eau jaillit à gros bouillons, faisant

Stabilire la presenza d'acqua liquida su un corpo tanto piccolo e freddo come quello di Encelado era una conclusione stupefacente.

Dopo un esame ancora più attento, si è stabilito che la riserva d'acqua liquida che alimenta questo vulcanismo non era sepolta a decine o centinaia di chilometri, come su Europa o Titano, ma si trovava a solo pochi metri sotto il ghiaccio. Inoltre, non si tratta di un grande oceano ma di diverse sacche d'acqua, o di laghi subglaciali. In che modo quest'acqua liquida può formarsi in un ambiente così freddo?

Se il ghiaccio di Encelado è composto d'acqua pura, bisogna che esso raggiunga 0°C per sciogliersi. Se è composto da acqua salata, gli basta raggiungere -20°C . Si tratta di ghiaccio ammoniacale, la fusione parziale può cominciare a -100°C . Ma come riscaldare un corpo così piccolo addirittura a -100°C ?

La radioattività interna e la marea gravitazionale dovuta a Saturno, sulla carta, non sembrano bastare. Forse esistono delle interazioni gravitazionali con gli altri satelliti che aggiungono delle forze di marea? Per il momento, si tratta di un totale mistero, e di un bel rompicapo da risolvere per gli astronomi. Nel marzo 2007, gli esperti della NASA hanno proposto un nuovo modello di formazione del satellite, con un inizio riscaldato da delle reazioni radioattive rapide. Un po' strano come scenario, simile alla soluzione disperata, ma noi non siamo di certo alla fine delle nostre sorprese.

L'acqua sgorga sempre a fiotti, facendo di Encelado un nuovo

d'Encelade un nouveau terrain de prospection pour la recherche de traces de vie.

terreno di esplorazione per la ricerca di tracce di vita.

Traduction de *Les trous noirs* de la page 170 à 198

Les trous noirs

De quoi s'agit-il ?

Les trous noirs découlent d'office de la notion d'espace-temps élastique. Partons d'un corps quelconque. Plus il est massif, plus la courbure qu'il va imprimer au tissu élastique est importante. Si le volume occupé par l'objet est grand lui aussi, on reste dans une courbure raisonnable. Mais, si le volume est petit pour une masse très grande, comme dans les objets qui résultent de la mort d'une étoile, la déformation devient comparable à la cuvette creusée par la pastille de plomb dans le bas nylon. Plus l'objet est compact, plus la cuvette qu'il creuse présente une forte pente. Cette transcription visuelle est simpliste, mais elle donne quand même une idée concrète de la façon dont les équations d'Einstein relient la densité de matière à la courbure de l'espace-temps.

Précisons que ces fameuses équations permettent de recalculer correctement tout le système solaire (ce que réussissait déjà Newton), mais aussi les environnements de trous noirs ainsi que les événements cosmologiques comme le Big Bang (une prouesse toute moderne). C'est un vrai prodige, ces équations, tout l'Univers se trouve dedans, comme l'arbre dans la graine.

Le trou noir, donc, surgit naturellement des équations d'Einstein en tant qu'objet tellement dense qu'il creuserait dans le tissu

I buchi neri

Di cosa si tratta?

I buchi neri derivano automaticamente dalla nozione di spazio-tempo elastico. Partiamo da un corpo qualsiasi. Più è massiccio, più la curvatura che imprimerà al tessuto elastico è importante. Se il volume occupato dall'oggetto è grande anch'esso, rimaniamo su una curvatura adeguata. Ma se il volume è piccolo per una massa molto grande, come negli oggetti che derivano dalla morte di una stella, la deformazione diventa paragonabile alla concavità scavata dalla pastiglia di piombo in un collant di nylon. Più l'oggetto è compatto, più la concavità che scava presenta una forte pendenza. Questa trascrizione visiva è riduttiva, ma dà almeno un'idea concreta del modo in cui le equazioni di Einstein collegano la densità della materia alla curvatura dello spazio-tempo.

Precisiamo che queste celebri equazioni permettono di ricalcolare correttamente tutto il sistema solare (che già Newton risolveva), ma anche gli ambienti dei buchi neri così come gli avvenimenti cosmologici come il Big Bang (un'impresa tutta moderna). Sono un vero prodigio, queste equazioni, tutto l'Universo vi si trova dentro, come l'albero nel seme.

Il buco nero, dunque, sorge naturalmente dalle equazioni di Einstein in quanto oggetto talmente denso che scaverebbe nel tessu-

élastique un puits sans fond. Sans fond, c'est-à-dire que toute matière qui franchit le bord du puits est irrémédiablement capturée. Il n'existe pas de vitesse de libération qui permettrait de s'en échapper, et donc la lumière non plus ne peut pas en sortir.

Prenons d'abord le cas d'une étoile à neutrons. Elle est très dense et déforme notablement l'espace-temps. Celui-ci s'incurve en cuvette. Si on lance un projectile dans une direction proche de l'étoile, sa trajectoire va être déviée à cause de cette courbure, mais, s'il a une vitesse suffisante, il pourra ressortir de la cuvette et s'échapper. La lumière aussi sera déviée puis continuera son chemin.

S'il s'agit d'un trou noir, la cuvette, à une certaine distance proche du centre, se transforme en puits. C'est comme si le tissu se trouait. On appelle cette distance limite « frontière » du trou noir. Ce n'est pas une frontière physique qu'on pourrait toucher, mais une frontière géométrique de l'espace-temps qui marque la séparation entre une zone simplement incurvée et une zone de non-retour, où la pente de la cuvette devient verticale. Si on lance un projectile dans cette zone-là, quelle que soit sa vitesse, il sera d'office capturé et ne sortira plus jamais. Qu'il s'agisse d'une fusée, d'une particule élémentaire ou d'un rayon lumineux, il tombera au fond du puits.

Notez qu'on appelle « trou noir » non pas l'objet qui se trouve au fond du puits – dont nous ne savons rien –, mais toute la zone à l'intérieur de la frontière de non-retour. Cette frontière qui délimite le trou noir est aussi appelée *horizon des événements*, pour la bonne raison qu'on ne peut plus rien observer au-delà.

to elastico un pozzo senza fondo. Senza fondo, nel senso che tutta la materia che oltrepassa il bordo del pozzo è irrimediabilmente catturata. Non esiste velocità di liberazione che permetterebbe di sfuggirne, e dunque neanche la luce può uscirne.

Innanzitutto, prendiamo il caso di una stella di neutroni. È molto densa e deforma notoriamente lo spazio-tempo. Esso si curva in una concavità. Se si lancia un proiettile in una direzione vicino alla stella, la sua traiettoria sarà deviata a causa di questa curvatura, ma, se ha una velocità sufficiente, potrà uscire dalla concavità e sfuggire. Anche la luce sarà deviata poi proseguirà per la sua strada.

Si tratta di un buco nero, ad una determinata distanza vicina al centro, la concavità si trasforma in pozzo. È come se il tessuto si buccasse. Chiamiamo questa distanza limite “frontiera” del buco nero. Non è una frontiera fisica che potremo toccare, ma una frontiera geometrica dello spazio-tempo che marca la separazione tra una zona semplicemente incurvata e una zona di non-ritorno, dove la pendenza della concavità diventa verticale. Se si lancia un proiettile in quell'area, qualsiasi sia la velocità, sarà automaticamente catturato e non uscirà mai più. Che si tratti di un'astronave, di una particella elementare o di un raggio luminoso, cadrà nel fondo del pozzo.

Notate che chiamiamo “buco nero” non l'oggetto che si trova nel fondo del pozzo – di cui non sappiamo nulla –, ma tutta l'area all'interno della frontiera di non-ritorno. Questa frontiera che delimita il buco nero è anche chiamata *orizzonte degli eventi*, per la buona ragione che non si può osservare più nulla al di là.

À proximité d'un trou noir, l'espace est fortement déformé. Un astronaute qui s'y aventurerait verrait son corps étiré comme un spaghetti, parce que ses pieds subiraient une force de gravité beaucoup plus forte que sa tête (on appelle « forces de marée » cette différence gravitationnelle). Si le trou noir pèse 10 masses solaires, son horizon fait 30 kilomètres de rayon, et, déjà à 400 kilomètres avant de l'atteindre, le corps humain serait écartelé.

De même, le temps est fortement dilaté. L'observateur sur Terre qui regarde l'astronaute au télescope ne le verra jamais plonger dans le trou noir, mais aura l'impression qu'il ralentit de plus en plus – alors que c'est précisément le contraire, il accélère frénétiquement. Pour l'astronaute (qui aurait par miracle résisté aux forces de marée), le temps s'écoule normalement, et il se voit tomber vers l'horizon en une fraction de seconde. Mais il y plonge tellement vite que sa vitesse tend vers celle de la lumière, de sorte qu'en vertu des lois de la relativité chaque image de son voyage met un temps de plus en plus long pour parvenir jusqu'à nous. À la limite, lorsqu'il atteint la frontière du trou noir, sa vitesse atteint celle de la lumière, et son image mettra un temps infini à nous parvenir. L'astronaute nous paraîtra gelé à jamais dans son mouvement au moment où il sortira de notre rayon de visibilité.

Au voisinage d'un trou noir, la déviation des rayons lumineux est très forte. C'est pourquoi il peut s'y créer des illusions d'optique extrêmes. Les rayons qui proviennent d'un objet situé derrière le trou noir, par exemple, seront courbés en passant près de lui au point d'être rabattus vers nous, rendant visible cet objet

In prossimità di un buco nero, lo spazio è fortemente deformato. Un astronauta che vi si avventurerebbe vedrebbe il suo corpo allungato come uno spaghetti, perché i suoi piedi subirebbero una forza di gravità molto più forte rispetto alla sua testa (chiamiamo “forze di marea” questa differenza gravitazionale). Se un buco nero pesa 10 masse solari, il suo orizzonte misura 30 chilometri di raggio, e già a 400 chilometri prima di raggiungerlo, il corpo umano sarebbe fatto a pezzi.

Allo stesso modo, il tempo è fortemente dilatato. L'osservatore sulla Terra che guarda l'astronauta al telescopio non lo vedrà più tuffarsi nel buco nero, ma avrà l'impressione che rallenti sempre di più – quando invece è proprio il contrario, accelera in modo frenetico. Per l'astronauta (che per miracolo sarebbe resistito alle forze di marea), il tempo scorre normalmente, e si vede cadere verso l'orizzonte in una frazione di secondo. Ma vi si tuffa talmente veloce che la sua velocità tende verso quella della luce, per cui in virtù delle leggi della relatività, ogni immagine del suo viaggio impiega un tempo sempre più lungo per giungere fino a noi. Al limite, mentre raggiunge la frontiera del buco nero, la sua velocità raggiunge quella della luce, e la sua immagine impiegherà un tempo infinito per raggiungerci. L'astronauta ci sembrerà congelato per sempre nel suo movimento, nel momento in cui uscirà dal nostro angolo di visuale.

Nelle vicinanze di un buco nero, la deviazione dei raggi luminosi è molto forte. Ecco perché si possono creare delle illusioni ottiche estreme. I raggi che provengono da un oggetto situato dietro il buco nero, per esempio, si curveranno passando vicino a lui al punto di essere rivolti verso di noi, rendendo visibile questo og-

alors qu'il se trouve physiquement caché derrière l'écran opaque du trou noir²²².

Reprenons l'éclipse totale de Soleil : les étoiles qui sont très proches du bord nous paraissent plus écartées qu'elles ne le sont en réalité, parce que la masse du Soleil a incurvé leurs rayons lumineux. Maintenant, si le Soleil était un trou noir de même diamètre, nous pourrions voir, disposés autour d'une zone sombre, non seulement les objets proches du bord qui en sont écartés, mais également tous les objets qui se trouvent derrière lui, car leurs rayons lumineux seraient rabattus vers nous. Les plieurs de fourchettes n'existent probablement pas, mais le trou noir est un grand plieur de lumière. Grâce aux torsions qu'il impose aux rayons lumineux, il rend visible tout ce qu'il est censé cacher, sur une couronne disposée autour de lui.

Notons un effet encore plus étonnant : si un rayon lumineux frôle le trou noir à une distance précise (une fois et demie le rayon entre le centre du trou noir et l'horizon), il va suivre un chemin courbé au point de se boucler sur lui-même ! Piégé dans cette courbure parfaite, le rayon lumineux va continuer à circuler en boucle, sans pouvoir ni s'échapper ni tomber dans le trou noir. Chaque trou noir doit ainsi être entouré d'une sphère de photons prisonniers, tapi dans un casque de lumière invisible.

Pour un voyageur qui chevaucherait un de ces rayons lumineux (permettons-nous cette expérience de pensée), celui-ci aurait

getto mentre si trova fisicamente nascosto dietro lo schermo opaco del buco nero²²².

Riprendiamo l'eclissi totale di Sole: le stelle che sono molto vicine al bordo ci sembrano più lontane rispetto a quanto non lo siano in realtà, perché la massa del Sole ha curvato i loro raggi luminosi. Adesso, se il Sole fosse un buco nero dello stesso diametro, potremmo vedere, disposti intorno ad una zona d'ombra, non solo gli oggetti vicini al bordo che ne sono allontanati, ma anche tutti gli oggetti che si trovano dietro di esso, perché i loro raggi luminosi sarebbero curvati verso di noi. I piegatori di forchette probabilmente non esistono, ma il buco nero è un grande piegatore di luce. Grazie alle torsioni che impone ai raggi luminosi, rende visibile tutto quello che ha dovuto nascondere, su una corona disposta intorno a lui.

Notiamo un effetto ancora più sorprendente: se un raggio luminoso sfiora il buco nero ad una distanza precisa (una volta e mezza il raggio tra il centro del buco nero e l'orizzonte), seguirà una strada curva al punto di chiudersi su se stesso! Intrappolato in questa curvatura perfetta, il raggio luminoso continuerà a girare in cerchio, senza poter né scappare né cadere nel buco nero. Così ogni buco nero dev'essere circondato da una sfera di fotoni prigionieri, nascosto in un casco di luce invisibile.

Per un viaggiatore che cavalcherebbe uno di questi raggi luminosi (permettiamoci quest'esperienza di pensiero), esso avrebbe

²²² Pour de spectaculaires simulations numériques, voir le DVD « Voyage au cœur d'un trou noir », par Alain Riazuelo, Sylvie Rouat et Patrice Desenne, *Sciences & Avenir*, Paris, 2008. Per vedere simulazioni digitali spettacolari, vedere il DVD « Viaggio al centro di un buco nero », di Alain Riazuelo, Sylvie Rouat et Patrice Desenne, *Sciences & Avenir*, Paris, 2008.

pourtant l'air de se propager en ligne droite. En effet, il ne fait que suivre la trame de l'espace, le chemin le plus naturel, celui qu'il dessine spontanément. La ligne droite, ou « géodésique », en tout point de l'espace, se définit d'ailleurs précisément par le trajet des rayons lumineux. À proximité de l'horizon d'un trou noir, la ligne droite est un cercle !

Poussons la logique encore un peu plus loin, et nous allons mettre le monde à l'envers. Imaginez que vous soyez dans un vaisseau spatial motorisé qui orbite à distance respectueuse du trou noir, tel un satellite autour de la Terre. Comme dans tout véhicule prenant un virage, vous ressentez une poussée qui tend à vous éloigner du centre, poussée que l'on a coutume d'appeler « force centrifuge ». Si vous augmentez votre vitesse en appuyant sur l'accélérateur, vous êtes davantage repoussé vers l'extérieur et vous devez braquer davantage vers le centre pour compenser cette poussée. Le paysage que vous observez par le hublot quand vous regardez vers le trou noir est une zone noire sphérique, une boule de vide autour de laquelle vous orbitez normalement, comme si c'était une planète.

Ensuite, vous positionnez votre vaisseau sur une orbite plus proche, qui correspond à une fois et demie l'horizon. Vous n'êtes pas encore dans la zone de non-retour, donc il vous est possible de rester en orbite (à condition d'aller vite). Mais, cette fois, pas besoin de gouvernail pour entretenir votre virage, il vous suffit d'aller tout droit. Pourquoi ? Parce que la ligne droite, en cet endroit précis, est un cercle qui vous ramène à votre point de départ. Vous pouvez donc naviguer tout droit et vous serez en orbite. Vous ne ressentez aucune poussée vers

tuttavia l'aria di propagarsi in linea retta. Infatti, non fa che seguire la trama dello spazio, il cammino più naturale, quello che traccia spontaneamente. La linea retta, o “geodetica”, in ogni punto dello spazio, si definisce peraltro proprio dal tragitto dei raggi luminosi. In prossimità dell'orizzonte di un buco nero, la linea retta è un cerchio!

Spingiamo la logica ancora un po' più lontano, e mettiamo il mondo alla rovescia. Immaginate di essere in una nave spaziale a motore che orbita ad una distanza rispettosa dal buco nero, come un satellite intorno alla Terra. Come in ogni veicolo che percorre una curva, sentite una spinta che tende ad allontanarvi dal centro, spinta che si è soliti chiamare “forza centrifuga”. Se aumentaste la vostra velocità spingendo sull'acceleratore, sareste di nuovo spinti verso l'esterno e dovrete di nuovo puntare verso il centro per compensare questa spinta. Il paesaggio che osservate dall'oblò quando guardate verso il buco nero è una zona nera sferica, una sfera di vuoto attorno alla quale orbitate normalmente, come se fosse un pianeta.

Poi posizionate la vostra navicella su un'orbita più vicina, che corrisponde a una volta e mezza l'orizzonte. Non siete ancora nella zona di non-ritorno, dunque vi è possibile restare in orbita (a condizione di andare veloci). Ma, questa volta, non c'è bisogno di timone per mantenere la vostra curva, basta andare sempre dritto. Perché? Perché la linea retta, in questo luogo preciso, è un cerchio che vi porta al vostro punto di partenza. Per cui potete navigare sempre dritto e sarete in orbita. Non sentirete alcuna spinta verso l'esterno, solo l'attrazione verso l'interno. Infatti,

l'extérieur, pas plus que d'attraction vers l'intérieur. En fait, les deux existent, mais l'attraction du trou noir compense exactement la force centrifuge, si bien que vous ne sentez rien. Si vous regardez par le hublot, vous ne voyez plus une sphère noire, mais un mur noir rectiligne ! Et de l'autre côté défilent toutes les étoiles de l'Univers. Vous avez l'impression de naviguer le long d'une frontière entre le vide et l'Univers, vous filez tout droit le long d'un mur, indéfiniment. Cela peut durer longtemps, en effet, puisque vous tournez en rond sans le savoir.

Troisième étape, vous rapprochez encore votre vaisseau pour vous placer entre l'horizon et l'orbite précédente. Vous êtes toujours hors de la zone de non-retour, mais à peine. Et, cette fois, vous vous sentez de nouveau déporté sur le côté par une force, seulement celle-ci n'est plus dirigée vers l'extérieur mais vers l'intérieur. Vous êtes plaqué vers l'objet autour duquel vous tournez ! L'attraction du trou noir dépasse la force centrifuge. Et, si vous regardez par le hublot, vous constatez que cet objet est devenu concave. Ce n'est plus une sphère, ni un mur, mais un croissant noir que vous longez. À l'inverse, le reste de l'Univers a maintenant l'air d'une grande sphère piquetée d'étoiles, et vous circulez sur sa périphérie. Plus vous rapprochez votre orbite, plus ces effets s'intensifient : le croissant noir s'incurve de plus en plus, et la sphère d'étoiles rétrécit, jusqu'au moment où, lorsque vous frôlez l'horizon, le trou noir se ferme presque entièrement autour de vous. Au moment où vous passez l'horizon, le trou noir se referme et vous avale pour toujours.

Cette séquence illustre de façon exacerbée les notions de relativité. Non seulement l'espace et le temps sont relatifs – variables

le due spinte esistono, ma l'attrazione del buco nero compensa esattamente la forza centrifuga, per cui non sentite nulla. Se guardate dall'oblò, non vedete più una sfera nera, ma un muro nero rettilineo! E dall'altra parte scorrono tutte le stelle dell'Universo. Avete l'impressione di navigare lungo una frontiera tra il vuoto e l'Universo, andate sempre dritto lungo un muro all'infinito. Questo può durare molto, di fatto, dato che girate in tondo senza saperlo.

Terza fase, avvicinate ancora la vostra navicella per mettervi tra l'orizzonte e l'orbita precedente. Siete sempre fuori della zona di non-ritorno, ma per poco. E, questa volta, vi sentite di nuovo spostati a lato da una forza, solo che questa non è più diretta verso l'esterno, ma verso l'interno. Siete bloccati verso l'oggetto attorno al quale girate! L'attrazione del buco nero supera la forza centrifuga. E, se guardate dall'oblò, constatate che quest'oggetto è diventato concavo. Non è più una sfera, né un muro, ma una mezza luna di colore nero che voi fiancheggiate. Al contrario, il resto dell'Universo adesso ha l'aspetto di una grande sfera copersa di stelle, e voi circolate nella sua periferia. Più avvicinate la vostra orbita, più questi effetti s'intensificano: il croissant nero si curva sempre di più, e la sfera di stelle rimpicciolisce, fino al momento in cui, mentre sfiorate l'orizzonte, il buco nero si chiude quasi del tutto intorno a voi. Nel momento in cui passate l'orizzonte, il buco nero si chiude e vi ingoia per sempre.

Questa sequenza illustra in modo esasperato le nozioni di relatività. Non solo lo spazio e il tempo sono relativi – variabili in

en fonction de l'observateur –, mais les notions d'intérieur et d'extérieur sont également relatives à un référentiel et dépendent du trajet des rayons lumineux. L'intérieur et l'extérieur ne sont pas plus absolus que le temps et l'espace. Près de la frontière d'un trou noir, la courbure est telle que l'espace se retourne comme un gant. L'intérieur et l'extérieur s'inversent. Ce n'est plus le trou noir qui semble être un petit point dans l'Univers, mais l'Univers qui apparaît comme un petit point dans le trou noir !

L'astre invisible déjà imaginé dans la théorie newtonienne est donc devenu une idée résolument moderne et passionnante ; c'est sa majesté le trou noir relativiste. Il doit se comprendre non comme une masse qui attire avec une force irrésistible, mais comme une déformation extrême de l'espace-temps. Il a été conceptualisé dès les années 1930, mais la théorie s'est surtout développée dans les années 1970. Malgré une assise théorique solide, il est resté pendant longtemps un objet très spéculatif, et pour cause. Comment observer un objet par définition invisible ? Pendant des décennies, aucune observation astronomique n'a pu étayer ni les trous noirs eux-mêmes ni les phénomènes qui auraient pu en être des manifestations indirectes.

funzione dell'osservatore –, ma le nozioni d'interno ed esterno sono ugualmente relative ad un parametro di riferimento e dipendono dal tragitto dei raggi luminosi. L'interno e l'esterno non sono più assoluti del tempo e dello spazio. Vicino alla frontiera di un buco nero, la curvatura è tale che lo spazio si rivolta come un guanto. L'interno e l'esterno s'invertono. Non è più il buco nero che sembra un piccolo punto nell'Universo, ma è l'Universo che appare come un piccolo punto nel buco nero!

L'astro invisibile già immaginato nella teoria newtoniana è quindi diventato un'idea assolutamente moderna e appassionante; è sua maestà il buco nero relativista. Non deve intendersi come una massa che attira con una forza irrefrenabile, ma come una deformazione estrema dello spazio-tempo. È stato concettualizzato a partire dagli anni 1930, ma la teoria si è sviluppata soprattutto negli anni 1970. Malgrado una solida base teorica, è rimasto per molto tempo un oggetto molto speculativo, per ovvi motivi. Come osservare un oggetto invisibile per definizione? Per decenni, nessuna osservazione astronomica ha potuto confermare né i buchi neri stessi né i fenomeni che avrebbero potuto esserne delle manifestazioni indirette.

Peut-on les détecter ?

Par définition, un trou noir est invisible puisqu'il ne laisse échapper ni matière ni lumière (on entend par là l'ensemble des longueurs d'onde du rayonnement électromagnétique, et pas seulement la lumière visible). Comment pourrait-on les observer ? Ce n'est même pas la peine d'essayer. Les trous noirs, en eux-mêmes, sont une tache aveugle pour tous nos dispositifs de détection.

Mais on sait qu'ils doivent se former par effondrement d'étoiles supermassives. Cela implique que les trous noirs ne se trouvent pas isolés dans le vide, ils doivent être entourés de particules et de nuages de gaz, vestiges des étoiles qui leur ont donné naissance – et celles-ci pourraient trouver le moyen de nous-faire signe.

Par ailleurs, les trous noirs pourraient également avoir dans leur voisinage une étoile partenaire. Car les étoiles ne sont pas toujours célibataires. Elles évoluent souvent par couples, parfois par systèmes de trois, quatre, cinq... jusqu'à sept étoiles groupées dans un voisinage. Cependant, plus il y a d'étoiles, plus le système devient instable, et la formule la plus commune semble être le couple.

L'avantage du couple, c'est qu'il permet de récolter des informations sur le second membre, même si l'on n'observe que le premier. Prenez vos collègues de travail par exemple. Vous ne connaissez peut-être pas leurs conjoints, vous ne les avez jamais vus, et pourtant vous savez beaucoup de choses sur eux. Vous

Si possono rilevare?

Per definizione, un buco nero è invisibile, poiché non lascia scappare né materia né luce (qui s'intende l'insieme delle lunghezze d'onda della radiazione elettromagnetica, e non soltanto la luce visibile). Come li si potrebbe osservare? Non vale neanche la pena provare. I buchi neri, in sé, sono un punto cieco per tutti i nostri dispositivi di rilevazione.

Ma sappiamo che devono formarsi dal collasso di stelle più massicce. Questo implica che i buchi neri non si trovano isolati nel vuoto, ma devono essere circondati da particelle e da nubi di gas, resti di stelle che li hanno fatti nascere – e queste potrebbero trovare il modo di farci un cenno.

Inoltre, i buchi neri potrebbero anche avere nel loro vicinato una stella compagna. Perché le stelle non sono sempre single. Si sviluppano in coppie, a volte in sistemi di tre, quattro, cinque... fino a sette stelle raggruppate in un vicinato. Tuttavia, più stelle ci sono, più il sistema diventa instabile, e la formula più comune sembra essere la coppia.

Il vantaggio della coppia, è quello che permette di raccogliere delle informazioni sul secondo membro, anche se si osserva solo il primo. Prendete i vostri colleghi di lavoro ad esempio. Forse non conoscete i loro coniugi, non li avete mai visti, eppure sapete molte cose su di loro. Sapete il loro nome, le loro attività, le

connaissiez leur nom, leurs activités, leurs choix de vacances, leurs habitudes et leurs goûts, rien qu'en écoutant et en observant l'autre moitié du couple. De même, l'étoile invisible influence le comportement de sa compagne visible, il suffit de regarder celle-ci pour connaître un peu de celle-là. La clé se trouve dans les oscillations gravitationnelles que l'invisible imprime à la visible.

On retrouve le même principe qui a permis de détecter les exoplanètes : en mesurant les oscillations des étoiles. Mais, si un jupiter chaud est comme un chien en laisse autour de son étoile, qui lui imprime un léger balancement, deux étoiles proches, vu leurs masses comparables, sont plutôt comme un couple de valseurs : chacune tourne autour de l'autre. De la valse de l'une on peut déduire la présence de l'autre, et calculer sa masse.

Prenons une liste des compagnons d'étoiles ainsi détectés. Certains, lorsqu'on y regarde de près, sont sources de rayonnements X. Ceux-ci sont dus à des particules électrisées qui sont éjectées dans un champ magnétique intense. Seules des étoiles compactes, restes effondrés d'une étoile épuisée, sont capables de provoquer ces rayonnements de haute énergie (naines blanches, étoiles à neutrons).

Par ailleurs, les calculs montrent que toute étoile compacte ayant une masse supérieure à 3 masses solaires doit être un trou noir. Une naine blanche ou une étoile à neutrons qui dépasserait cette masse serait instable et s'effondrerait en trou noir. Il suffit donc de pointer dans notre liste tous les compagnons invisibles qui sont émetteurs X et possèdent plus de 3 masses solaires. À l'heure actuelle, une vingtaine d'objets ont été détectés dans

loro scelte per le vacanze, le loro abitudini e i loro gusti, non facendo altro che ascoltare e osservare l'altra metà della coppia. Allo stesso modo, la stella invisibile influenza il comportamento della sua compagna visibile, basta guardare questa per conoscere un po' quell'altra. La chiave si trova nelle oscillazioni gravitazionali che l'invisibile imprime sulla visibile.

Si ritrova lo stesso principio che ha consentito di rilevare gli esopianeti: misurando le oscillazioni delle stelle. Ma, se un giovio caldo è come un cane al guinzaglio attorno alla sua stella, che gli imprime una leggera oscillazione, due stelle vicine, visto le loro masse confrontabili, sono piuttosto come una coppia di ballerini di valzer: ognuna ruota attorno all'altra. Dal valzer dell'una si può dedurre la presenza dell'altra, e calcolare la sua massa.

Prendiamo una lista di compagni di stelle rilevati così. Alcuni, quando li osserviamo da vicino, sono fonte di radiazioni X. Queste sono dovute a delle particelle elettrizzate che sono emesse in un campo magnetico intenso. Solo stelle compatte, resti collassati di una stella esaurita, sono capaci di provocare queste radiazioni ad alta energia (nane bianche, stelle di neutroni).

Inoltre, i calcoli mostrano che ogni stella compatta che ha una massa superiore a 3 masse solari dev'essere un buco nero. Una nana bianca o una stella di neutroni che supererebbe questa massa sarebbe instabile e collasserebbe in buco nero. Basta dunque indicare nella nostra lista tutti i compagni invisibili che emettono raggi X e che hanno più di 3 masse solari. In questo momento, sono stati rilevati nella nostra galassia una ventina di oggetti che

notre galaxie qui satisfont à toutes les conditions pour être des trous noirs. La théorie, elle, prévoit que notre galaxie devrait en contenir entre 10 et 100 millions.

Mais d'où vient qu'un trou noir pourrait être source de rayonnement X ?

Si un trou noir se forme au sein d'un couple d'étoiles très rapprochées, le puits de gravité va capturer la matière de l'étoile compagne. C'est-à-dire que le gaz de l'enveloppe extérieure va être aspiré dans le puits et, avant de tomber, se mettre à spiraler de plus en plus vite, formant un disque plat qui va devenir de plus en plus chaud. Le gaz violemment chauffé et comprimé va émettre, avant de disparaître, des rayonnements de haute énergie, rayons X et rayons gamma, ayant des longueurs d'onde et des caractéristiques spectrales bien spécifiques. De telles observations ont été réalisées, et les objets observés sont des candidats au statut de trou noir, car ils correspondent à tout ce qu'on a prévu au sujet de ces captures. Ce n'est donc pas le trou noir lui-même, mais son environnement immédiat qui est source de rayonnement. Le trou noir reste invisible, il allume cependant la matière qui tombe vers lui.

La première découverte date de 1965. Une source puissante de rayons X et de rayonnement radio fut localisée à l'endroit où se trouvait une étoile visible connue, une géante d'une trentaine de masses solaires. Cette étoile ne pouvait pas être la source d'un rayonnement aussi particulier. Celui-ci devait s'expliquer par la présence d'un compagnon compact en train de lui arracher sa matière comme un aspirateur. Les oscillations gravitationnelles

soddisfano tutte le condizioni per essere dei buchi neri. La teoria prevede che la nostra galassia dovrebbe contenerne tra i 10 e i 100 milioni.

Ma com'è che un buco nero potrebbe essere fonte di radiazione X?

Se un buco nero si forma all'interno di una coppia di stelle molto ravvicinate, il pozzo gravitazionale catturerà la materia della stella compagna. Ovvero il gas dell'involucro esterno sarà risucchiato nel pozzo e, prima di cadere, si metterà a seguire un moto a spirale sempre più velocemente, formando un disco piatto che diventerà sempre più caldo. Il gas riscaldato bruscamente e compresso emetterà, prima di sparire, delle radiazioni ad alta energia, raggi X e raggi gamma, che hanno delle lunghezze d'onda e delle caratteristiche spettrali ben specifiche. Osservazioni del genere sono state realizzate, e gli oggetti osservati sono candidati allo status di buco nero, perché corrispondono a tutto ciò che si è previsto a proposito di queste catture. Non è dunque il buco nero in sé, ma il suo ambiente circostante che è fonte di radiazione. Il buco nero resta invisibile, tuttavia illumina la materia che cade verso di lui.

La prima scoperta risale al 1965. Una fonte potente di raggi X e di radiazione radio fu localizzata nel luogo dove si trovava una stella visibile conosciuta, una gigante di una trentina di masse solari. Questa stella non poteva essere la fonte di una radiazione così particolare. Questa doveva spiegarsi con la presenza di un compagno compatto che le stava togliendo la materia come un'aspirapolvere. Le oscillazioni gravitazionali della stella han-

de l'étoile ont confirmé la présence d'un corps d'une dizaine de masses solaires orbitant à une distance de 30 millions de kilomètres en 5,6 jours – soit une proximité proche de la promiscuité. Si l'étoile visible était un ballon de football, son compagnon invisible aurait la taille d'un grain de sable (tout en pesant le tiers du poids du ballon) et tournerait à quelques centimètres seulement de sa surface. Une vraie sangsue ! Tout porte à croire qu'il s'agit bien de la première détection d'un trou noir d'origine stellaire. Il fut baptisé *Cygnus X-1* (car première source X détectée dans la constellation du Cygne).

Aujourd'hui, l'observation a fourni un grand nombre de ces sources de rayonnement aux propriétés bizarres, mais qui s'expliquent très naturellement si l'on suppose qu'il s'agit de la disparition de gaz surchauffé au fond d'un trou noir. De plus, ces phénomènes se produisent systématiquement dans des couples d'étoiles dont on voit une composante et dont l'autre est invisible.

Il existe en principe une autre façon de « voir » un trou noir, en rayonnement visible et non X, mais elle suppose qu'on puisse obtenir des images très rapprochées. Si le trou noir est entouré d'un disque de matière (gaz et poussières provenant soit de l'étoile mère, soit d'une étoile voisine en cours d'absorption), et que cette matière rayonne, les calculs montrent qu'avec une résolution d'image suffisante ce disque devrait apparaître d'une façon biscornue²²³. Comme on l'a vu, la déformation extrême de

no confermato la presenza di un corpo di una decina di masse solari che orbita ad una distanza di 30 milioni di chilometri in 5,6 giorni – con una vicinanza simile alla promiscuità. Se la stella visibile fosse un pallone da calcio, il suo compagno invisibile avrebbe la dimensione di un granello di sabbia (tutto pesando un terzo del peso del pallone) e ruoterebbe solo a qualche centimetro dalla sua superficie. Una vera sanguisuga! Tutto porta a credere che si tratti proprio della prima rilevazione di un buco nero di origine stellare. Fu battezzato *Cygnus X-1* (in quanto prima fonte di raggi X rilevata nella costellazione del Cigno).

Oggi, l'osservazione ha fornito un gran numero di queste fonti di radiazione dalla proprietà bizzarre, ma che si spiegano molto naturalmente se si suppone che si tratti della sparizione di gas surriscaldato nel fondo di un buco nero. Inoltre, questi fenomeni si verificano sistematicamente in coppie di stelle di cui si vede una componente e l'altra è invisibile.

In teoria esiste un altro modo di “vedere” un buco nero, in radiazione visibile e non X, ma essa suppone che si possano ottenere delle immagini molto ravvicinate. Se un buco nero è circondato da un disco di materia (gas e polveri che provengono o da una stella madre o da una stella vicina in fase di assorbimento), e che questa materia brilla, i calcoli mostrano che con una risoluzione dell'immagine sufficiente questo disco dovrebbe apparire in modo arzigolato²²³. Come si è visto, la deformazione estrema del-

²²³ Ces calculs ont été effectués pour la première fois en 1979 par l'un des auteurs (JPL), puis perfectionnés par d'autres chercheurs. Pour un aperçu général, télécharger le document <http://luth2.obspm.fr/~luminet/chap12.pdf>. Questi calcoli sono stati effettuati per la prima volta nel 1979 da uno degli autori (JPL), poi perfezionati da altri ricercatori. Per una panoramica generale, scaricare il documento <http://luth2.obspm.fr/~luminet/chap12.pdf>

l'espace à proximité du trou noir doit courber fortement les rayons lumineux venant des objets situés derrière lui. Le trou noir « plieur de lumière » doit nous renvoyer l'image qu'il est censé cacher – c'est comme si Saturne vu par la tranche nous donnait néanmoins à voir la partie cachée de ses anneaux. Celle-ci serait même deux fois visible : par-dessus et par-dessous, ces deux images étant respectivement étalées au – dessus et en dessous de l'astre. Au total, l'image ressemblerait à un large ovale percé d'un... vide, noir, à l'endroit du trou. Ce serait ce qu'on peut imaginer de plus proche d'une photo de trou noir. Le principal intéressé serait toujours absent, mais son entourage immédiat serait massé tout autour de lui comme un parterre de courtisans à genoux. Malheureusement, les contraintes techniques sont telles (taille très petite, luminosité très faible) que ce type d'observation n'est pas encore possible.

lo spazio in prossimità di un buco nero deve curvare fortemente i raggi luminosi che provengono dagli oggetti situati dietro di lui. Il buco nero “piegatore di luce” deve inviarcì l'immagine che dovrebbe nascondere – è come se Saturno visto di taglio ci permettesse comunque di vedere la parte nascosta dei suoi anelli. Questa sarebbe visibile addirittura due volte: al di sopra e al di sotto, essendo queste due immagini rispettivamente disposte al di sopra e al di sotto dell'astro. Nell'insieme, l'immagine assomiglierebbe ad un largo ovale scavato da... un vuoto, nero, al posto del buco. Questo sarebbe ciò che si può immaginare di più simile ad una fotografia di buco nero. Il principale interessato sarebbe sempre assente, ma le sue immediate vicinanze sarebbero riunite tutte attorno a lui come un pubblico di cortigiani in ginocchio. Sfortunatamente, le limitazioni tecniche sono tali (dimensione molto piccola, luminosità molto debole) per cui questo tipo di osservazione non è ancora possibile.

Trous noirs et sursauts gamma

Le 2 juillet 1967, les militaires américains ont senti le vent de la panique leur défroisser l'uniforme. L'un des satellites chargés de surveiller l'absence d'expériences nucléaires à la surface de la Terre venait d'enregistrer une violente bouffée de rayonnement gamma, un rayonnement de haute énergie précisément associé aux explosions nucléaires. S'agissait-il d'une bombe soviétique clandestine ? Sueurs froides dans les QG. Calculs, confrontations, nuits blanches. Au final : non, l'explosion ne provenait pas de la Terre mais bien de l'espace ; l'armée venait de faire avancer la science - un scénario courant, l'ingéniosité des hommes ayant pour meilleur moteur que leur bellicisme (mais pas uniquement, il est permis d'espérer qu'un jour elle s'en passera).

Alertés par les militaires, que le phénomène ne concernait plus, les astronomes se sont emparés du problème avec un bel appétit. Six ans plus tard, ils avaient détecté 16 sursauts gamma du même acabit, et nul n'avait la moindre idée de leur origine, Les détections étaient impossibles à associer à une localisation précise – comme si vous entendiez des voix à coup sûr et pouviez même les enregistrer, mais sans savoir d'où elles viennent. Jusqu'au début des années 1990, on pensait que ces émissions venaient de notre galaxie, plus de cent hypothèses différentes couraient pour les expliquer.

En 1991 fut lancé un nouveau satellite avec à son bord un appareil cent fois plus sensible que les détecteurs précédents. Devant l'ampleur du mystère, on sortait le grand jeu. En neuf ans, cette oreille d'élite enregistra pas moins de trois mille sursauts gam-

Buchi neri e lampi gamma

Il 2 luglio 1967, i militari americani hanno sentito l'ondata di panico stirargli le pieghe dall'uniforme. Uno dei satelliti incaricati di sorvegliare l'assenza di esperimenti nucleari sulla superficie della Terra aveva appena registrato una violenta scarica di radiazione gamma, una radiazione ad alta energia proprio associata alle esplosioni nucleari. Si trattava di una bomba sovietica clandestina? Sudori freddi nei QG. Calcoli, confronti, notti in bianco. Alla fine: no, l'esplosione non veniva dalla Terra ma dallo spazio, l'esercito aveva appena fatto progredire la scienza – uno scenario comune, l'ingegno degli uomini promosso solo dal loro bellicismo (ma non solo, è lecito sperare che un giorno se ne faccia a meno).

Avvisati dai militari, che il fenomeno non riguardava più, gli astronomi hanno preso il problema con grande appetito. Sei anni più tardi, avevano rilevato 16 lampi gamma dello stesso stampo, e nessuno aveva la minima idea della loro origine. Le rilevazioni erano impossibili da associare ad una localizzazione precisa – come se sentiste sicuramente delle voci e poteste anche registrarle, ma senza sapere da dove provengano. Fino all'inizio degli anni 1990, si pensava che queste emissioni venissero dalla nostra galassia, circolavano più di cento ipotesi differenti per spiegarle.

Nel 1991 fu lanciato un nuovo satellite con a bordo un apparecchio cento volte più sensibile dei rilevatori precedenti. Davanti alla vastità del mistero, si dava il massimo. In nove anni, quest'orecchio speciale registrò non meno di tremila lampi

ma, provenant indifféremment de toutes les directions du ciel. On pouvait déjà conclure qu'il ne s'agissait pas de phénomènes galactiques, sinon ils auraient été majoritairement alignés sur l'axe de la Voie lactée. Ces flashes devaient provenir des galaxies lointaines, c'est-à-dire d'un millier de fois plus loin que ce qu'on pensait. Du coup, ils devaient être encore un million de fois plus puissants que ce qu'on imaginait ! Cela prenait des proportions monstrueuses.

Sur le nombre, on vit se dessiner deux types d'événements différents : des sursauts courts (autour d'un tiers de seconde) et des sursauts longs (autour de trente secondes). Il y avait donc non pas un, mais deux scénarios à élucider. L'hypothèse de la formation des trous noirs s'imposa bientôt comme la plus vraisemblable, d'autant qu'on pouvait justement la scinder en deux scénarios distincts : formation d'un trou noir par effondrement d'une étoile hypermassive ou par fusion de deux étoiles à neutrons. Le sursaut long serait associé à l'effondrement, et le sursaut court, à la fusion.

Vers la fin des années 1990, on parvint enfin à localiser précisément les sources de ces sursauts (du moins les plus longs) et à prolonger l'observation du même événement dans d'autres longueurs d'onde (rayons X, lumière visible), ce qui permit d'évaluer leurs distances exactes. Dans tous les cas, les sources des sursauts se trouvaient à plusieurs milliards d'années-lumière ! Ce qui veut dire : même pas dans les galaxies moyennement éloignées, mais systématiquement dans les galaxies les plus lointaines.

gamma, che provenivano indifferente da tutte le direzioni del cielo. Si poteva già concludere che non si trattasse di fenomeni galattici, altrimenti sarebbero stati prevalentemente allineati sull'asse della Via Lattea. Questi lampi dovevano provenire dalle galassie lontane, ovvero da un migliaio di volte più lontano di quanto si pensasse. Di conseguenza, dovevano essere ancora un milione di volte più potenti di quanto si immaginasse! Questo assumeva delle proporzioni mostruose.

Sul numero, si videro disegnarsi due tipi di avvenimenti diversi: dei lampi brevi (circa un terzo di secondo) e dei lampi lunghi (circa trenta secondi). C'erano dunque non uno ma due scenari da chiarire. L'ipotesi della formazione dei buchi neri s'impose presto come la più verosimile, tanto più che si la poteva proprio suddividere in due scenari distinti: formazione di un buco nero per collasso di una stella supermassiccia o per fusione di due stelle di neutroni. Il lampo lungo sarebbe associato al collasso, e il lampo breve, alla fusione.

Verso la fine degli anni 1990, si giunse infine a localizzare precisamente le fonti di questi lampi (almeno i più lunghi) e a prolungare l'osservazione dello stesso avvenimento in altre lunghezze d'onda (raggi X, luce visibile), che permette di stimare le loro distanze esatte. In tutti i casi, le fonti dei lampi si trovavano a diversi miliardi di anni luce! Il che significa: non solo nelle galassie mediamente distanti, ma sistematicamente nelle galassie più lontane.

La preuve formelle que les sursauts longs correspondent à des hypernovae fut apportée le 29 mars 2003. Ce jour-là, suite à un sursaut gamma très puissant, une nouvelle étoile apparut exactement au même endroit dans la constellation du Lion, visible à l'œil nu. C'était un événement situé à 2,6 milliards d'années-lumière (mille fois plus loin que tout autre objet visible à l'œil nu). L'analyse de sa lumière permit de conclure qu'il s'agissait bien de l'effondrement d'une étoile hypermassive accompagné d'un flash de lumière ultrapuissant. Le premier scénario était élucidé.

Si les sursauts longs, et donc les hypernovae, sont presque toujours situés dans des galaxies très lointaines, c'est parce que ces galaxies sont jeunes (leur lumière a mis des milliards d'années à nous parvenir, et nous les voyons dans l'état où elles étaient alors). C'est l'indice que les étoiles hypermassives étaient bien plus fréquentes lorsque l'Univers était jeune et plus riche en hydrogène. Les générations d'étoiles plus récentes ont tendance à être plus petites et plus riches en atomes lourds.

On l'a déjà dit, l'Univers n'a rien d'immuable, même s'il fonctionne selon un schéma de recyclage permanent de sa matière. Il y a une évolution irréversible due au fait que cette matière se transforme progressivement. Plus l'Univers vieillit, plus l'hydrogène disparaît et se transforme en éléments plus lourds. Les étoiles se succèdent mais ne se ressemblent pas tout à fait. Elles évoluent, comme une lignée végétale ou animale dont l'environnement changerait progressivement. Mais c'est elles-mêmes qui, par leurs morts successives, transforment cet environnement et modifient les générations suivantes. Les étoiles

La prova formale che i lampi lunghi corrispondano a delle ipernove fu fornita il 29 marzo 2003. Quel giorno, in seguito ad un lampo gamma molto potente, una nuova stella apparve esattamente nello stesso punto nella costellazione del Leone, visibile ad occhio nudo. Era un avvenimento localizzato a 2,6 miliardi di anni luce (mille volte più lontano di ogni altro oggetto visibile ad occhio nudo). L'analisi della sua luce permise di concludere che si trattasse proprio del collasso di una stella supermassiccia accompagnato da un lampo di luce ultra-potente. Il primo scenario era chiarito.

Se i lampi lunghi, e dunque le ipernove, sono quasi sempre localizzate in delle galassie molto lontane, è perché queste galassie sono giovani (la loro luce ha impiegato dei miliardi di anni per raggiungerci, e noi le vediamo nello stato in cui erano allora). È l'indizio che le stelle supermassicce erano molto più frequenti quando l'Universo era giovane e più ricco di idrogeno. Le generazioni di stelle più recenti hanno la tendenza ad essere più piccole e più ricche di atomi pesanti.

L'abbiamo già detto, l'Universo non ha nulla di immutabile, anche se funziona secondo uno schema di riciclo continuo della sua materia. C'è un'evoluzione irreversibile dovuta al fatto che questa materia si trasforma progressivamente. Più l'Universo invecchia, più l'idrogeno sparisce e si trasforma in elementi più pesanti. Le stelle si susseguono ma non si assomigliano affatto. Esse evolvono, come una discendenza vegetale o animale il cui ambiente cambierebbe progressivamente. Ma sono loro stesse che, a causa delle loro morti successive, trasformano questo ambiente e modificano le generazioni seguenti. Le stelle supermas-

hypermassives sont un peu les dinosaures du ciel, les premières grosses pourvoyeuses d'atomes lourds dont le règne est aujourd'hui révolu.

Quant aux sursauts courts, ils furent plus difficiles à élucider, pour la raison précise qu'ils étaient si courts ! Pas facile de mettre le télescope dessus. L'hypothèse était que des étoiles à neutrons pouvaient se percuter à des vitesses de 100 000 km/s et entrer en coalescence pour former un trou noir. En 2002, on parvint pour la première fois à localiser l'origine d'un sursaut court, sans avoir le temps de calculer sa distance. À partir de 2005, enfin, on put mettre le grappin sur les sources de sursauts courts. Ils se produisent dans des galaxies plus vieilles et plus proches que les sursauts longs et sont donc moins puissants, toutes choses d'accord avec le modèle de la fusion d'étoiles à neutrons.

Le mystère des sursauts gamma aura vécu trente-cinq ans.

Cependant, observer des hypernovae ou des collisions d'étoiles à neutrons est une chose. En conclure qu'on a observé des trous noirs en formation en est une autre. L'une n'implique l'autre que si notre théorie sur la formation des trous noirs est exacte. Et, une fois de plus, ce n'est pas le trou noir qui va en apporter la preuve directe. Muet il est, muet il restera. Ce qui, d'une certaine manière, conforte quand même la théorie, car, s'il parlait, il ne s'agirait pas d'un trou noir. La seule chose qui s'exprime ici, ce sont les explosions cataclysmiques qui accompagnent sa naissance. Après : motus et bouche cousue.

sicce sono un po' i dinosauri del cielo, le prime grandi fornitrici di atomi pesanti il cui regno è oggi perduto.

Quanto ai lampi brevi, furono più difficili da chiarire, per il motivo che erano così brevi! Non era facile porre sopra il telescopio. L'ipotesi era che delle stelle di neutroni potessero scontrarsi a delle velocità di 100 000 km/s ed entrare in coalescenza per formare un buco nero. Nel 2002, si giunse per la prima volta a localizzare l'origine di un lampo breve, senza aver il tempo di calcolare la sua distanza. A partire dal 2005, infine, si poté mettere le mani sulle fonti dei lampi brevi. Essi si creavano nelle galassie più antiche e più vicine dei lampi lunghi e sono dunque meno potenti, tutte cose in accordo col modello della fusione di stelle di neutroni.

Il mistero dei lampi gamma è durato trentacinque anni.

Tuttavia, osservare delle ipernove o delle collisioni di stelle di neutroni è una cosa. Ritenerne che si sono osservati dei buchi neri in formazione è un'altra. L'una non implica l'altra se la nostra teoria sulla formazione dei buchi neri è esatta. E, ancora una volta, non è il buco nero che ne fornirà la prova diretta. Muto è, e muto resterà. In qualche modo, questo conforta comunque la teoria, perché, se parlasse, non si tratterebbe di un buco nero. La sola cosa che si esprime qui, sono le esplosioni catastrofiche che accompagnano la sua nascita. Dopo: bocca cucita.

Les trous noirs géants

Les étoiles les plus massives observées jusqu'à présent ne dépassent pas cent fois la masse du Soleil et ne peuvent donc pas former de trous noirs plus massifs, plutôt moins si l'on tient compte de la matière éjectée lors de l'hypernova. Or, au centre de la plupart des grandes galaxies, on détecte des objets qui ont toutes les caractéristiques des trous noirs et possèdent quelque chose comme un million de fois la masse du Soleil. Il doit s'agir de trous noirs initialement modestes qui ont grossi progressivement, sur une très longue période. En effet, puisqu'un trou noir engloutit tout ce qui passe à sa portée, et en principe ne régurgite rien, il ne peut que grossir au cours du temps.

Et c'est par là que nous allons le coincer. Car, en avalant de la matière, le trou noir est forcé de sortir de l'ombre. Les particules qu'il engouffre vont nécessairement exprimer leur mécontentement avant de disparaître : combustion, vaporisation, gerbes de rayonnements divers... C'est ainsi qu'agonise la matière martyrisée par une accélération impitoyable. L'ogre a beau être muet, ses victimes fulminent, et son repas fait du bruit. À chaque bouchée, une bouffée de protestations déverse leur énergie.

Le trou noir qui occupe le centre de la Voie lactée, baptisé *Sagittarius A**, vaut au bas mot trois millions de fois la masse du Soleil pour un diamètre douze fois plus grand seulement. Ses effets gravitationnels sont très clairement observés sur les étoiles proches, dont la vitesse est d'autant plus rapide que l'orbite est resserrée (telles différentes billes en rotation sur les pentes d'un entonnoir profond) – jusqu'à 10 000 km/s pour les plus proches.

I buchi neri giganti

Le stelle più massicce osservate finora non superano di cento volte la massa del Sole e non possono dunque formare dei buchi neri più massicci, molto meno, se teniamo conto della materia espulsa dall'ipernova. Tuttavia, al centro della maggior parte delle grandi galassie, si sono rilevati degli oggetti che hanno tutte le caratteristiche dei buchi neri e hanno qualcosa come un milione di volte la massa del Sole. Deve trattarsi di buchi neri inizialmente modesti che si sono ingranditi progressivamente, in un periodo molto lungo. Infatti, poiché un buco nero inghiottisce tutto quello che è alla sua portata, e in teoria non rigurgita niente, non fa altro che ingrandirsi nel corso del tempo.

Ed è lì che lo incastreremo. Perché, inghiottendo della materia, il buco nero è costretto ad uscire allo scoperto. Le particelle che manda giù esprimeranno necessariamente il loro disappunto prima di sparire: combustione, vaporizzazione, fasci di radiazioni vari... È così che soccombe la materia martirizzata da un'accelerazione crudele. L'orco sarà anche muto, le sue vittime gridano, e il suo pasto fa rumore. Ad ogni boccone, una ventata di proteste sfoga la sua energia.

Il buco nero che occupa il centro della Via Lattea, battezzato *Sagittarius A**, vale una stima per difetto di tre milioni di volte la massa del Sole per un diametro solo dodici volte più grande. I suoi effetti gravitazionali sono osservati molto chiaramente sulle stelle vicine, la cui velocità è tanto più rapida rispetto all'orbita che è diminuita (sfere così diverse in rotazione sui pendii di una profonda voragine) fino a 10 000 km/s per le più vicine. Il mo-

Le mouvement de ces étoiles permet de déduire la masse et la taille du trou noir en question.

Encore une fois, la gravitation, c'est magique : il suffit d'observer le comportement d'un corps pour tout savoir sur son voisin, comme si l'un était le moule qui donne l'empreinte de l'autre. Ainsi, les étoiles nous livrent, par leurs oscillations gravitationnelles, les fiches signalétiques des planètes ou des étoiles compagnes qui tournent autour d'elles, celles-ci restant totalement invisibles. De la même façon, les étoiles proches du centre de la galaxie, par leur mouvement affolé, trahissent les caractéristiques du corps massif autour duquel elles tournent, celui-ci restant totalement invisible.

Cependant, nous nous attendions à voir les gerbes du repas de l'ogre, or ces étoiles proches du centre galactique semblent rester en équilibre - depuis que les astronomes ont l'œil dessus en tout cas. Le trou noir ne montre que de faibles signes d'activité, comme s'il était à la diète et ne croquait que de tout petits corps ou du gaz. Dans la zone occupée par le trou noir central, on observe de petites fluctuations de rayonnement (sursauts de rayon X, variations en infrarouge) qu'on interprète comme des émissions provenant du gaz chaud ou de blocs de matière (comètes, astéroïdes) sur le point d'y tomber, mais aucun flash violent que produirait une étoile. Voilà qui est modeste comme régime, à peine un léger pique-nique de temps en temps. On espérait pouvoir observer des signes d'agapes plus consistantes. Ce calme relatif est peut-être dû au fait que la région proche du centre a déjà été nettoyée et que les autres étoiles sont trop éloignées pour tomber dans le trou noir. Peut-être faut-il tourner nos regards ail-

vimento di queste stelle permette di dedurre la massa e la dimensione del buco nero in questione.

Ancora una volta, la gravità è magica: basta osservare il comportamento di un corpo per sapere tutto sul suo vicino, come se uno fosse lo stampo che dà l'impronta all'altro. Così, le stelle ci forniscono, attraverso le loro oscillazioni gravitazionali, le schede segnaletiche dei pianeti o delle stelle compagne che ruotano attorno a loro, queste restano totalmente invisibili. Allo stesso modo, le stelle vicine al centro della galassia, dal loro movimento folle, rivelano le caratteristiche del corpo massiccio attorno al quale esse ruotano, questo restando totalmente invisibile.

Tuttavia, ci aspettavamo di vedere l'insieme del pasto dell'orco, ma queste stelle vicine al centro galattico sembrano restare in equilibrio - da quando gli astronomi l'hanno comunque tenuto d'occhio. Il buco nero mostra solo dei segni deboli di attività, come se fosse a dieta e mangiasse solo dei corpi molto piccoli o del gas. Nella zona occupata dal buco nero centrale, si osservano delle piccole oscillazioni di radiazione (lampi di raggi X, variazioni a infrarosso) che si interpretano come delle emissioni provenienti dal gas caldo o da blocchi di materia (comete, asteroidi) sul punto di cadervi dentro, ma nessun lampo violento che crei una stella. Ecco che è limitata come dieta, appena un leggero pic-nic ogni tanto. Si sperava di poter osservare dei segni di banchetti più consistenti. Questa calma relativa è forse dovuta al fatto che la regione vicina al centro è già stata ripulita e che le altre stelle sono troppo lontane per cadere nel buco nero. Dobbiamo forse rivolgere i nostri sguardi altrove rispetto alla nostra galas-

leurs que dans notre propre galaxie pour trouver des trous noirs plus gloutons ?

Oltre les géants, on a découvert aujourd'hui des catégories de trous noirs qu'il faut bien appeler « supergéants », ou « supermassifs ». Ils se trouvent au cœur de galaxies dont le centre est tellement actif qu'il éclipse la galaxie elle-même. Ces galaxies sont appelées quasars, pour « quasi-stars », car, supplantées par leur cœur brillant, elles apparaissent comme un seul point lumineux et non comme le halo diffus qu'affichent les autres galaxies.

Pour une galaxie dont le cœur est riche en nourriture potentielle (étoiles et gaz), les calculs théoriques faits en supposant un taux d'alimentation raisonnable du trou noir montrent que, sur une période de 10 milliards d'années, un trou noir d'origine stellaire pourrait atteindre un milliard de fois la masse du Soleil et devenir aussi volumineux que notre système planétaire.

Un trou noir de cette taille doit être capable d'attirer des étoiles entières orbitant à proximité, et qui vont tomber au fond du puits gravitationnel. Dans certains cas, cela devrait donner lieu à un phénomène détectable, même à la distance où nous sommes : si le trou noir fait entre 5 et 100 millions de masses solaires, l'étoile en cours d'engloutissement sera soumise à des forces de marée telles qu'elle va être détruite avant d'atteindre l'horizon. La masse de l'étoile se disloque littéralement, non sans émettre un rayonnement caractéristique, sorte de hurlement à la mort, cette bouffée échappe au trou noir car elle est émise avant que l'étoile ait franchi l'horizon.

sia per trovare dei buchi neri più ingordi?

Oltre ai giganti, oggi si sono scoperte categorie di buchi neri che dobbiamo chiamare “supermassicci” o “supermassivi”. Essi si trovano nel nucleo di galassie il cui centro è così attivo che eclissa la galassia stessa. Queste galassie sono chiamate *quasar*, sta per “quasi-star”, perché soppiantate dal loro nucleo brillante, appaiono come un solo punto luminoso e non come l'alone diffuso che mostrano le altre galassie.

Per una galassia il cui nucleo è ricco di nutrimento potenziale (stelle e gas), i calcoli teorici fatti supponendo un tasso di alimentazione adeguato del buco nero mostrano che, su un periodo di 10 miliardi di anni, un buco nero di origine stellare potrebbe arrivare ad un miliardo di volte la massa del Sole e diventare tanto luminoso quanto il nostro sistema planetario.

Un buco nero di questa dimensione dev'essere capace di attirare delle stelle intere che orbitano nelle vicinanze, e che cadranno nel fondo del pozzo gravitazionale. In qualche caso, questo dovrebbe condurre ad un fenomeno rilevabile, anche dalla distanza dove siamo noi: se il buco nero misura tra i 5 e i 100 milioni di masse solari, la stella in fase di inghiottimento sarà sottomessa a delle forze di marea tali per cui sarà distrutta prima di raggiungere l'orizzonte. La massa della stella si disgrega letteralmente, non senza emettere una radiazione caratteristica, una sorta di grido di morte, questa ventata scappa al buco nero perché è emessa prima che la stella abbia varcato l'orizzonte.

L'un de nous (JPL) a calculé que de telles mises à mort suivraient un scénario en trois temps, au moins aussi sportif qu'une corrida valencienne : dans un premier temps, la gravitation différentielle qui s'exerce sur les bords opposés de l'étoile brise la cohérence de celle-ci et la contraint à s'aplatir comme une crêpe. On pourrait alors l'appeler « crêpe stellaire flambée », flambée parce qu'au moment de sa dislocation elle est surchauffée et fabrique des éléments chimiques particuliers. Ceux-ci pourraient servir de signature pour les détecter. Au bout d'un certain temps, l'aplatissement devient tel que la densité et la température intérieures atteignent des sommets. Ceux-ci provoquent l'allumage de nouvelles réactions nucléaires, intenses et brutales. Nous sommes face à une explosion pure et simple : l'étoile est devenue une bombe. Elle envoie des débris dans toutes les directions. Certains sont éjectés vers l'extérieur, d'autres continuent à spiraler en direction du trou noir. Lorsqu'ils arrivent à proximité de l'horizon, ils s'échauffent tellement qu'ils émettent des bouffées de rayons X et ultraviolets. C'est le dernier rôle de la longue agonie stellaire²²⁴.

Pour les trous noirs supérieurs à 100 millions de masses solaires, les étoiles n'ont même pas le temps d'être disloquées par les forces de marée si, d'aventure, elles tombent dans le puits. Elles se désintègrent seulement au-delà de l'horizon, d'une façon irrémédiablement impossible à détecter. Mais elles sont si formidablement accélérées, avant de passer l'horizon, qu'elles pourraient entrer en collision pourvu qu'elles soient plusieurs à tour-

Uno di noi (JPL), ha calcolato che tali condanne a morte seguirebbero una sceneggiatura in tre atti, almeno tanto sportiva quanto una corrida valenziana: in un primo tempo, la gravità differenziale che si esercita sui bordi opposti della stella rompe la coerenza di questa e la costringe ad appiattirsi come una crêpe. La si potrebbe dunque chiamare “crêpe stellare infuocata”, infuocata perché al momento della disgregazione si è surriscaldata e crea degli elementi chimici particolari. Questi potrebbero fungere da traccia per rilevarli. Dopo un po' di tempo, l'appiattimento diventa tale che la densità e la temperatura interne raggiungono gli apici. Questi provocano l'innescamento di nuove reazioni nucleari, intense e brutali. Siamo di fronte ad un'esplosione pura e semplice: la stella è diventata una bomba. Lancia dei detriti in tutte le direzioni. Alcuni sono lanciati verso l'esterno, altri continuano a seguire un moto a spirale in direzione del buco nero. Quando arrivano in prossimità dell'orizzonte, si scaldano così tanto che emettono delle scariche di raggi X e ultravioletti. È l'ultimo rantolo della lunga agonia stellare²²⁴.

Per un buco nero superiore a 100 milioni di masse solari, le stelle non hanno neanche il tempo di essere disgregate dalle forze di marea, se per caso cadessero nel pozzo. Si disintegrano solo al di là dell'orizzonte, in un modo irrimediabilmente impossibile da rilevare. Ma sono così fortemente accelerate prima di passare l'orizzonte, che potrebbero entrare in collisione, purché siano molte a vorticare nello stesso momento. Collisioni del genere

²²⁴ Pour une animation, voir <http://chandra.harvard.edu/photo/2004/rxj1242/index.html>
Per un'animazione, vedere <http://chandra.harvard.edu/photo/2004/rxj1242/index.html>

billonner en même temps. De telles collisions qui se produiraient en deçà de l'horizon occasionneraient non pas une, mais deux crêpes à la fois. Au centre d'un quasar, ces phénomènes pourraient se produire environ dix fois par an, libérant des flashes lumineux du même type que les crêpes stellaires flambées.

Ces modèles ont d'abord été calculés sur ordinateur, dans les années 1980, puis quelque peu délaissés faute d'observations susceptibles de les corroborer. Mais, aujourd'hui, grâce aux progrès des instruments d'observation, on commence à détecter tout près du centre de certaines galaxies lointaines des flashes de rayonnement qui ressemblent comme deux gouttes d'eau à la signature attendue des crêpes stellaires. En 2004, une puissante flambée observée près d'un trou noir de 100 millions de masses solaires affichait le profil calculé d'une destruction stellaire de masse équivalente au Soleil.

Ainsi, la modélisation théorique est un lièvre qui se permet souvent de gambader dans l'univers des possibles, mais elle se fait toujours rattraper, tôt ou tard, par la tortue des observations astronomiques. Dix ans, vingt ans ou cent ans après les prédictions, des données nouvelles viennent confirmer ou infirmer le modèle qui flotte en liberté. Neuf fois sur dix, il s'agira plutôt d'une infirmation, et le modèle sera mis au rancart, juste bon pour le musée des curiosités. Dans le dixième cas, il s'agit d'une confirmation, et le modèle se hisse au rang glorieux de théorie vérifiée, du moins jusqu'à ce qu'on bute sur une anomalie, auquel cas il faudra songer à une meilleure théorie qui expliquera *toutes* les observations. Quant aux crêpes stellaires, il semble bien que le modèle était bon – bon dans la mesure où il prévoyait

che si creerebbero al di sotto dell'orizzonte provocherebbero non una, ma due crêpes alla volta. Al centro di un quasar, questi fenomeni potrebbero verificarsi circa dieci volte all'anno, liberando dei lampi luminosi dello stesso tipo delle crêpes stellari infuocate.

Questi modelli sono stati prima calcolati al computer, negli anni 1980, poi un po' trascurati per mancanza di osservazioni capaci di confermarli. Ma oggi, grazie ai progressi degli strumenti di osservazione, si comincia a rilevare molto vicino al centro di alcune galassie lontane dei lampi di radiazione che assomigliano come due gocce d'acqua alla traccia prevista dalle crêpes stellari. Nel 2004, un potente scoppio osservato vicino ad un buco nero di 100 milioni di masse solari mostrava il profilo calcolato di una distruzione stellare di massa equivalente al Sole.

Così, il modello teorico è una lepre che permette spesso di saltellare nell'universo dei possibili, ma si fa sempre raggiungere, presto o tardi dalla tartaruga delle osservazioni astronomiche. Dieci anni, vent'anni o cent'anni dopo le previsioni, dei nuovi dati confermano o smentiscono il modello che fluttua in libertà. Nove volte su dieci, si tratterà piuttosto di una smentita, e il modello sarà messo da parte, solo per il museo delle curiosità. Nel decimo caso, si tratta di una conferma, e il modello si innalza al glorioso grado di teoria verificata, almeno finché si sbatta contro un'anomalia, in quel caso bisognerà pensare ad una migliore teoria che spiegherà *tutte* le osservazioni. Quanto alle crêpes stellari, sembra che il modello fosse buono – buono nella misura in cui si prevedevano le osservazioni che sono state fatte.

les observations qui ont été faites.

Les trous noirs dans l'Univers

Sachant tout ce que nous venons de voir, il est effectivement inévitable que les trous noirs soient appelés à grossir perpétuellement. Pour autant, ce ne sont pas les ogres voraces et insatiables qu'une certaine littérature de vulgarisation s'est plu à décrire. Concrètement, si l'on remplaçait le Soleil par un trou noir de masse équivalente, nous, Terriens, ne nous rendrions compte de rien, sur le plan gravitationnel, s'entend : notre planète continuerait à graviter autour du trou noir, à la même distance et suivant la même orbite. En effet, l'horizon d'un trou noir de cette masse ne se trouve qu'à un rayon de 3 kilomètres de son centre. Le trou noir remplaçant le Soleil n'aurait donc que 6 kilomètres de large, et tout objet orbitant dix mille fois plus loin resterait en totale sécurité. Il faudrait s'approcher assez près pour cesser d'avoir une orbite stable et être entraîné sur la mauvaise pente.

Ce n'est donc que dans le voisinage immédiat du trou noir que les effets de courbure sont suffisamment importants pour invalider la physique classique au bénéfice de la physique relativiste. Loin du trou noir, on peut continuer à s'en remettre à ce brave Newton. Autrement dit, la totalité de l'Univers est un tissu presque parfaitement lisse – à peine courbé ponctuellement par les très grosses étoiles, et percé de quelques petits « trous » à l'endroit des trous noirs stellaires, un peu moins petits à celui des

I buchi neri nell'Universo

Considerando tutto quello che abbiamo appena visto, è davvero inevitabile che i buchi neri siano chiamati a ingrandirsi di continuo. Per questo, non sono gli orchi voraci e insaziabili che ad una certa letteratura di divulgazione è piaciuto descrivere. Concretamente, se si sostituisse il Sole con un buco nero di massa equivalente, noi Terrestri, non ci rederemo conto di niente, sul piano gravitazionale s'intende: il nostro pianeta continuerebbe a gravitare intorno al buco nero, alla stessa distanza e seguendo la stessa orbite. Infatti, l'orizzonte di un buco nero di questa massa si trova solo ad un raggio di 3 chilometri dal suo centro. Il buco nero che sostituisce il Sole avrebbe dunque solo 6 chilometri di larghezza, e ogni oggetto che orbita dieci mila volte più lontano resterebbe in totale sicurezza. Bisognerebbe avvicinarsi un po' di più per smettere di avere un'orbita stabile ed essere portato sulla cattiva strada.

Soltanto nelle vicinanze immediate del buco nero gli effetti di curvatura sono sufficientemente importanti per inficiare la fisica classica in favore della fisica relativistica. Lontano dal buco nero, si può continuare a fare affidamento al grande Newton. In altre parole, la totalità dell'Universo è un tessuto quasi perfettamente liscio – appena curvato puntualmente dalle molto grandi stelle, e forato da alcuni piccoli “buchi” nel punto dei buchi neri stellari, un po' meno piccoli rispetto a quello dei buchi neri ga-

trous noirs galactiques. Loin d'être un terrain émaillé de gouffres, l'Univers est plutôt une immense étendue lisse et uniforme, par endroits piquetée de petits creux ou de petits trous.

Malgré ce faible impact, si l'on envisage des perspectives temporelles très éloignées, le rôle des trous noirs deviendra de plus en plus important au cours de l'évolution de l'Univers. Puisque les trous noirs se trouvant au centre des galaxies ne peuvent que grossir au cours du temps, ils finiront, dans des milliards et des milliards d'années, par englober la plupart de la matière des galaxies, après quoi certains pourront même fusionner pour former des mégatrous noirs de plus en plus grands. Cependant, il est exclu d'imaginer que l'Univers tout entier se transforme en un seul trou noir géant, parce que l'Univers, comme on va le voir bientôt, est en expansion. L'espace se dilate, il a donc tendance à éloigner les trous noirs les uns des autres. Il se joue une sorte de course de vitesse entre la matière qui, localement, a tendance à se rassembler en grumeaux et finalement à former des trous noirs, et l'espace qui, de son côté, disperse la matière. Et l'on sait aujourd'hui que la course sera gagnée par l'expansion de l'Univers. Seuls des trous noirs voisins pourront se rapprocher et fusionner. Les autres seront irrémédiablement emportés à la dérive sur les ailes en expansion de l'Univers vieillissant.

Les trous noirs d'origine stellaire, formés par l'effondrement d'étoiles hypermassives ou par la fusion d'étoiles à neutrons, sont en nombre estimé à environ 50 millions dans notre galaxie, comme on l'a dit. On en a détecté à ce jour une vingtaine, sur la base soit des perturbations gravitationnelles d'une toile compagne, soit de ce qui semble être la signature d'un snack de

lattici. Lungi dall'essere un terreno costellato di spaccature, l'Universo è piuttosto un'immensa distesa liscia e uniforme, in alcuni punti picchiettata da piccoli vuoti o da piccoli buchi.

Malgrado questo debole impatto, se si considerano delle prospettive temporali molto lontane, il ruolo dei buchi neri diventerà sempre più importante nel corso dell'evoluzione dell'Universo. Dato che i buchi neri si trovano al centro delle galassie possono crescere nel corso del tempo, tra miliardi e miliardi di anni, finiranno per inghiottire la maggior parte della materia delle galassie, dopodiché alcuni potranno anche unirsi per formare dei mega buchi neri sempre più grandi. Tuttavia, è escluso immaginare che l'Universo tutto intero si trasformi in un solo buco nero gigante, perché l'Universo, come vedremo presto, è in espansione. Lo spazio si dilata, e dunque ha la tendenza di allontanare i buchi neri gli uni dagli altri. Si gioca una sorta di corsa di velocità tra la materia che, localmente, ha la tendenza a riunirsi in agglomerati ed a formare dei buchi neri alla fine, e a sua volta lo spazio disperde la materia. E si sa che oggi la sua corsa sarà vinta dall'espansione dell'Universo. Solo dei buchi neri vicini potranno avvicinarsi e fondersi. Gli altri saranno irrimediabilmente portati alla deriva sulle ali in espansione dell'Universo che invecchia.

I buchi neri di origine stellare, formati dal collasso di stelle più massive o dalla fusione di stelle di neutroni, sono in numero stimato di circa 50 milioni nella nostra galassia, come si è detto. Se ne sono rilevati finora una ventina, sulla base o dei disturbi gravitazionali di una stella compagna, o da quella che sembra essere la traccia di uno spuntino di raggi X che si permette l'orco.

rayons X que s'offre l'ogre.

Le nombre des trous noirs géants, lui, doit se résumer, à première vue, à un par galaxie au maximum. Quant aux trous noirs supermassifs, sur les 120.000 galaxies qui ont déjà été étudiées, 20 000 semblent en posséder un. Le record de masse, détenu depuis janvier 2008, est de 18 milliards de soleils ; il s'agit d'un supertrou noir occupant le cœur du quasar OJ287, à 3,5 milliards d'années-lumière de nous. Il se paye le luxe d'avoir un partenaire plus petit (toutes proportions gardées !) : un trou noir de 100 millions de masses solaires, qui orbite autour de lui en douze années ; c'est d'ailleurs l'analyse de l'orbite du petit qui permet d'estimer la masse du gros.

Bien que les trous noirs géants et supergéants soient détectés dans beaucoup de galaxies, le mécanisme de leur formation reste incertain. Sont-ils des trous noirs primordiaux, formés très tôt dans l'histoire de l'Univers par des effondrements de matière cataclysmiques et autour desquels les galaxies se sont structurées ? Ou au contraire sont-ils apparus au cœur des galaxies déjà formées, par accréation progressive de matière ? Ce qui semble sûr, c'est qu'ils se nourrissent de la matière dense propre au cœur des galaxies jeunes, et qu'ils s'éteignent par la suite pour se muer en trous noirs passifs.

Par ailleurs, à côté des trous noirs stellaires et des trous noirs géants, il existe sans doute aussi des trous noirs de taille intermédiaire.

Il numero dei buchi neri giganti deve limitarsi, a prima vista, a uno per galassia al massimo. Quanto ai buchi neri supermassicci, sulle 120 000 galassie che sono già state studiate, 20 000 sembrano possederne uno. Il record di massa, detenuto dal gennaio 2008, è di 18 miliardi di soli; si tratta di un super buco nero che occupa il nucleo del quasar OJ287, a 3,5 miliardi di anni luce da noi. Lui si paga il lusso di avere un compagno più piccolo (con le dovute proporzioni!): un buco nero di 100 milioni di masse solari, che orbita attorno a lui in dodici anni; d'altra parte è l'analisi dell'orbita del piccolo che permette di stimare la massa del grande.

Anche se i buchi neri giganti e supermassicci sono rilevati in molte galassie, il meccanismo della loro formazione resta incerto. Sono dei buchi neri primordiali, formati molto presto nella storia dell'Universo da dei colassi catastrofici di materia e attorno ai quali le galassie si sono strutturate? O al contrario sono apparsi nel nucleo delle galassie già formate, per accrescimento progressivo della materia? Quel che sembra certo, è che si nutrono della materia densa proprio nel nucleo delle galassie giovani, e che poi si spengono per trasformarsi in buchi neri passivi.

Inoltre, vicino a dei buchi neri stellari e dei buchi neri giganti, esistono senza dubbio anche dei buchi di dimensione intermedia.

Les trous noirs intermédiaires

Pour les rencontrer, il faut se tourner vers les étoiles qui forment le halo de la galaxie, et non son disque. À l'inverse de celui-ci, le halo est pratiquement inactif. Il ne contient pas de gaz libre, et il ne s'y forme plus d'étoiles nouvelles. Il ne contient que des étoiles anciennes, probablement formées au même moment que la galaxie, il y a 13 milliards d'années. Les étoiles les plus massives sont mortes depuis longtemps, laissant traîner leurs cadavres, des étoiles à neutrons et des trous noirs stellaires. Les étoiles de masse moyenne sont pour beaucoup en fin de vie, au stade de géantes rouges, ou bien déjà effondrées en naines blanches. La majorité des étoiles encore vivantes sont de faible masse, à très longue durée de vie. Mais le plus étonnant n'est pas tant cette répartition originale dans les phases de vie que la répartition des étoiles dans l'espace. Beaucoup d'étoiles, ou restes d'étoiles, du halo galactique sont groupées en troupeaux denses appelés *amas globulaires*. Ce sont des sortes de boules composées de plusieurs centaines de milliers d'étoiles²²⁵. Pas plus larges que 150 années-lumière, ils connaissent en leur région centrale une densité stellaire vingt mille fois supérieure à celle qui règne dans le voisinage du système solaire. Si une planète habitable tournait autour d'une de ces étoiles, on y verrait un ciel tellement constellé d'étoiles, elles-mêmes si brillantes que la nuit y serait inconnue. Et par conséquent le reste de la galaxie serait invisible, sans parler de l'Univers – aussi obscur que le visage du dernier spectateur quand on se trouve sur une scène illuminée

I buchi neri intermedi

Per incontrarli, bisogna voltarsi verso le stelle che formano l'alone della galassia, e non il suo disco. Al contrario di questo, l'alone è praticamente inattivo. Non contiene gas libero, e non vi si formano più stelle nuove. Contiene solo delle stelle antiche, probabilmente formate allo stesso momento della galassia, 13 miliardi di anni fa. Le stelle più massicce sono morte da molto tempo, facendo seguire i loro cadaveri dalle stelle di neutroni e dai buchi neri stellari. Le stelle di massa media sono per la maggior parte in fin di vita, allo stadio di giganti rosse, o meglio già collassate in nane bianche. La maggior parte delle stelle ancora viventi sono di massa modesta, con una durata di vita molto lunga. Ma la cosa più sorprendente non è tanto questa suddivisione originale nelle fasi di vita, quanto la suddivisione di stelle nello spazio. Molte stelle, o resti di stelle, dell'alone galattico sono riunite in gruppi densi chiamati *ammassi globulari*. Sono delle specie di sfere composte da molte centinaia di miliardi di stelle²²⁵. Non più larghi di 150 anni luce, conoscono nella loro regione centrale una densità stellare ventimila volte superiore a quella che regna nelle vicinanze del sistema solare. Se un pianeta abitabile ruotasse intorno ad una di queste stelle, vi si vedrebbe un cielo talmente costellato di stelle, esse stesse così brillanti che la notte sarebbe sconosciuta. E di conseguenza il resto della galassia sarebbe invisibile, senza parlare dell'Universo – tanto oscuro quanto il volto dell'ultimo spettatore quando ci si trova su una scena illuminata dai riflettori – perché ogni osservazione

²²⁵ Galerie d'images sur http://hubblesite.org/gallery/album/star_collection/star_cluster/
Galleria di immagini su http://hubblesite.org/gallery/album/star_collection/star_cluster/

par les projecteurs – car toute observation lointaine serait rendue impossible par la luminosité des étoiles proches. Si d'aventure nous avons émergé sur l'une de ces planètes, nous aurions des idées *complètement différentes* de la physionomie de l'Univers. Le halo galactique contient environ cent cinquante de ces amas globulaires.

On pense que ces régions sont en cours d'effondrement gravitationnel et pourraient abriter de grands trous noirs en leur centre, résultant de la fusion de nombreuses étoiles au centre de l'amas. Pas dans tous les cas, toutefois, car la création de nombreuses paires d'étoiles stables peut interrompre la contraction du cœur, à cause de certaines propriétés bizarres de la gravitation. Les observations récentes montrent que le cas le plus fréquent serait celui d'un cœur composé d'étoiles compactes vivant en couple. Mais deux détections récentes montrent que, dans certains cas, c'est bien la solution du trou noir central qui a cours. On connaît au moins deux amas globulaires (M15 dans notre galaxie et G1 dans la galaxie d'Andromède) organisés autour d'une seule masse centrale valant respectivement 4 000 et 20 000 masses solaires. Pas de meilleure explication pour ces masses énormes que celle de trous noirs intermédiaires ayant avalé une grande quantité d'étoiles.

Les trous noirs, qu'ils soient stellaires, géants, supergéants ou intermédiaires, sont par essence irréversibles. Une fois qu'ils sont formés, ils ne peuvent plus disparaître, au contraire ils grossissent sans cesse et accroissent leur influence. En aucun cas ils ne peuvent se désintégrer, la théorie de la relativité générale est formelle là-dessus. En revanche, la description précise de ce qui

lontana sarebbe resa impossibile dalla luminosità delle stelle vicine. Se per caso fossimo apparsi in uno di questi pianeti, avremmo delle idee *completamente diverse* della fisionomia dell'Universo. L'alone galattico contiene circa centocinquanta di questi ammassi globulari.

Si pensa che queste regioni siano in fase di collasso gravitazionale e potrebbero ospitare dei grandi buchi neri nel loro centro, che risultano dalla fusione di numerose stelle al centro dell'ammasso. Non in tutti i casi, tuttavia, poiché la creazione di numerose coppie di stelle stabili può interrompere la contrazione del nucleo, a causa di alcune proprietà bizzarre della gravità. Le recenti osservazioni mostrano che il caso più frequente sarebbe quello di un nucleo composto da stelle compatte che vivono in coppia. Ma due rilevazioni recenti mostrano che, in qualche caso, è proprio la soluzione del buco nero che è attualmente in uso. Si conoscono almeno due ammassi globulari (M15 nella nostra galassia e G1 nella galassia di Andromeda) situati intorno ad una sola massa centrale che valgono rispettivamente 4 000 e 20 000 masse solari. Non c'è miglior spiegazione per queste masse solari enormi se non quella di buchi neri intermedi che hanno inghiottito una grande quantità di stelle.

I buchi neri, che siano stellari, giganti, supermassicci o intermedi, sono per definizione irreversibili. Una volta che sono formati, non possono più scomparire, al contrario crescono in continuazione e accrescono la loro influenza. In nessun caso possono disintegrarsi, la teoria della relatività generale è formale a riguardo. Al contrario, la descrizione precisa di quello che succede

se passe à l'intérieur pose énormément de problèmes, et c'est le flou total à ce stade. Cet objet irréversible, indestructible et éternel est une pochette-surprise dont on n'est pas près de déballer les petits secrets.

Dans le trou noir

Pour l'aventurier qui traverserait la frontière du trou noir sans se faire écarteler, l'Univers risque fort de changer de physionomie. Car, une fois franchi l'horizon des événements, il n'y a plus pléthore de trajectoires permises. La chute vers le centre est la seule possibilité. Autrement dit, l'espace n'est plus une entité à trois dimensions dans lesquelles on se déplace librement. Il devient une droite à une seule dimension qui ne peut être parcourue que dans un sens, exactement comme... le temps ! Si vous avez franchi l'horizon d'un trou noir, vous êtes forcé dans l'espace comme vous l'êtes dans le temps, jusqu'au moment où vous atteignez la singularité centrale. Vous n'aurez pas vraiment le temps d'en faire des traités philosophiques, car le trajet est court : pour un trou noir de 10 masses solaires, il ne prendrait qu'un dix millième de seconde. Dans un trou noir géant tapi au centre d'une galaxie, la balade serait plus longue, aux alentours d'une heure. Et ensuite ? Ensuite, nous ne pouvons rien dire...

L'étude de l'environnement immédiat des trous noirs, comme nous l'avons vu, est à notre portée et permet d'expliquer tout un ensemble de phénomènes astronomiques qui paraissaient mystérieux. Mais ce qui se passe à l'intérieur d'un trou noir restera

all'interno pone moltissimi problemi, è l'incertezza totale in questo momento. Questo oggetto irreversibile, indistruttibile ed eterno è un pacco-sorpresa di cui non si è prossimi a rivelare i piccoli segreti.

Nel buco nero

Per l'avventuriero che attraverserebbe la frontiera del buco nero senza farsi ridurre a brandelli, l'Universo rischia di cambiare la fisionomia. Perché, una volta superato l'orizzonte degli eventi, non c'è più plethora di traiettorie permesse. La caduta verso il centro è la sola possibilità. In altre parole, lo spazio non è più un'entità a tre dimensioni nelle quali ci si può spostare liberamente. Diventa una retta a una sola dimensione che può essere percorsa solo in un senso, proprio come... il tempo! Se avete superato l'orizzonte di un buco nero, siete compressi nello spazio come lo siete nel tempo, fino al momento in cui arrivate alla singularità totale. Non avrete veramente il tempo di farne dei trattati filosofici, perché il tragitto è breve: per un buco nero di 10 masse solari, basta solo un decimillesimo di secondo. In un buco nero gigante nascosto nel centro di una galassia, la passeggiata sarebbe più lunga, all'incirca di un'ora. E poi? E poi, non possiamo dire nulla...

Lo studio dell'ambiente circostante dei buchi neri, come abbiamo visto, è alla nostra portata e permette di spiegare tutta una serie di problemi astronomici che apparivano misteriosi. Ma quello che succede all'interno di un buco nero rimarrà per molto, forse

pour longtemps, et peut-être pour toujours, entièrement inconnu. Aucun type d'observation ne semble accessible, puisqu'un trou noir ne prête le flanc à aucune détection, aucune mesure. Incolore, inodore, insipide, inaudible, invisible, le trou noir est l'être le plus introverti de l'Univers. Pour en avoir le cœur net, il faudrait aller voir sur place, avec une sonde par exemple, ce qui, outre la durée du trajet, ne nous avancerait guère, puisque aucun retour de matière ou d'information n'est par principe possible. Les questions sont pourtant légion. Où va la matière qui tombe dans un trou noir ? Y a-t-il un fond ? De quelle nature est cette déformation radicale du tissu élastique ? S'agit-il d'une courbure infinie ?

En mathématiques, une valeur infinie apparaissant dans un continuum s'appelle une « singularité ». La théorie de la relativité générale prédit que, dans les configurations les plus simples, par exemple si l'on postule un trou noir sphérique qui ne tourne pas sur lui-même, la déformation va engendrer un nœud qui « étrangle » l'espace-temps. La matière s'accumule indéfiniment et irréversiblement dans ce nœud. Mais l'idée de voir des quantités infinies de matière s'entasser dans un volume nul est une horreur sans nom pour les physiciens - et pour l'homme de la rue tout autant. C'est pourquoi l'on planche sur des scénarios plus plausibles. On pourrait supposer que la théorie de la gravitation au voisinage du nœud doit être modifiée, parce que la gravité deviendrait répulsive par exemple et permettrait à la matière de rebondir au lieu de s'entasser indéfiniment - on pourrait alors avoir une sorte de pulsation de matière à l'intérieur du trou noir. Ce qui était il y a quelques années seulement pure spéculation est en train de prendre consistance avec les tout nouveaux calculs

per sempre, completamente sconosciuto. Nessun tipo di osservazione sembra accessibile, dato che un buco nero non è oggetto di alcuna rilevazione, alcuna misurazione. Incolore, inodore, insipido, impercettibile, invisibile, il buco nero è l'essere più introverso dell'Universo. Per vederci chiaro, bisognerebbe andare a vedere sul posto, con una sonda per esempio, che, oltre alla durata del tragitto, non ci anticiperebbe granché, perché nessun ritorno della materia o d'informazione è per principio possibile. Le questioni restano comunque numerose. Dove va la materia che cade in un buco nero? C'è un fondo? Di quale natura è questa deformazione radicale del tessuto elastico? Si tratta di una curvatura infinita?

In matematica, un valore infinito che appare in un continuum si chiama "singularità". La teoria della relatività generale prevede che, nelle configurazioni più semplici, per esempio se si postula un buco nero sferico che ruota su sé stesso, la deformazione creerà un nodo che "strangola" lo spazio-tempo. La materia si accumula in modo illimitato ed irreversibile in questo nodo. Ma l'idea di vedere delle quantità infinite di materia accumularsi in un volume nullo è un orrore indicibile per i fisici - e altrettanto per il cittadino comune. Ecco perché si dimostra su degli scenari più plausibili. Si potrebbe supporre che la teoria della gravità nei pressi del nodo debba essere modificata, perché la gravità diventerebbe repulsiva per esempio e permetterebbe alla materia di rimbalzare al posto di accumularsi all'infinito - si potrebbe allora avere una sorta di pulsazione della materia all'interno del buco nero. Ciò che, solo qualche anno fa, era pura speculazione sta prendendo consistenza con tutti i nuovi calcoli effettuati nel quadro della teoria della gravità quantistica - una delle formule

effectués dans le cadre de la théorie de la gravitation quantique - l'une des voies d'approche pour unifier la relativité générale et la mécanique quantique (voir la troisième partie). Dans cette théorie, l'espace serait formé de grains minuscules mais pas infiniment petits, en conséquence de quoi sa courbure ne pourrait pas devenir infiniment grande ; dans un trou noir, l'écrasement de la matière et de l'espace se heurterait à une valeur finie, quoique très élevée, de la courbure, et s'inverserait pour donner lieu à un rebond.

Cependant, toutes les étoiles tournent sur elles-mêmes, les étoiles à neutrons tournent même très vite, comment donc les trous noirs, du moins ceux formés à partir d'étoiles effondrées, ne tourneraient-ils pas sur eux-mêmes ? De fait, la relativité générale calcule que l'intérieur d'un trou noir en rotation n'est pas bouché par une singularité en forme de nœud, mais en forme d'anneau couché dans le plan équatorial. Du coup, il existe des trajectoires au sein du trou noir qui peuvent éviter le crash soit en survolant l'anneau singulier, soit en passant carrément au milieu (en évitant soigneusement de toucher le bord).

Dans ces conditions, une autre voie de recherche, attirante car elle ouvre des perspectives très riches quoique spéculatives, est l'idée que le fond du trou noir en rotation n'est pas bouché, mais communique avec une autre région de l'Univers par une sorte de tunnel. On a baptisé « trous de ver » ces tunnels hypothétiques, pour évoquer les galeries creusées par les vers dans une pomme - ce fruit succulent et excellent pour la santé qui est devenu le symbole de la gravitation depuis que Newton en aurait reçu un sur la tête. Le trou noir agirait comme un ver d'espace qui fore à

per unificare la relatività generale e la meccanica quantistica (vedere la terza parte). In questa teoria, lo spazio sarebbe formato da granelli minuscoli ma non infinitamente piccoli, di conseguenza la sua curvatura non potrebbe diventare infinitamente grande; in un buco nero, lo schiacciamento della materia e dello spazio si scontrerebbe con un valore finito, anche se molto elevato, della curvatura, e si invertirebbe per provocare un contraccolpo.

Tuttavia, tutte le stelle ruotano su loro stesse, anche le stelle di neutroni ruotano molto velocemente, come dunque i buchi neri, almeno quelli formati a partire dalle stelle collassate, non ruoterebbero su loro stessi? Di fatto, la relatività generale calcola che l'interno di un buco nero in rotazione non è chiuso da una singolarità a forma di nodo, ma a forma di anello posto sul piano equatoriale. Di conseguenza, esistono delle traiettorie nel buco nero che possono evitare l'impatto o sorvolando il singolo anello, o passando proprio in mezzo (evitando attentamente di toccare il bordo).

Pertanto, un'altra via di ricerca, allettante perché apre delle prospettive molto ricche anche se speculative, è l'idea che il fondo del buco nero in rotazione non sia chiuso, ma comunichi con un'altra regione dell'Universo attraverso una sorta di tunnel. Si sono battezzati "wormhole" (letteralmente buchi di verme) questi tunnel ipotetici, per ricordare le gallerie scavate dai vermi in una mela - questo frutto succulento ed eccellente per la salute che è diventato simbolo della gravità da quando Newton ne avrebbe ricevuta una sulla testa. Il buco nero agirebbe come un

belles dents. Le tunnel peut déboucher quelque part dans notre Univers, voire, selon d'autres théories, dans d'autres Univers. Nous verrons dans la troisième partie comment certains scénarios scientifiques – et non de science-fiction – envisagent une multiplicité d'Univers. Certains pourraient être connectés par ces mystérieux trous de ver. On peut aussi imaginer des structures inverses des trous noirs, des « fontaines blanches » d'où jaillit la matière engloutie par les trous noirs, et dans ce cas le Big Bang pourrait être une immense fontaine blanche. Celle-ci serait connectée – qui sait ? – à un trou noir colossal d'un autre Univers qui aurait déversé une partie de sa matière dans le nôtre. Et nous alimentons peut-être à notre tour d'autres Big Bang avec nos trous noirs. De trous noirs en fontaines blanches, reliés par des trous de ver, on en viendrait ainsi à fabriquer des Univers en cascade. Et, si le dernier était connecté au premier, la boucle serait bouclée. D'où vient la matière ? Elle tourne en rond. Pure hypothèse, bien sûr.

Les trous de ver

Un trou de ver pourrait connecter le trou noir et la fontaine blanche. Le trou absorbe la matière, la fontaine la rejette. Le trou est noir parce que la lumière s'y engouffre, la fontaine est blanche parce que la lumière en sort. Ce ne sont pas des idées en l'air mais des solutions exactes de la relativité générale susceptibles de décrire la structure interne d'un trou noir. Mais, précisons-le, ce n'est pas parce qu'on trouve une solution mathématique aux équations de la physique qu'elle est effectivement réa-

verme di spazio che scava un buco a grandi morsi. Il tunnel può portare da qualche parte nel nostro Universo, persino, secondo altre teorie, in altri Universi. Vedremo nella terza parte come alcuni scenari scientifici – e non di fantascienza – ipotizzano una molteplicità di Universi. Alcuni potrebbero essere collegati da questi misteriosi wormhole. Si possono anche immaginare delle strutture opposte ai buchi neri, dei “buchi bianchi” da dove sgorga la materia inghiottita dai buchi neri, e in questo caso il Big Bang potrebbe essere un immenso buco bianco. Questo sarebbe collegato – chissà? – ad un buco nero colossale di un altro Universo che avrebbe riversato una parte della sua materia nel nostro. E forse alimentiamo a nostra volta altri Big Bang con i nostri buchi neri. Da buchi neri a buchi bianchi, collegati da dei wormhole, verrebbero a crearsi così degli Universi a cascata. E, se l'ultimo era collegato al primo, si chiude in cerchio. Da dove viene la materia? Gira in tondo. Pura ipotesi, certo.

I wormhole

Un wormhole potrebbe collegare il buco nero e il buco bianco. Il buco nero assorbe la materia, il buco bianco la rigetta. Il buco è nero perché la luce vi precipita, il buco è bianco perché la luce esce. Non sono solo delle idee ma delle soluzioni esatte della relatività generale che possono descrivere la struttura interna di un buco nero. Ma, precisiamolo, non è perché si trova una soluzione matematica alle equazioni della fisica, che essa sia effettivamente realizzata in natura. In generale, il numero di soluzioni mate-

lisée dans la nature. Le nombre de solutions mathématiques possibles est généralement infini. Il n'empêche, quand cette solution a été découverte, dans les années 1970, elle a suscité un enthousiasme général, d'abord chez les chercheurs eux-mêmes, ensuite chez les auteurs de science-fiction qui avaient lu les premiers articles à ce sujet – comme Arthur C. Clarke, le scénariste du célèbre *2001, l'odyssée de l'espace*. Les trous de ver ont enflammé les imaginations parce qu'ils fournissent d'extraordinaires raccourcis d'espace-temps. En effet, ils modifient la topographie de l'Univers en créant des connexions directes entre des points éloignés. Si deux points sont séparés par 20 années-lumière, il vous faut en principe beaucoup de temps pour aller de l'un à l'autre. Mais si vous empruntez le trou de ver, il vous faudra peut-être une heure, et vous aurez apparemment parcouru les 20 années-lumière, tout simplement parce que vous avez trouvé une voie qui replie l'Univers sur lui-même et constitue un raccourci. Si l'Univers était une feuille de papier, le trou de ver serait un chemin qui ne passe pas par la surface mais relie directement deux points l'un à l'autre comme si la feuille de papier était pliée en deux, et ces deux points, superposés.

Notez bien que vous n'aurez pas pour autant voyagé à une vitesse supérieure à celle de la lumière. La traversée d'un trou de ver obéit aux lois de la relativité et se fait à une vitesse inférieure. Simplement (mais c'est déjà beaucoup !), la distance à parcourir en suivant le trou de ver est beaucoup plus courte que dans l'espace normal. C'est la géométrie de l'Univers qui est déformée par le trou de ver, non la vitesse du voyageur.

On comprend l'enthousiasme des écrivains de science – fiction,

matiche possibili è infinito. Ciononostante, quando questa soluzione è stata scoperta, negli anni 1970, ha suscitato un entusiasmo generale, all'inizio nei ricercatori stessi, poi negli autori di fantascienza che avevano letto i primi articoli a riguardo – come Arthur C. Clarke, lo sceneggiatore del celeberrimo *2001: Odissea nello spazio*. I wormhole hanno stimolato l'immaginazione perché forniscono straordinarie scorciatoie di spazio-tempo. Infatti, essi modificano la topografia dell'Universo creando dei collegamenti diretti tra due punti lontani. Se due punti sono separati da 20 anni luce, in teoria vi serve molto tempo per andare dall'uno all'altro. Ma se percorrete il wormhole, vi ci vorrà forse un'ora, e a quanto pare avrete percorso i 20 anni luce, molto semplicemente perché avete trovato una via che piega l'Universo su se stesso e costituisce una scorciatoia. Se l'Universo fosse un foglio di carta, il wormhole sarebbe una via che non passa attraverso la superficie, ma collega direttamente due punti l'uno all'altro come se il foglio di carta fosse piegato in due, e questi due punti fossero sovrapposti.

Notate bene che tuttavia non avrete viaggiato ad una velocità superiore a quella della luce. L'attraversamento di un wormhole obbedisce alle leggi della relatività e avviene ad una velocità inferiore. Semplicemente (ma è già molto!), la distanza da percorrere seguendo un wormhole è molto più breve rispetto allo spazio normale. È la geometria dell'Universo che è deformata dal wormhole, non la velocità del viaggiatore.

Si capisce l'entusiasmo degli scrittori di fantascienza, certo,

évidemment, à l'idée de s'affranchir enfin des immenses distances interstellaires qui semblaient interdire à tout jamais de rejoindre une autre étoile dans la durée d'une vie humaine. La possibilité de tels voyages prenait enfin un début d'assise scientifique. Et l'on pouvait rêver non seulement de voyages dans l'espace, mais également dans le temps, puisque ce qui est déformé dans un trou noir n'est pas seulement l'espace, mais l'espace-temps. Il est donc possible d'envisager des raccourcis dans le temps également. À la limite, sur le plan des équations, rien n'empêche d'imaginer des boucles temporelles, c'est-à-dire des possibilités de retourner vers son propre passé. Il y a toutefois de nombreux problèmes logiques qui surgissent. Tout le monde connaît les paradoxes du voyage dans le temps. Quelqu'un qui retournerait dans le passé et supprimerait l'inventeur de la machine à voyager dans le temps, ou bien l'un de ses propres ancêtres, supprimerait du même coup le futur dont il vient. C'est une vraie limite logique à ce type de théorie, mais les physiciens, plutôt que renoncer complètement à explorer cette voie, préfèrent évoquer des hypothèses de censure, c'est-à-dire des phénomènes physiques encore inconnus qui interdiraient ce genre d'interférence malheureuse.

Peut-être existe-t-il des garde-fous qui bannissent la contradiction et empêchent l'autodestruction des voyageurs imprudents. Peut-être un voyageur pourrait-il, dans le passé, modifier uniquement ce qui n'aura aucun impact sur le présent (la coiffure de Jules César, oui, mais ses victoires, non). Le présent serait auto-immunisé, isolé hermétiquement de ses propres actions dans le temps, comme quelqu'un qui peut chatouiller quelqu'un d'autre mais ne peut pas se chatouiller lui-même.

all'idea di liberarsi finalmente delle immense distanze interstellari che sembrano vietare del tutto di raggiungere un'altra stella nella durata di una vita umana. La possibilità di tali viaggi prendono in somma un abbozzo da fondamenti scientifici. E non solo si potevano sognare viaggi nello spazio, ma anche nel tempo, dato che ciò che è deformato in un buco nero non è solo lo spazio, ma lo spazio-tempo. È dunque possibile prendere in considerazione inoltre delle scorciatoie anche nel tempo. Sul piano delle equazioni, al limite, nulla impedisce di immaginare gli anelli temporali, ovvero delle possibilità di ritornare al proprio passato. Ci sono tuttavia numerosi problemi logici che sorgono. Tutti conoscono i paradossi del viaggio nel tempo. Qualcuno che ritornerebbe nel passato ed eliminerebbe l'inventore della macchina del tempo, oppure uno dei propri antenati, eliminerebbe allo stesso tempo il futuro da cui proviene. È un vero limite logico a questa tipologia di teoria, ma i fisici, piuttosto di rinunciare del tutto ad esplorare questa via, preferiscono formulare delle ipotesi di censura, ovvero dei fenomeni fisici ancora sconosciuti che vieterebbero questo genere di interferenza spiacevole.

Forse esistono delle barriere che vietano la contraddizione ed impediscono l'autodistruzione dei viaggiatori imprudenti. Forse un viaggiatore potrebbe, nel passato, modificare solo ciò che non avrà alcun impatto sul presente (la pettinatura di Giulio Cesare, sì, ma le sue vittorie, no). Il presente sarebbe autoimmune, isolato ermeticamente dalle sue proprie azioni nel tempo, come qualcuno che può fare il solletico a qualcun altro, ma non può farsi il solletico da solo.

Ou encore, pour garantir physiquement cette immunité, pas de meilleure solution que celle-ci : la seule zone accessible aux voyages dans l'espace-temps serait sans connexion causale avec le présent ; c'est-à-dire, les endroits qui n'ont pas pu communiquer avec la Terre durant le laps de temps remonté lors du voyage. Car toute influence causale est nécessairement véhiculée à une vitesse inférieure ou égale à celle de la lumière. Pour un voyage d'un an dans le passé, vous aurez accès à toutes les zones qui sont plus éloignées de la Terre qu'une année-lumière. Ainsi, vous serez dans l'impossibilité de modifier le présent. Même si vous envoyez un message ou un missile nucléaire en direction de la Terre, il arrivera au bout de plus d'un an, c'est-à-dire dans votre futur et non dans votre présent. Et, pour le futur, tout est permis. Y supprimer ses propres descendants ou même la Terre entière est sans doute un problème moral, mais pas un problème logique.

De même, pour un voyage de mille ans en arrière, vous aurez accès à toutes les zones éloignées de plus de 1000 années-lumière. Et ainsi de suite, vous serez obligé d'aller d'autant plus loin de la Terre que vous remontez loin dans le temps. Et cela suffirait à garantir l'impossibilité de modifier le présent de la Terre.

Malheureusement, d'autres limites, plus techniques que logiques, semblent encore insurmontables. On a montré par exemple que, même si des trous de ver pouvaient se former dans des conditions « idéales », ils ne vivraient que très peu de temps. Car les conditions ne peuvent pas rester idéales, il y aura tôt ou tard de petites perturbations, il suffirait par exemple qu'un élec-

Oppure, per garantire fisicamente questa immunità, non c'è miglior soluzione di questa: la sola zona accessibile ai viaggi nello spazio-tempo sarebbe senza collegamento casuale col presente, ovvero le zone che non hanno potuto comunicare con la Terra durante il lasso di tempo risalito durante il viaggio. Perché ogni influenza casuale è necessariamente veicolata ad una velocità inferiore o uguale a quella della luce. Per un viaggio di un anno nel passato, avrete accesso a tutte le zone che sono più lontane dalla Terra di un anno luce. Così, sarete nell'impossibilità di modificare il presente. Anche se inviate un messaggio o un missile nucleare in direzione della Terra, arriverà nel giro di più di un anno, ovvero nel vostro futuro e non nel vostro presente. E, per il futuro, tutto è concesso. Eliminarvi i propri discendenti o la Terra intera è senza dubbio un problema morale, ma non un problema logico.

Allo stesso modo, per un viaggio di mille anni indietro, avrete accesso a tutte le zone distanti più di 1000 anni luce. E così via, sarete obbligati ad andare sempre più lontano dalla Terra di quanto risalite lontano nel tempo. E questo basterebbe a garantire l'impossibilità di modificare il presente della Terra.

Purtroppo, altri limiti, più tecnici che logici, sembrano ancora insormontabili. Si è visto, per esempio che, anche se dei wormhole potessero formarsi in delle condizioni "ideali", vivrebbero solo per pochissimo tempo. Poiché le condizioni non possono rimanere ideali, ci saranno presto o tardi piccole perturbazioni, basterebbe per esempio un elettrone, un fotone, un granello di sabbia,

tron, un photon, un grain de sable, pire encore, une fusée, pénètre dans le trou de ver pour en modifier complètement la structure et le détruire aussitôt. En effet, en vertu de la relativité, en acquérant de la vitesse les intrus augmenteraient leur masse, laquelle engendrerait à son tour un champ de gravité perturbateur. On peut donc penser que ces raccourcis d'espace-temps n'existent pas en pratique, même s'ils représentent des solutions mathématiques exactes des équations d'Einstein. Et Stephen Hawking propose cette simple démonstration logique, qui n'est pas seulement une boutade : « La meilleure preuve que les voyages dans le temps sont impossibles est que nous ne sommes pas envahis par des hordes de touristes venus du futur ». Mais ce pourrait être aussi bien la preuve que l'humanité a disparu avant de parvenir au niveau technologique suffisant. Ou bien : ils sont là, mais on ne les voit pas. La panoplie de l'homme invisible est peut-être devenue abordable en même temps que le voyage dans le temps, et ils déambulent parmi nous en se tenant les côtes de rire. S'ils ont encore des côtes à cette époque-là.

Ou encore, comme on l'a dit plus haut, on découvrira que les voyages dans le temps sont assortis d'une contrainte d'éloignement dans l'espace. Dans ce cas, nos touristes du futur devraient se trouver sur Aldébaran ou Bételgeuse, la Terre leur étant interdite. Mais cela n'expliquerait pas pourquoi nous ne voyons pas de Rigéliens ou d'Altairiens du futur se balader chez nous avec leur appareil photo.

peggio ancora, un'astronave, che penetri nel wormhole per modificarne completamente la struttura e distruggerlo subito. Infatti, in virtù della relatività, acquistando velocità, gli intrusi aumenterebbero la loro massa, che creerebbe a sua volta un campo gravitazionale perturbatore. Si può dunque pensare che queste scorciatoie di spazio-tempo non esistano in pratica, anche se rappresentano delle soluzioni matematiche esatte delle equazioni di Einstein. E Stephen Hawking propone questa semplice dimostrazione logica, che non è solo una battuta: “la miglior prova che i viaggi nel tempo sono impossibili è che non siamo invasi da delle orde di turisti venuti dal futuro”. Ma questo potrebbe essere anche la prova che l'umanità è sparita prima di raggiungere il livello tecnologico sufficiente. Oppure: sono lì, ma non li si vede. Il costume dell'uomo invisibile è forse diventato accessibile contemporaneamente al viaggio nel tempo, e loro camminano tra noi tenendosi la pancia dalle risate. Se hanno ancora la pancia a quell'epoca.

Oppure, come abbiamo detto più in alto, scopriremo che i viaggi nel tempo sono accompagnati da un vincolo di lontananza nello spazio. In questo caso, i nostri turisti del futuro dovrebbero trovarsi su Aldebaran o Betelgeuse, essendogli proibita la Terra. Ma questo non spiegherebbe perché non vediamo dei Rigelliani o dei Altairiani del futuro camminare da noi con la loro macchina fotografica.

Microtrous noirs et trous de ver

Qu'est-ce qu'un trou noir ? Un gros tas de matière ultraconcentrée. Mais que se passerait-il si l'on avait un petit tas de matière ultraconcentrée ? On aurait un trou noir nain.

Certains physiciens pensent que ces bêtes-là existent. Ces trous noirs microscopiques se seraient formés non pas lors de l'effondrement d'étoiles, mais dans les premières secondes de l'Univers, juste après le Big Bang. Dans les conditions fracassantes de l'époque, il aurait pu se former des myriades de microtrous noirs plus petits qu'un noyau atomique. À cette échelle-là interviendraient certains phénomènes de physique quantique, absents dans les trous noirs classiques, qui pourraient garantir la stabilité relative d'assemblages tels que des microtrous noirs reliés à des microfontaines blanches par des microtrous de ver. Ces structures pourraient se former et survivre quelques fractions de seconde, ce qui est fort long pour des phénomènes quantiques, et, pendant cette fraction de seconde de stabilité, des particules élémentaires pourraient s'engouffrer dans le trou de ver, remonter dans le temps et déboucher dans d'autres régions de l'Univers. Un physicien très sérieux, Richard Feynman, a même suggéré que l'espace-temps fût entièrement formé de microtrous noirs et de microtrous de ver interconnectés et l'Univers, constitué d'une seule particule élémentaire, un seul électron, occupé à voyager comme un fou dans le temps et dans l'espace. Cet électron unique emprunterait tous les chemins possibles entre tous les microtrous de ver et il nous apparaîtrait sous la forme de plusieurs milliards de milliards de particules différentes alors que ce serait toujours le même. Un peu comme si un client unique avait

Micro buchi neri e wormhole

Che cos'è un buco nero? Un grande accumulo di materia ultra concentrata. Ma che cosa succede se si ha un piccolo accumulo di materia ultra concentrata? Si avrebbe un buco nero nano.

Alcuni teorici pensano che quelle creature esistano. Questi buchi neri microscopici si sarebbero formati non durante il collasso delle stelle, ma nei primi secondi dell'Universo, subito dopo il Big Bang. Nelle condizioni incredibili dell'epoca, si sarebbero potute formare miriadi di micro buchi neri più piccoli di un nucleo atomico. A quella scala, interverrebbero alcuni fenomeni di fisica quantistica, assenti nei buchi neri classici, che potrebbero garantire la stabilità relativa di collegamenti come dei micro buchi neri collegati a dei micro buchi bianchi attraverso dei micro wormhole. Queste strutture potrebbero formarsi e sopravvivere qualche frazione di secondo, che è lungo per dei fenomeni quantistici e, durante questa frazione di secondo di stabilità, delle particelle elementari potrebbero accumularsi nel wormhole, risalire nel tempo e condurre ad altre regioni dell'Universo. Un fisico molto importante, Richard Feynman, ha anche proposto che lo spazio-tempo fu completamente formato da micro buchi neri e da micro wormhole collegati e l'Universo, costituito da una sola particella elementare, un solo elettrone, impegnato a viaggiare come un pazzo nel tempo e nello spazio. Questo elettrone unico percorrerebbe tutte le vie possibili tra tutti i micro wormhole e ci apparirebbe sotto forma di molti miliardi di miliardi di particelle diverse quando invece sarebbe sempre la stessa. Un po' come se un unico cliente avesse affittato tutte le camere di un albergo e riuscisse ad occuparle tutte nello stesso momento, perché, ogni

loué toutes les chambres d'un hôtel et parvenait à les occuper simultanément, car, chaque fois qu'il en a occupé une pendant une nuit, il déclenche sa machine à voyager dans le temps, se projette en arrière et se présente à nouveau à la réception pour occuper la suivante. Ou, encore, comme si l'esprit humain n'existait qu'en un seul exemplaire mais apparaissait dans 7 milliards de véhicules différents, moyennant autant de boucles temporelles. Un seul esprit et 7 milliards de miroirs ambulants, au moins cette conception tendrait-elle à rendre l'humanité moins belliqueuse, car ce que vous feriez à autrui, ce serait en vérité à vous-même que vous le feriez.

Dans un microtrou noir, le grossissement par absorption de matière est négligeable car le rayon d'action est bien trop petit. Il n'y a rien à se mettre sous la dent à cette échelle-là, le monde atomique étant essentiellement constitué de vide. Il y a proportionnellement beaucoup plus d'espace vide dans un atome que dans un système stellaire ou une galaxie, c'est dire ! En revanche, des phénomènes quantiques obligent les microtrous noirs à perdre de la matière – on dit qu'ils « s'évaporent ». Lorsqu'il fit cette découverte théorique, Stephen Hawking la trouva si saugrenue qu'il refit plusieurs fois tous les calculs. Mais le résultat s'incrusta. Un microtrou noir s'évapore en émettant des particules. Il s'évapore d'autant plus rapidement que sa masse est plus faible. Un trou noir de 1 tonne doit s'évaporer en un dix milliardième de seconde, un trou noir de 1 million de tonnes subsiste trois ans, et un trou qui pourrait vivre plus de 14 milliards d'années (condition *sine qua non* pour que nous puissions l'observer aujourd'hui) doit avoir au minimum 1 milliard de tonnes. Et il s'agit toujours de trous noirs de calibre minuscule

volta che ne ha occupata una per una notte, accende la sua macchina del tempo, si proietta indietro e si presenta di nuovo alla reception per occupare la prossima. O, meglio, come se la mente umana esistesse in un solo esemplare, ma apparisse in 7 miliardi di veicoli diversi, attraverso altrettanti anelli temporali. Una sola mente e 7 miliardi di specchi ambulanti, almeno questa concezione tenderebbe a rendere l'umanità meno bellicosa, perché quello che fareste ad altri, lo fareste in realtà a voi stessi.

In un micro buco nero, l'accrescimento attraverso l'assorbimento di materia è irrilevante poiché il raggio d'azione è troppo piccolo. Non c'è nulla da mettere sotto i denti a quella scala, il mondo atomico è essenzialmente costituito da vuoto. In proporzione c'è molto più spazio vuoto in un atomo che nel sistema stellare o in una galassia, questo per dire! Al contrario, dei fenomeni quantistici obbligano i micro buchi neri a perdere della materia – si dice che “evaporano”. Quando fece questa scoperta teorica, Stephen Hawking la trovò così bizzarra che rifece molte volte tutti i calcoli. Ma il risultato si confermò. Un micro buco nero evapora emettendo delle particelle. Evapora così rapidamente che la sua massa è più ridotta. Un buco nero di 1 tonnellata deve evaporare in un decimillesimo di secondo, un buco di 1 milione di tonnellate rimane tre anni, e un buco che potrebbe vivere più di 14 miliardi di anni (condizione *sine qua non* per cui potremmo osservarlo oggi) dev'essere come minimo 1 miliardo di tonnellate. Si tratta sempre di buchi neri di calibro minuscolo rispetto a quello dei loro fratelli maggiori astronomici (di cui i

comparé à celui de leurs grands frères astronomiques (dont les plus petits valent au moins 3 masses solaires). Un microtrou noir de 1 milliard de tonnes, c'est la masse d'une montagne ou d'un astéroïde de quelques kilomètres, mais concentrée dans le volume d'un seul proton.

Ces microtrous noirs sont-ils répandus autour de nous ? La question est ouverte, et la chasse aussi. La fin de l'évaporation d'un tel microtrou noir devant se solder par un rayonnement très énergétique qui serait détectable à 30 années-lumière à la ronde, tous les espoirs sont permis. Reste à reconnaître leur signature dans le brouhaha des rayonnements cosmiques – un travail d'autant plus exténuant qu'on ne sait pas très bien à quoi ce rayonnement doit ressembler.

Mais il y a une autre voie d'approche, beaucoup plus directe : quitte à chercher quelque chose, pourquoi ne pas le fabriquer nous-mêmes ? Le Big Bang, les galaxies, les étoiles et même la plus chétive planète sont autant de phénomènes qui nous dépassent complètement ; inutile de rêver à la moindre expérience grandeur nature sur ces sujets écrasants. Mais un tout petit microtrou noir de rien du tout, ne pourrait-on pas arriver à se l'offrir ? L'énergie nécessaire pour en produire un de la variété la plus petite serait-elle accessible dans l'accélérateur de particule LHC du CERN²²⁶ en cours de rodage ? Deux protons extrêmement accélérés, au point d'atteindre dix mille fois leur énergie habituelle, ne pourraient-ils pas, lorsqu'ils entrent en collision, fusionner en un microtrou noir artificiel ? Cela a en effet

più piccoli valgono almeno 3 masse solari). Un micro buco nero di 1 miliardo di tonnellate, è la massa di una montagna o di un asteroide di qualche kilometro, ma concentrata nel volume di un solo protone.

Questi micro buchi neri sono diffusi attorno a noi? La questione è aperta, e anche la caccia. La fine dell'evaporazione di un tale micro buco nero che deve avere per risultato una radiazione molto energetica, sarebbe rilevabile a 30 anni-luce di distanza, ogni speranza è concessa. Resta da riconoscere la loro traccia nel caos delle radiazioni cosmiche – un lavoro molto più estenuante di quanto non sia molto chiaro a cosa debba assomigliare questa radiazione.

Ma c'è un altro modo di approccio, molto più diretto: se dovete cercare qualcosa, perché non crearcelo da soli? Il Big Bang, le galassie, le stelle ed anche il pianeta più fragile sono così tanti fenomeni che ci superano completamente; inutile sognare la benché minima esperienza pratica su questi temi travolgenti. Ma un micro buco nero molto piccolo, da nulla, non potremo riuscire a permettercelo? L'energia necessaria per crearne uno della specie più piccola sarebbe disponibile nell'acceleratore di particelle LHC del CERN²²⁶ in corso di rodaggio? Due protoni estremamente accelerati, al punto di raggiungere dieci mila volte la loro energia abituale, non potrebbero, quando entrano in collisione, fondersi in un micro buco nero artificiale? Questo effettivamente è stato considerato, ma bisognerebbe che alcune ipotesi

²²⁶ <http://public.web.cern.ch/Public/fr/LHC/LCH-fr.html>

été envisagé, mais il faudrait que certaines hypothèses théoriques extrêmement invraisemblables soient vérifiées. En effet, dans le cadre normal de la relativité générale, les énergies atteintes au CERN seront de très loin insuffisantes pour fabriquer même le trou noir le plus petit. Mais, si on remplace cette théorie par une version très spéciale de la théorie des cordes (théorie qui a pour ambition de remplacer la relativité générale pour décrire la gravitation à très petite échelle, voir plus loin), on a une chance réelle de voir se former des trous noirs microscopiques et très éphémères : ils s'évaporeront en une fraction de seconde, laissant une signature explosive et ce, au rythme de un par seconde environ. Ce serait une avancée spectaculaire, confirmant d'une expérience deux hypothèses : les microtrous noirs et la théorie des cordes.

À l'annonce de ce projet, un vent de panique s'est levé dans les médias friands d'annonces sensationnelles, s'inquiétant qu'un microtrou noir créé artificiellement sur Terre risque d'engloutir la planète tout entière. Puisque l'évaporation d'un microtrou noir n'a jamais été observée, disent-ils, comment être sûr que celle-ci aura bien lieu ? Le trou noir ne pourrait-il pas faire de la Terre un bon casse-croûte ?

Oltre les arguments théoriques qui interdisent cette eventualité, notamment le rayon d'action microscopique et le fait qu'un trou noir ne peut pas avaler de la matière à un taux arbitrairement grand, il convient de remarquer que les conditions prévues pour fabriquer ces microtrous noirs se retrouvent à l'identique dans la haute atmosphère, lorsque des rayons cosmiques très énergétiques percutent les noyaux atomiques. Et, si des microtrous noirs sont créés par ces collisions, il est manifeste qu'ils n'ont

teoriche estremamente inverosimili siano verificate. In realtà, nel quadro normale della relatività generale, le energie realizzate al CERN saranno molto insufficienti per creare anche il più piccolo buco nero. Ma, se si sostituisce questa teoria con una versione molto particolare della teoria delle stringhe (teoria che mira a sostituire la relatività generale per descrivere la gravità su piccola scala, vedere inseguito), si ha una possibilità reale di vedere il formarsi dei buchi neri microscopici e molto effimeri: essi evaporeranno in una frazione di secondo, lasciando una traccia esplosiva e questo, alla velocità di uno al secondo circa. Sarebbe un progresso spettacolare: confermando da un esperimento due ipotesi: i micro buchi neri e la teoria della stringhe.

All'annuncio di questo progetto, un'ondata di panico si è levata nei mass-media appassionati di annunci sensazionali, preoccupandosi che un micro buco nero creato artificialmente sulla Terra rischi di inghiottire l'intero pianeta. Dato che l'evaporazione di un micro buco nero non è mai stata osservata, dicono, com'essere sicuro che questa si verificherà? Il buco nero non potrebbe fare della Terra un bel bocconcino?

Oltre alle ragioni teoriche che vietano questa possibilità, il microscopico raggio d'azione e il fatto che un buco nero non possa ingoiare della materia ad un livello arbitrariamente elevato, conviene constatare che le condizioni previste per creare questi micro buchi neri si ritrovino nella stessa alta atmosfera, quando dei raggi cosmici molto energetici colpiscono i nuclei atomici. E, se dei micro buchi neri sono creati da queste collisioni, è chiaro che non hanno ancora masticato la Terra!

pas encore mastiqué la Terre !

Il faut se rendre à l'évidence : soit ces trous noirs minimes existent, et dans ce cas ils existent depuis longtemps sans avoir nui en quoi que ce soit au destin de la Terre, soit ils n'existent pas, et nous ne sommes pas près de parvenir à les fabriquer. Dans les deux cas, le risque est nul.

Bisogna arrendersi all'evidenza: o questi buchi neri minimi esistono, e in questo caso esistono da molto tempo senza aver compromesso in alcun modo il destino della Terra, o non esistono, e noi siamo ben lungi dal riuscire a crearli. In entrambi i casi, il rischio è nullo.

Traduction de *Les galaxies* de la page 201 à 223

Les galaxies

Maintenant que nous connaissons bien les faits et gestes des étoiles, nous voudrions comprendre dans quel panorama général s'inscrivent leurs prestations. Peut-on savoir pour quel genre de film elles déploient les grandes scènes de leur répertoire : naissance nébuleuse, vie dispendieuse, mort spectaculaire, recyclage des cadavres ?

Répondre à cette question requiert une longue et acrobatique enquête, à la limite de l'insensé. Demande-t-on au plancton de dresser une carte de l'océan ? Non, il flotte, insouciant. L'humain, lui, ne se satisfait pas de flotter benoîtement dans l'Univers, il veut percer des mystères de taille XXL et s'échine à déchiffrer ce que lui révèle la minuscule lueur des chandelles.

Grâce aux instruments comme le télescope spatial, en choisissant une toute petite surface du ciel profond, on peut prendre des clichés astronomiques qui moissonnent non pas des champs d'étoiles mais des champs de galaxies. Il s'agit d'un nouveau changement d'échelle par rapport au chapitre précédent. Sur un tel cliché²²⁷, chacun des petits objets détectés n'est pas une étoile, mais une galaxie entière, comparable à la nôtre, comprenant des dizaines de milliards d'étoiles. Et la surface du cliché ne repré-

Le galassie

Adesso che conosciamo bene i fatti e le gesta delle stelle, vorremmo capire in quale panorama generale s'inseriscono le loro prestazioni. Possiamo sapere per quale genere di film esse compiono le grandi scene del loro repertorio: nascita nebulosa, vita dispendiosa, morte spettacolare, riciclo dei cadaveri?

Rispondere a questa domanda richiede un'indagine lunga e acrobatica, al limite dell'insensato. Si chiede forse al plancton di elaborare una mappa dell'oceano? Certo che no, galleggia, spensierato. L'uomo non si accontenta di fluttuare beatamente nell'Universo, vuole scoprire dei misteri di taglia XXL e si esaurisce nel decifrare ciò che rivela la minuscola fiammella delle candele.

Grazie agli strumenti come il telescopio spaziale, scegliendo una superficie molto piccola del cielo profondo, si possono fare delle fotografie astronomiche che raccolgono non delle distese di stelle ma dei campi di galassie. Si tratta di un nuovo cambiamento di scala rispetto al capitolo precedente. In una fotografia²²⁷ del genere, nessuno dei piccoli oggetti rilevati è una stella, bensì un'intera galassia, paragonabile alla nostra, che comprende decine di miliardi di stelle. E la superficie della fotografia presenta

²²⁷ <http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap040309.html>

sente qu'une infime portion du ciel, pas plus grande qu'une tête d'épingle tenue à bout de bras. Quelques centaines de galaxies sont visibles, mais il y en a des dizaines de milliers, extrêmement lointaines, qu'on devine tout juste à l'arrière-plan sous forme de grains légèrement colorés. On peut dire que chaque pixel de l'image recouvre une galaxie. L'Univers est tellement dense en galaxies que, vues de loin, elles forment une tapisserie continue. On estime qu'il y a 100 à 200 milliards de galaxies dans la région de l'Univers qui nous est accessible et qu'on appelle « l'Univers observable ».

Réalisez bien ce qui se passe. Nous nous trouvons dans une société d'étoiles en forme de roue, la Voie lactée. Toutes les étoiles que nous voyons à l'œil nu font partie de cette roue. Mais, lorsqu'on pointe un télescope entre elles - sur une partie « noire », donc -, on découvre que l'arrière-plan contient des objets très lointains qui sont d'autres galaxies. Et il y en a tellement qu'elles couvrent toute la surface disponible. Le fond du ciel, qui paraît noir, est en fait un tapis serré de minuscules lueurs. Chaque point cache un bouquet d'étoiles perché à plus ou moins grande distance de nous.

C'est le deuxième grand zoom arrière de notre randonnée dans le cosmos. Lors du premier, nous étions sortis du système solaire pour constater que celui-ci faisait partie d'une roue immense, la Voie lactée, contenant 100 milliards d'autres étoiles. Cette fois, nous sortons de la grande roue pour constater qu'elle fait partie d'une mégastucture colossale, l'Univers, contenant plus de 100 milliards d'autres galaxies. Nous allons maintenant nous intéresser à cette mégastucture, nous demander comment elle est orga-

solo un'infima porzione di cielo, non più grande della capocchia di uno spillo tenuto alla distanza di un braccio. Sono visibili alcune centinaia di galassie, ma altre decine di migliaia, estremamente lontane, si distinguono appena sullo sfondo sotto forma di granelli leggermente colorati. Si può dire che ogni pixel dell'immagine ricopra una galassia. L'Universo è così pieno di galassie che, viste da lontano, formano una tappezzeria continua. Si stima che ci siano da 100 a 200 miliardi di galassie nella regione dell'Universo che ci è accessibile e che si chiama "l'Universo osservabile".

Capite bene cosa succede. Noi ci troviamo in una società di stelle a forma di ruota, la Via Lattea. Tutte le stelle che vediamo ad occhio nudo fanno parte di questa ruota. Ma, quando si punta il telescopio tra loro, ovvero su una parte "nera", si scopre che lo sfondo contiene degli oggetti molto lontani, che sono altre galassie. E ce ne sono così tante che coprono tutta la superficie disponibile. Il fondo del cielo, che sembra nero, è infatti un tappeto pieno di minuscole lucine. Ogni punto nasconde un bouquet di stelle posto ad una distanza più o meno grande rispetto a noi.

È il secondo grande zoom indietro della nostra passeggiata nel cosmo. Al momento del primo, eravamo usciti dal sistema solare per constatare che faceva parte di una ruota immensa, la Via Lattea, che contiene 100 miliardi di altre stelle. Questa volta, usciamo dalla grande ruota per constatare che fa parte di una megastuctura colossale, l'Universo, che contiene più di 100 miliardi di altre galassie. Adesso ci interesseremo a questa megastuctura, ci chiederemo com'è organizzata e qual è il destino

nisée et quel est le destin des galaxies qui la composent. Ont-elles aussi une naissance, une vie, une mort ? Quelles sont les relations entre elles ? Forment-elles des sociétés à leur tour ? Quel motif compose le tableau global de l'Univers ? Une grappe ? Une guirlande ? Un grand-huit ? Un pied de nez ?

Les galaxies sont de formes et de couleurs diverses. Les plus proches de nous se situent à quelques dizaines de millions d'années-lumière, et les plus lointaines, à plus de 10 milliards. Les seules visibles à l'œil nu sont la galaxie d'Andromède dans l'hémisphère Nord et les deux Nuages de Magellan dans l'hémisphère Sud, qui apparaissent sous forme de petites taches floues. Vous les verriez, vous seriez tenté de hausser les épaules. Ces maigres halos diffus et peu lumineux ne ressemblent à rien ; c'est vraiment l'une des choses les moins spectaculaires qu'on puisse voir dans un beau ciel d'été — et seulement sans Lune ni pollution lumineuse. Ce sont pourtant les seules preuves directes de la profondeur réelle de l'Univers, les seuls messages extragalactiques offerts à nos faibles pupilles. Pour les Robinsons que nous sommes, Andromède et Magellan sont les seuls signaux provenant d'une autre île que la nôtre.

Au XVIII^e siècle, les astronomes avaient déjà repéré à travers la lunette quelques objets flous, qu'ils ont nommés « nébuleuses » en raison de leur aspect diffus et de leur mystère qui ne l'était pas moins. Ils ne savaient pas s'il s'agissait d'objets proches dans notre Voie lactée ou bien de galaxies extérieures. Ce n'est qu'en 1925 qu'elles furent identifiées de façon sûre comme d'autres galaxies, par Edwin Hubble.

delle galassie che la compongono. Hanno anche loro una nascita, una vita, una morte? Quali sono le relazioni tra loro? Formano a loro volta delle società? Quale disegno costituisce il quadro globale dell'Universo? Un grappolo? Un filo di luci? Una montagna russa? Fa marameo?

Le galassie sono di forma e colori differenti. Le più vicine a noi si trovano a qualche decina di milioni di anni luce, e le più lontane, a più di 10 miliardi. Le sole visibili ad occhio nudo sono la galassia di Andromeda nell'emisfero nord e le due Nubi di Magellano nell'emisfero sud, che appaiono sotto forma di piccole macchie sfocate. Sarete tentati di alzare le spalle, se le vedete. Questi miseri aloni diffusi e poco luminosi non assomigliano a niente; è davvero una delle cose meno spettacolari che si possa vedere in un bel cielo d'estate — e soltanto senza Luna né inquinamento luminoso. Tuttavia, sono le sole prove dirette della profondità reale dell'Universo, i soli messaggi extra galattici offerti alle nostre modeste pupille. Per i Robinson che siamo, Andromeda e Magellano sono i soli segnali che provengono da un'altra isola rispetto alla nostra.

Nel XVIII secolo, gli astronomi avevano già scoperto attraverso il telescopio alcuni oggetti sfocati, che hanno chiamato “nebulose” per il loro aspetto indefinito, e per il loro mistero che non era da meno. Non sapevano se si trattasse di oggetti vicini nella nostra Via Lattea oppure di galassie esterne. Solo nel 1925 furono identificate in modo sicuro come altre galassie, da Edwin Hubble.

Dès ce moment, c'est en observant ces autres galaxies qu'on a pu se faire une impression de la nôtre. Difficile en effet de saisir ce dans quoi l'on est profondément immergé ; mais, en voyant un autre exemple, on est mieux informé. De même que, sans miroir, vous testerez sur quelqu'un d'autre le chapeau que vous voulez acheter, ainsi les galaxies voisines nous ont-elles renseignés sur la nôtre.

Types de galaxies

Chaque galaxie est unique en taille, en forme et en aménagement intérieur, mais, l'esprit humain ayant besoin de ranger les objets singuliers dans des catégories, on distingue en gros trois types de morphologies galactiques : spirales, elliptiques et irrégulières. Un peu comme on dirait les blondes, les brunes, les rousses.

Les *galaxies spirales*, comme la Voie lactée, comportent un disque, un bulbe et un halo²²⁸. Le disque est structuré en plusieurs bras spiralés. Parfois, ces bras s'attachent sur une barre centrale, on parle alors de « spirales barrées ».

Les *galaxies irrégulières*, comme les Nuages de Magellan, sont aplaties mais moins structurées, un peu comme des spirales sans bulbe et sans halo²²⁹.

Da quel momento, è stato osservando queste altre galassie che ci si è potuti fare un'impressione della nostra. Difficile infatti capire in che cosa siamo profondamente immersi; ma vedendo un altro esempio, si è informati meglio. Così come, senza specchio, proverete su qualcun altro il cappello che volete comprare, anche le galassie vicine ci hanno informati sulla nostra.

Tipi di galassie

Ogni galassia è unica in dimensione, forma e struttura interna, ma la mente umana avendo bisogno di riordinare i singoli oggetti in categorie, si distinguono fondamentalmente tre tipi di morfologie galattiche: spirali, ellittiche e irregolari. Un po' come diremmo le bionde, le more e le rosse.

Le *galassie spirali*, come la Via Lattea, presentano un disco, un bulbo e un alone²²⁸. Il disco è strutturato in più bracci a spirale. A volte, questi bracci si attaccano ad una barra centrale, allora si parla di “spirali barrate”.

Le *galassie irregolari*, come le Nubi di Magellano, sono appiattite ma meno strutturate, un po' come delle spirali senza bulbo e senza alone²²⁹.

²²⁸ Splendide galerie d'images sur http://hubblesite.org/gallery/album/galaxy_collection/spiral_/
Meravigliosa galleria d'immagini su http://hubblesite.org/gallery/album/galaxy_collection/spiral_/

²²⁹ Galerie d'images sur http://hubblesite.org/gallery/album/galaxy_collection/irregular_/
Galleria di immagini su http://hubblesite.org/gallery/album/galaxy_collection/irregular_/

Les *galaxies elliptiques*, au contraire, présentent un gros bulbe, un gros halo et pas de disque²³⁰. Ce sont des galaxies épaisses, dont la forme va de la sphère à la savonnette. Les elliptiques peuvent être colossales, jusqu'à cinq ou six fois la Voie lactée, ou au contraire très petites, auquel cas elles sont souvent satellisées autour de galaxies plus grandes, spirales ou elliptiques géantes.

Les galaxies elliptiques contiennent beaucoup moins de gaz que les autres. On pense que la production d'étoiles a été très précoce dans ces galaxies, consommant tout le gaz et l'empêchant de s'aplatir en disque (car c'est la gravitation interne au nuage de gaz qui cause cet effondrement). Les galaxies elliptiques auraient donc des caractères impatientes, fabriquant dès la première heure des étoiles à un taux si élevé que le gaz s'épuise littéralement avant qu'un disque ne puisse se former. Les spirales, au contraire, auraient connu un démarrage moins précipité, conduisant à l'aplatissement du disque avant la phase de production massive d'étoiles. Quand le taux de natalité stellaire est plus faible, le gaz en rotation s'aplatit sous son propre poids avant de se condenser localement. Se condenser avant de s'aplatir ou s'aplatir avant de se condenser, *that is the question* pour les galaxies.

Quant aux irrégulières, elles figureraient un cas intermédiaire, ne sachant choisir entre les deux stratégies et faisant deux à la fois.

Mais nous allons voir que la forme des galaxies n'est pas seu-

Le *galassie ellittiche*, al contrario, presentano un grande bulbo, un grande alone e nessun disco²³⁰. Sono delle galassie spesse, la cui forma va dalla sfera alla saponetta. Le ellittiche possono essere colossali, fino a cinque o sei volte la Via Lattea, o al contrario molto piccole: in quel caso sono di solito come dei satelliti attorno alle galassie più grandi, spirali o ellittiche giganti.

Le galassie ellittiche contengono molto meno gas delle altre. Si pensa che la produzione di stelle sia stata molto precoce in queste galassie, consumando tutto il gas e impedendogli di appiattirsi a forma di disco (perché è la gravità interna alla nube di gas che causa questo collasso). Le galassie ellittiche avrebbero pertanto dei caratteri impazienti, creando fin dal primo momento delle stelle con un livello così elevato che il gas si esaurisce letteralmente, prima che un disco non possa formarsi. Le spirali, al contrario, avrebbero conosciuto un inizio meno precipitoso, che ha portato all'appiattimento del disco prima della fase di produzione massiccia di stelle. Quando il tasso di natalità stellare è più basso, il gas in rotazione si appiattisce sotto il suo stesso peso prima di condensarsi localmente. Condensarsi prima di appiattirsi o appiattirsi prima di condensarsi, *that is the question* per le galassie.

Quanto a quelle irregolari, risultano un caso intermedio, non sapendo scegliere tra le due strategie e facendo entrambe.

Ma vedremo che la forma delle galassie non è dovuta soltanto

²³⁰ Galerie d'images sur http://hubblesite.org/gallery/album/galaxy_collection/elleptical/
Galleria di immagini su http://hubblesite.org/gallery/album/galaxy_collection/elleptical/

lement due à leur métabolisme interne. Les rencontres qu'elles feront après leur naissance joueront un rôle déterminant dans leur destin.

Certaines galaxies présentent des caractéristiques particulières, telle une population de top models qui se remarquent de loin. Ce sont les *galaxies à noyau actif*²³¹, des galaxies dont le noyau est extrêmement dense et lumineux (cent mille fois plus brillant que celui de la Voie lactée). Leur puissance de rayonnement serait due à la présence d'un trou noir supergéant qui absorbe de grandes quantités de gaz, qui s'échauffe violemment et brille avant de disparaître dans le puits gravitationnel.

Parmi elles, les *quasars* sont les plus puissants phares de l'Univers. Quant aux *radiogalaxies*, elles émettent des jets de gaz jusqu'à des milliers d'années-lumière de distance. Elles sont aussi centrées sur un trou noir géant en rotation rapide qui absorbe de la matière à l'équateur et en recrache une partie dans l'axe des pôles en un puissant faisceau détectable en ondes radio et infrarouge.

Reconnaissons que, pour un astre invisible, le trou noir est décidément la cause de bien de flonflons spectaculaires.

al loro metabolismo interno. Gli incontri che faranno dopo la loro nascita giocheranno un ruolo determinante nel loro destino.

Alcune galassie presentano delle caratteristiche particolari, come una popolazione di top model che si nota da lontano. Sono le *galassie a nucleo attivo*²³¹, delle galassie il cui nucleo è estremamente denso e luminoso (cento mila volte più luminoso di quello della Via Lattea). La loro potenza di irraggiamento sarebbe dovuta alla presenza di un buco nero supermassiccio che assorbe delle grandi quantità di gas, che si riscaldano bruscamente e brillano prima di sparire nel pozzo gravitazionale.

Tra loro, i *quasar* sono i più potenti fari dell'Universo. Quanto alle *radiogalassie*, emettono dei getti di gas fino a migliaia di anni luce di distanza. Esse sono anche concentrate su un buco nero gigante in rotazione veloce che assorbe materia all'equatore e ne sputa fuori una parte nell'asse dei poli in un potente fascio rilevabile a onde radio e infrarosso.

Riconosciamo che, per essere un astro invisibile, il buco nero è decisamente la causa di molti motivetti spettacolari.

²³¹ Galerie d'images sur http://hubblesite.org/gallery/album/galaxy_collection/quasar_active_nucleus/
Galleria di immagini su http://hubblesite.org/gallery/album/galaxy_collection/quasar_active_nucleus/

La matière des galaxies

En première approche, les galaxies apparaissent comme des lustres suspendus dans le ciel, et il est bien normal que les astronomes se soient d'abord intéressés aux sources de leur éclat : les étoiles. Mais on s'est aperçu assez vite que celles-ci ne peuvent pas constituer le tout, ni même l'essentiel des galaxies. En effet, leur mouvement au sein des galaxies est anormal. Il ne correspond pas à ce qu'il devrait être si la masse des galaxies se limitait à la somme des masses des étoiles. Celles-ci sont beaucoup trop rapides. À cette vitesse-là, et pour cette masse-là, elles devraient fuser en tous sens comme les gouttes d'eau autour d'un chien qui s'ébroue. Pour expliquer les vitesses de rotation des étoiles sans que la structure se disloque, il faut nécessairement postuler une masse totale très supérieure à la masse visible. Seul un corps en plomb pourrait expliquer que les gouttes d'eau ne quittent pas le chien cosmique. C'est la fameuse énigme de la matière noire.

De nombreuses pistes ont été explorées pour débusquer cette matière manquante, qui se résumait en deux grands scénarios, devenus complémentaires.

D'une part, il y aurait de la matière noire « ordinaire », composée d'atomes et de molécules classiques, mais qui restent invisibles parce qu'ils ne brillent pas. C'est le cas des nuages de gaz et de poussières, des naines brunes et des planètes, des naines blanches et des naines noires, et enfin des trous noirs.

D'autre part, il y aurait de la matière noire « exotique », qui ne

La materia delle galassie

A prima vista, le galassie appaiono come dei chiarori sospesi nel cielo, ed è normale che all'inizio gli astronomi si siano interessati alle sorgenti del loro bagliore: le stelle. Ma ci si è resi conto abbastanza presto; che esse non potevano costituire il tutto, né la maggior parte delle galassie. Infatti, il loro movimento all'interno delle galassie è anomalo. Esso non corrisponde a quello che dovrebbe essere, se la massa delle galassie si limitasse alla somma delle masse delle stelle. Queste sono molto più rapide. A quella velocità, e per quella massa, dovrebbero separarsi in tutte le direzioni, come delle gocce d'acqua attorno ad un cane che si scrolla. Per spiegare le velocità di rotazione delle stelle, senza che la struttura si disgregi, bisogna necessariamente postulare una massa totale molto superiore alla massa visibile. Solo un corpo in piombo potrebbe spiegare che le gocce d'acqua non lasciano il cane cosmico. È il famoso enigma della materia oscura.

Numerose piste sono state esplorate per scovare questa materia mancante, che si riassumono in due grandi scenari, diventati complementari.

Da un lato, ci sarebbe la materia oscura "ordinaria", composta da atomi e da molecole classiche, ma che restano invisibili perché non brillano. È il caso delle nubi di gas e di polveri, delle nane brune e dei pianeti, delle nane bianche e delle nane nere, e infine dei buchi neri.

Dall'altro lato, ci sarebbe la materia nera "esotica", che non sa-

serait pas composée d'atomes ordinaires.

La matière noire ordinaire on sait qu'il y en a. Notre planète est une grosse boule de matière noire ordinaire ; nous sommes nous-mêmes, ne vous en déplaise, de minuscules grumeaux de matière noire ordinaire. Le problème est de déterminer combien il y en a.

Dans le système solaire, nous savons que le Soleil concentre 99 % de toute la matière ordinaire disponible (soit 99 % de matière brillante pour 1% de matière noire). C'est pourquoi nous avons pris l'habitude de compter la matière noire ordinaire pour quantité négligeable. Mais ce n'est pas du tout le cas à d'autres échelles de grandeur. À l'échelle des galaxies, il existe, on l'a vu, des nuages de gaz et de poussières qui occupent de vastes espaces vides entre les étoiles. C'est donc vers ces zones vides qu'on a orienté les recherches, ainsi que vers les banlieues des galaxies, ces zones trop peu fournies pour former des étoiles, mais sans doute bien trop pleines pour ne pas peser dans la balance.

Après des années de chasse à la matière noire ordinaire, on a récolté beaucoup d'indices, car cette matière, si elle ne brille pas en lumière visible, émet du rayonnement dans d'autres longueurs d'onde : infrarouge, radio... Un cliché de la galaxie spirale Messier 83, qui mesure quelques dizaines de milliers d'années-lumière dans le visible, révèle une taille cinq fois plus grande lorsqu'on l'observe en ondes radio²³². Les bras de la galaxie terminés par une rarefaction d'étoiles sont en fait encore lourdement chargés d'une matière non brillante qui prolonge

rebbe composta da atomi ordinari.

La materia oscura ordinaria, si sa che c'è. Il nostro pianeta è una grande sfera di materia oscura ordinaria; noi stessi, che vi piaccia o no, siamo minuscoli agglomerati di materia oscura ordinaria. Il problema è determinare quanta ce n'è.

Nel sistema solare, sappiamo che il Sole concentra il 99% di tutta la materia ordinaria disponibile (sia il 99% di materia che brilla per l'1% di materia oscura). Ecco perché abbiamo preso l'abitudine di contare la materia oscura ordinaria in quantità trascurabile. Ma non è affatto il caso ad altre scale di grandezza. Alla scala delle galassie, l'abbiamo visto, esistono delle nubi di gas e di polveri che occupano vasti spazi vuoti tra le stelle. È dunque verso queste zone vuote che si sono orientate le ricerche, così come verso le periferie delle galassie, queste zone troppo poco fornite per formare delle stelle, ma senza dubbio troppo piene per non pesare sul piatto della bilancia.

Dopo anni di caccia alla materia oscura, si sono raccolti molti indizi, perché questa materia, se non brilla di luce visibile, emette della radiazione in altre lunghezze d'onda: infrarosso, radio... Un'immagine della galassia spirale Messier 83, che misura qualche decina di migliaia di anni luce nel visibile, rivela una dimensione cinque volte più grande di quella che si osserva in onde radio²³². I bracci della galassia chiusi da una rarefazione di stelle sono infatti ancora fortemente carichi di una materia che non brilla e che prolunga l'avvolgimento di più giri. Grandi quantità

²³² Cliché sur http://www.galex.caltech.edu/media/glx2008-01r_img01.html. Immagine su http://www.galex.caltech.edu/media/glx2008-01r_img01.html

l'enroulement de plusieurs tours. De grandes quantités de gaz et de poussières sont ainsi disséminées sur le pourtour et à l'intérieur de l'espace galactique. La partie visible de la galaxie, simple spirale de lumière, ressemble à une guirlande de lampions incrustée dans un grand carrousel de matière noire. Nous voyons seulement les ampoules, mais c'est toute la masse du carrousel qui tourne et tient ensemble sous l'effet de la gravitation, telle une grande structure en bois soutenant la guirlande.

Finalmente, des estimations répétées sur de nombreuses galaxies différentes permettent de fixer la quantité de matière noire ordinaire à environ dix fois la quantité de matière brillante (et cela comprend tous les trous noirs, supergéants et autres, qui sont massifs, mais peu nombreux, et au total ne pèsent pas très lourd). Malheureusement, ce n'est pas suffisant. Cette quantité de matière ne permet toujours pas d'expliquer la dynamique des étoiles au sein des galaxies. Il en faudrait encore dix fois plus !

Il faut donc qu'il y ait de la matière noire exotique. Bien qu'on observe ses effets gravitationnels, on n'a que des hypothèses théoriques sur sa composition. Cette matière noire serait constituée de particules élémentaires d'un type encore inconnu, qui n'émettent ni n'absorbent aucun rayonnement électromagnétique (sans quoi elles nous seraient déjà connues). En étroite union avec la matière ordinaire, cette matière exotique permettrait d'expliquer l'équilibre des galaxies (mais non de l'Univers tout entier, comme nous le verrons plus loin). Encore faut-il mettre la main dessus et célébrer le mariage.

Pendant longtemps, on a cru que le neutrino était le candidat par-

di gas e polveri sono così disseminate sull'estremità e all'interno dello spazio galattico. La parte visibile della galassia, semplice spirale di luce, assomiglia ad un filo di luci incastonate nella grande giostra di materia oscura. Vediamo solo le lampadine, ma è tutta la massa della giostra che ruota e tiene insieme per l'effetto della gravità, come una grande struttura di legno che sostiene il filo di luci.

Alla fine, delle stime ripetute su numerose galassie diverse permettono di fissare la quantità di materia oscura ordinaria a circa dieci volte la quantità di materia che brilla (e questo comprende tutti i buchi neri, supermassicci ed altri, che sono massicci, ma poco numerosi, e nell'insieme non pesano troppo). Purtroppo, questo non basta. Questa quantità di materia non sempre permette di spiegare la dinamica delle stelle all'interno delle galassie. Ce ne vorrebbe dieci volte di più!

Bisogna dunque che ci sia della materia oscura esotica. Sebbene si osservino i suoi effetti gravitazionali, si hanno solo delle ipotesi teoriche sulla sua composizione. Questa materia oscura sarebbe costituita da particelle elementari di un tipo ancora sconosciuto, che non emettono né assorbono alcun tipo di radiazione elettromagnetica (altrimenti sarebbero già conosciute). In stretta unione con la materia ordinaria, questa materia esotica permetterebbe di spiegare l'equilibrio delle galassie (ma non dell'intero Universo, come vedremo in seguito). Dobbiamo ancora metterci le mani sopra e celebrare il matrimonio.

Per molto tempo, si è creduto che il neutrino fosse il candidato

fait, le modèle du genre idéal à qui l'on s'apprêtait à ouvrir toutes grandes les portes de la maison. Ces particules émises en rafales lors du Big Bang et dans le cœur des étoiles, et qui interagissent avec rien, correspondaient à toutes les exigences, sans qu'on connaisse encore leur masse. On en compte en effet en moyenne quatre cents par centimètre cube d'espace, soit 30 % de plus que de grains de lumière. Il n'en fallait pas plus pour espérer qu'une fois connue la masse des neutrinos allait précisément combler le manque. Hélas ! il n'en est rien. Lorsque la masse des neutrinos a enfin été mesurée, elle était bien trop minime pour satisfaire les projets de mariage. Le candidat ne fait pas le poids. En tout et pour tout, les neutrinos pèsent à peine plus que la moitié de la matière visible, soit une miette de la part manquante.

Il faut chercher ailleurs. Toujours ailleurs. La quête devient exénuante, et la promesse, de plus en plus esseulée. On parle beaucoup actuellement du neutralino, une particule prédite par la théorie dite « supersymétrique », mais qui n'a pas encore été détectée. La chasse en est ouverte, dans les accélérateurs de particules.

La matière noire, quelle qu'elle soit, a très probablement présidé à la naissance des galaxies. En effet, insensible au rayonnement, elle a pu commencer à se condenser très tôt après le Big Bang, sous l'effet de la gravitation, alors que la matière ordinaire en était empêchée par ses interactions avec le rayonnement intense de cette époque. Ce n'est que lorsqu'ils ont été suffisamment refroidis que les atomes ont pu commencer à se condenser. Et sans doute l'ont-ils fait alors, tout naturellement, en rejoignant des îlots de matière noire qui s'étaient déjà formés.

perfeito, il modello di genere ideale al quale ci si preparava ad aprire le porte di casa. Queste particelle emesse a raffica al momento del Big Bang e nel nucleo delle stelle, e che non interagivano con niente, soddisfacevano ogni esigenza, senza che si conoscesse ancora la loro massa. Infatti, se ne contano in media quattrocento per centimetro cubo di spazio, ossia il 30% in più rispetto ai granelli di luce. Non restava che sperare, che una volta conosciuta la massa dei neutrini, essa andasse proprio a colmare il divario. Ahimè, non è così. Quando la massa dei neutrini è stata finalmente misurata, era troppo minima per soddisfare i progetti di matrimonio. Il candidato non poteva competere. In tutto e per tutto, i neutrini pesano poco più della metà della materia visibile, è una briciola della parte che manca.

Bisogna cercare altrove. Sempre altrove. La ricerca diventa estenuante, e la sposa, sempre più desolata. Attualmente, si parla molto del neutralino, una particella prevista dalla teoria detta “della supersimmetria”, ma che non è ancora stata rilevata. La caccia è ancora aperta, negli acceleratori di particelle.

La materia oscura, qualunque essa sia, ha molto probabilmente presieduto alla nascita delle galassie. Infatti, insensibile alla radiazione, essa ha potuto cominciare a condensarsi subito dopo il Big Bang, per effetto della gravità, mentre la materia ordinaria era ostacolata dalle sue interferenze con la radiazione intensa di quest'epoca. Solo quando sono stati sufficientemente raffreddati, gli atomi hanno potuto cominciare a condensarsi. E sicuramente l'hanno fatto, in modo del tutto naturale, unendosi a queste isole di materia oscura che si erano già formate.

Pour le bilan de la matière dans les galaxies, on en arrive donc au tableau suivant : 1 % de matière visible (matière classique brillante, c'est-à-dire les étoiles), 9 % de matière noire ordinaire (matière classique invisible, c'est-à-dire tout le reste) et 90 % de matière noire exotique (les particules de type inconnu). 1% de visible, 9 % d'invisible, 90 % de fantômes.

Ces catégories sont liées, bien sûr, à nos moyens de perception : visible, ce que nous voyons, à l'œil ou au télescope optique ; invisible, ce que nous détectons dans d'autres longueurs d'ondes ; fantômes, ce que nous ne voyons ni ne détectons.

Serions-nous fabriqués autrement, l'Univers serait peut-être sens dessus dessous. Il suffirait que nous ayons des yeux pour les ondes radio ou les rayons X, à l'exclusion du reste, pour que l'Univers nous apparaisse fort différent. Et il y a peut-être, au sein de la matière noire exotique, des civilisations qui se demandent de quoi peuvent bien être faits les 10% de matière manquante. Au moins sont-ils satisfaits de connaître la plus grande part du monde, tandis que nous, avec nos 90 % d'inconnu, sommes plutôt les dindons de la farce...

À moins que tout ce feuilleton autour de la matière noire ne soit fondé sur un quiproquo ? Certains physiciens commencent à penser que, si les étoiles et les galaxies ont le mouvement qu'elles ont, ce n'est pas parce que, leur masse réelle nous échappe, mais parce que les lois de leur mouvement ne sont pas celles que nous croyons.

Les lois de la gravitation qui découlent de la relativité générale

Per il bilancio della materia oscura nelle galassie, si giunge al quadro che segue: l'1% di materia visibile (materia classica che brilla, ovvero le stelle), il 9% di materia oscura ordinaria (materia classica invisibile, ovvero tutto il resto) e il 90% di materia oscura esotica (particelle di tipo sconosciuto). L'1% di visibile, il 9% d'invisibile, il 90% di fantasmi.

Certo, queste categorie sono legate ai nostri mezzi di percezione: visibile, ciò che vediamo, ad occhio nudo o al telescopio ottico; invisibile, quello che rileviamo ad altre lunghezze d'onda; fantasmi, ciò che non vediamo né rileviamo.

Saremmo creati in modo diverso, l'Universo sarebbe potuto essere tutto sottosopra. Basterebbe avere degli occhi per le onde radio o i raggi X, ad esclusione del resto, perché l'Universo ci apparisse molto diverso. E forse ci sono, all'interno della materia oscura esotica, delle civiltà che si chiedono di cosa possa essere fatto il 10% della materia mancante. Almeno sono soddisfatti di conoscere la maggior parte del mondo, invece noi, con il nostro 90% di sconosciuto, siamo piuttosto le vittime della situazione...

A meno che tutto questo sceneggiato sulla materia oscura non sia fondato su un equivoco? Alcuni fisici cominciano a pensare che, se le stelle e le galassie hanno il movimento che hanno, non è perché ci sfugge la loro massa reale, ma perché le leggi del loro movimento non sono quelle che noi crediamo.

Le leggi della gravità che derivano dalla relatività generale (e

(et qui se résument dans la plupart des cas aux lois de Newton) concordent parfaitement avec tous les mouvements observables dans le système solaire. Planètes, lunes, astéroïdes, comètes, satellites, sondes, fusées, missiles, avions, boulets, et jusqu'aux pommes qui tombent, tout cela répond aux calculs à la virgule près. Mais, pour la galaxie dans son ensemble... finalement rien ne permet d'en être sûr. Qui sait si la formule de Newton n'est pas une approximation, valable à notre échelle, d'une loi plus générale qui donne des résultats différents sur les très longues distances ? Ou s'il n'existe pas des champs de force qui deviennent sensibles à grande échelle, lorsque la gravitation est très faible, et qui modifient le mouvement des corps ? Plusieurs tentatives théoriques explorent activement ces hypothèses (MOND, théorie de la dynamique newtonienne modifiée, MOG, théorie de la gravitation modifiée...), mais nous ne sommes pas encore près de transformer ou de jeter aux orties une théorie aussi performante que la relativité générale. À l'heure actuelle, tout incroyable qu'elle soit, l'hypothèse de la matière noire exotique reste la moins coûteuse et la plus plausible pour expliquer les écarts de comportement de la matière dans l'Univers.

che si riassumono nella maggior parte dei casi nelle leggi di Newton) concordano perfettamente con tutti i movimenti osservabili nel sistema solare. Pianeti, lune, asteroidi, comete, satelliti, sonde, astronavi, missili, aerei, elementi sferici, e fino alle mele che cadono, tutto questo risponde ai calcoli fino all'ultima virgola. Ma, per la galassia nel suo insieme... nulla permette di esserne certi in fin dei conti. Chissà se la formula di Newton non sia un'approssimazione, valida sulla nostra scala, di una legge più generale che dà risultati diversi sulle distanze molto lunghe? Oppure se non esistono campi di forza che diventano sensibili su grande scala, quando la gravità è molto debole, e che modificano il movimento dei corpi? Molti tentativi teorici esplorano attivamente queste ipotesi (MOND, Teoria della Dinamica Newtoniana Modificata, MOG, Teoria della gravità modificata...), ma non siamo ancora pronti a trasformare o a gettare alle ortiche una teoria così efficiente come la relatività generale. Attualmente, per quanto incredibile sia, l'ipotesi della materia oscura esotica resta quella meno costosa e più plausibile per spiegare le differenze di comportamento della materia nell'Universo.

Le passé vu dans les galaxies

Rappelons-le encore : quand on étudie un cliché de l'espace lointain, il faut prendre en compte la profondeur temporelle en même temps que la profondeur spatiale. Les rayons lumineux des objets lointains mettent longtemps à nous parvenir. Pour les étoiles de notre galaxie, cela ne produit qu'un décalage de quelques années ou quelques siècles. Une étoile ne change pas sur ce laps de temps (sauf si elle explose en supernova), et l'image que nous en recevons nous donne une information quasiment à jour. Mais, quand nous observons des galaxies qui se trouvent à 5 milliards d'années-lumière, nous les observons telles qu'elles étaient il y a 5 milliards d'années, c'est-à-dire considérablement différentes. À cette époque, notre Terre était encore dans les limbes !

Sur un cliché du ciel lointain²³³, toutes les profondeurs sont écrasées et mises côte à côte. Pourtant, chaque galaxie du cliché se trouve à une distance différente des autres, et donc à une époque différente. Sont ainsi juxtaposés des objets photographiés tels qu'ils étaient il y a 1 million d'années, 100 millions d'années, 1 milliard d'années... Des tranches d'espace et des tranches de temps se trouvent assemblées par le hasard de notre point de vue particulier dans l'espace. C'est tout le concept d'image qui s'en trouve modifié.

Sur Terre, toute image (perçue par l'œil ou fixée sur photo) est toujours un instantané-simultané, en raison de la vitesse élevée de la lumière : 300 000 km/s. Les objets juxtaposés sont donc saisis à la même fraction de seconde. Mais, dans le ciel, il en va différemment ; il est si grand que la vitesse de la lumière fait fi-

Il passato visto nelle galassie

Ricordiamolo ancora una volta: quando si studia una fotografia dello spazio lontano, bisogna tener conto allo stesso tempo sia della profondità temporale sia della profondità spaziale. I raggi luminosi degli oggetti lontani impiegano molto tempo per raggiungerci. Per le stelle della nostra galassia, questo comporta solo un ritardo di alcuni anni o di alcuni secoli. Una stella non cambia in questo lasso di tempo (a meno che non esploda in supernova), e l'immagine che ne riceviamo ci dà un'informazione abbastanza aggiornata. Ma, quando osserviamo delle galassie che si trovano a 5 miliardi di anni luce, le osserviamo tali e quali com'erano 5 miliardi di anni fa, ovvero enormemente diverse. A quest'epoca, la nostra Terra era ancora nel limbo!

In una fotografia del cielo lontano²³³, ogni profondità è schiacciata e messa una accanto all'altra. Tuttavia, ogni galassia della fotografia si trova ad una distanza diversa dalle altre, e quindi ad un'epoca diversa. Così sono giustapposti degli oggetti fotografati tali com'erano 1 milione di anni fa, 100 milioni di anni fa, 1 miliardo di anni fa... Delle porzioni di spazio e delle porzioni di tempo si trovano riunite per caso secondo il nostro punto di vista particolare nello spazio. È tutto il concetto d'immagine che si trova modificato.

Sulla Terra, ogni immagine (percepita ad occhio nudo o fissata su una fotografia) è sempre un'istantanea-simultanea, a causa della velocità elevata della luce: 300 000 km/s. Gli oggetti giustapposti sono colti nella stessa frazione di secondo. Ma, nel cielo, la situazione cambia; esso è così grande che la velocità della

²³³ http://hubblesite.org/gallery/album/the_universe_collection/distant_galaxis_/pr2004028b/large_web

gure d'escargot pour le parcourir. Toute image du ciel profond est donc un patchwork dont chaque source est saisie à un moment différent. C'est un paysage qui possède des milliers de profondeurs différentes, à la fois dans l'espace et dans le temps. Un montage arbitraire, dû au hasard de notre position. Si la galaxie d'Andromède nous paraît vieille tandis que la galaxie Goods 850-5 nous semble très jeune, c'est parce que nous sommes à proximité d'Andromède. Pour un observateur proche de Goods 850-5, c'est elle qui paraît vieille tandis qu'Andromède semble très jeune. La vérité, c'est que toutes les galaxies sont vieilles (elles sont toutes nées à peu près à la même époque, il y a 12 milliards d'années), mais celles qui sont lointaines n'ont pas encore pu nous le faire savoir. Elles nous paraissent jeunes parce que leur lumière est vieille.

Certains objets, les plus éloignés, nous ramènent aux époques les plus précoces de l'Univers. La lumière qui nous en parvient a été émise il y a 10 ou 12 milliards d'années, quand l'Univers était encore gamin. Elle nous donne donc des informations directes sur le passé très ancien, et c'est grâce à cela que nous pouvons faire de la cosmologie, c'est-à-dire étudier l'histoire de l'Univers dans son ensemble.

Le passé des galaxies lointaines est donc accessible à l'observation directe, contrairement à celui de la Terre, où nous devons procéder par déduction à partir de traces fossiles. Pour les galaxies, nous voyons leur passé comme si nous y étions. Il se déroule pour nous au présent. Les astronomes se trouvent dans la situation de rêve d'un historien qui pourrait coller son œil sur un appareil et voir, de ses yeux voir, Louis XIV, puis Jules César, puis Ramsès II, puis l'homme de Cro-Magnon, puis les dino-

luce fa la figura della lumaca per percorrerlo. Ogni immagine del cielo profondo è un mosaico in cui ogni fonte è colta in un momento diverso. È un paesaggio che ha migliaia di profondità diverse, sia nello spazio che nel tempo. Un montaggio arbitrario, dovuto al caso della nostra posizione. Se la galassia di Andromeda ci sembra vecchia mentre la galassia Goods 850-5 ci sembra molto giovane, è perché siamo nelle vicinanze di Andromeda. Per un osservatore vicino a Goods 850-5, è lei che sembra vecchia mentre Andromeda sembra molto giovane. La verità è che tutte le galassie sono vecchie (sono nate tutte più o meno nella stessa epoca, 12 miliardi di anni fa), ma quelle che sono lontane non hanno ancora potuto farcelo sapere. Ci sembrano giovani perché la luce è vecchia.

Alcuni oggetti, i più lontani, ci riconducono alle epoche più precoci dell'Universo. La luce che ci giunge è stata emessa 10 o 12 miliardi di anni fa, quando l'Universo era ancora bambino. Lei ci dà delle informazioni dirette sul passato molto antico, ed è grazie ad essa che possiamo praticare la cosmologia, ovvero studiare la storia dell'Universo nel suo insieme.

Il passato delle galassie lontane è pertanto accessibile all'osservazione diretta, al contrario di quello della Terra, dove dobbiamo procedere per deduzione partendo dalle tracce fossili. Per le galassie, vediamo il loro passato come se ci fossimo. Per noi si svolge nel presente. Gli astronomi si trovano nella situazione da sogno per uno storico che potrebbe incollare il suo occhio su uno strumento e vedere, vedere con i propri occhi, Luigi XIV, poi Giulio Cesare, poi Ramsès II, poi l'uomo di Cro-

saures, au fur et à mesure qu'il dirige sa lunette vers des sources plus éloignées. Bien sûr, la source est de plus en plus faible, presque imperceptible, il faut donc fabriquer des détecteurs d'une sensibilité de princesse. Mais la technique progresse sans arrêt, et nous creusons des tunnels de plus en plus profonds vers le passé de l'Univers.

Ainsi se manifeste depuis quelques décennies un fait totalement révolutionnaire : contrairement à ce qu'on a cru pendant des millénaires, l'Univers n'est pas immuable. Il a traversé des phases d'évolution très marquées : naissance, enfance, jeunesse, maturité... pour dire les choses en termes anthropocentriques. L'Univers change, évolue, vieillit. Il va d'un état A vers un état B. Bien sûr, cela n'a pas de sens précis de dire que l'Univers est vieux aujourd'hui, ou qu'il était jeune il y a 12 milliards d'années. Jeunesse et vieillesse sont des concepts attachés au vivant. L'Univers est simplement différent, et dans cette différence sont inscrits les effets du passage du temps. La *cosmologie* est la science qui a pour ambition d'étudier, de décrire et d'expliquer l'évolution spectaculaire qu'a connue l'Univers en un peu moins de 14 milliards d'années.

La répartition des galaxies

Comment les galaxies s'organisent-elles dans l'espace ? Sont-elles réparties au hasard, comme des raisins dans un cake ? Sont-elles réparties selon une grille et de façon homogène, comme les cristaux dans un sel ou les arbres dans un verger ? Ou bien sont-elles réunies en grappes à la manière des étoiles regroupées en elles ? Et, dans ce cas, les grappes sont-elles à leur tour réparties

Magnon, poi i dinosauri, man mano che sposta il suo telescopio verso fonti più lontane. Certo, la fonte è sempre più debole, quasi impercettibile, quindi bisogna realizzare dei rilevatori con una sensibilità da principessa. Ma la tecnica progredisce continuamente, e scaviamo dei tunnel sempre più profondi verso il passato dell'Universo.

Così, dopo qualche decennio, si manifesta un fatto totalmente rivoluzionario: contrariamente a quanto si era creduto per millenni, l'Universo non è immutabile. Ha attraversato delle fasi di evoluzione molto marcate: nascita, infanzia, gioventù, maturità... per dire le cose in termini antropocentrici. L'Universo cambia, evolve, invecchia. Va da uno stato A ad uno stato B. Certo, questo non ha un senso preciso per dire che l'Universo oggi è vecchio, o che fosse giovane 12 miliardi di anni fa. Gioventù e vecchiaia sono dei concetti legati al vivente. L'Universo è semplicemente diverso, e in questa differenza sono registrati gli effetti del passaggio del tempo. La *cosmologia* è la scienza che ha l'obiettivo di studiare, descrivere e spiegare l'evoluzione spettacolare che ha conosciuto l'Universo in poco meno di 14 miliardi di anni.

La suddivisione delle galassie

Come si dispongono le galassie nello spazio? Sono suddivise a caso, come le uvette in una torta? Sono suddivise secondo una griglia e in modo omogeneo, come i cristalli in un sale o gli alberi in un frutteto? O meglio sono riunite in ammassi, nel modo in cui le stelle sono raggruppate tra loro? E, in questo caso, gli ammassi sono a loro volta suddivisi in modo aleatorio, ordinato,

de façon aléatoire, ordonnée, ou par paquets ?

C'est une question qui demande des moyens d'investigation énormes. Et, de nouveau, c'est d'abord en lorgnant ailleurs, en répertoriant et en cartographiant les galaxies lointaines, qu'on a pu recueillir des indices sur ce qu'il en est pour nous.

Le résultat de ces enquêtes titanesques a le mérite d'être très clair : les galaxies ne sont pas réparties au hasard. Elles forment des grappes appelées *amas de galaxies*. Et ces amas eux-mêmes forment des groupes d'amas appelés *superamas*. Tout ce qui est petit est joli, et tout ce qui est grand est super.

Les amas n'ont pas de forme ni de structure marquées²³⁴. Ce sont des groupes sans rangement interne, comme des attroupements de badauds dans la rue. Les amas peuvent compter jusqu'à dix mille galaxies, et les superamas, plus de cent mille, qui s'étendent sur des zones de quelques centaines de millions d'années-lumière.

Voyez comme les structures se simplifient : il faut 100 milliards d'étoiles pour faire une galaxie, mais seulement mille galaxies pour faire un amas, et dix ou cent amas pour faire un superamas.

On ne connaît pas de groupement d'échelle supérieure. Les superamas ne se rassemblent pas en hyperamas. En revanche, ils sont

o in agglomerati?

È una questione che richiede mezzi di indagine enormi. E, di nuovo, è guardando inizialmente altrove, individuando e cartografando le galassie lontane, che si sono potuti raccogliere indizi su come stanno le cose per noi.

Il risultato di queste ricerche titaniche ha il merito di essere molto chiaro: le galassie non sono suddivise a caso. Formano degli agglomerati chiamati *ammassi di galassie*. E questi ammassi formano loro stessi dei gruppi di ammassi chiamati *superammassi*. Tutto quello che è piccolo è carino, e tutto quello che è grande è super.

Gli ammassi non hanno forma né struttura definite²³⁴. Sono dei gruppi senza assetto interno, come delle folle di curiosi per la strada. Gli ammassi possono contare fino a dieci mila galassie, e i superammassi, più di cento mila, che si estendono su delle zone di qualche centinaio di milioni di anni luce.

Vedete come le strutture si semplificano: servono 100 miliardi di stelle per fare una galassia, ma solo mille galassie per fare un ammasso, e dieci o cento ammassi per fare un superammasso.

Non si conosce alcun raggruppamento di scala superiore. I superammassi non si riuniscono in iperammassi. Al contrario, sono

²³⁴ Galerie d'images sur http://hubblesite.org/gallery/album/galaxy_collection/cluster_/
Galleria di immagini su http://hubblesite.org/gallery/album/galaxy_collection/cluster_/

disposés selon des sections aplaties et forment des murs interconnectés, un peu comme, les parois des bulles dans une mousse de savon, qui entourent de grands espaces vides, Au bout du compte, à force de zooms arrière, il arrive un moment où la matière arrête de se grouper en paquets et se met à faire de la dentelle. Nous y reviendrons, mais visitons d'abord les paquets de galaxies.

Attention, les amas de galaxies ne doivent pas être confondus avec les amas globulaires, qui sont des groupes d'étoiles présents dans le halo de la galaxie — et dont nous avons déjà dit qu'ils étaient le siège des trous noirs intermédiaires. Les amas dont on parle ici sont bien des groupes de galaxies, et non des groupes d'étoiles, tâchons de ne pas mélanger les niveaux.

Notre galaxie, la Voie lactée, appartient à l'amas de la Vierge (nommé aussi « Virgo »), qui compte environ deux mille membres. L'amas de la Vierge est lui-même situé au centre du. « Superamas Local », dix mille galaxies, s'il vous plaît, réparties, en une centaine d'amas. Pour vous donner une idée des ordres de grandeur concernés, disons que, du point de vue de la masse, les amas et superamas galactiques sont aux humains ce que les humains sont aux particules élémentaires. Virgo vous domine autant que vous dominez chacun de vos protons.

Les amas sont donc de vastes nuages de galaxies qui occupent des volumes considérables. Les galaxies ont tendance à y tourner autour d'un centre de gravité commun, car elles sont liées entre elles par leur influence gravitationnelle. Tout comme les étoiles au sein d'une galaxie sont retenues par la masse des autres

disposti secondo delle sezioni appiattite e formano dei muri collegati tra loro, un po' come le pareti delle bolle in una schiuma di sapone, che circondano di grandi spazi vuoti. In fin dei conti, a forza di zoom indietro, arriva il momento in cui la materia smette di raggrupparsi in agglomerati e si mette a fare il merletto. Ci ritorneremo, ma innanzitutto visitiamo gli agglomerati di galassie.

Attenzione, gli ammassi di galassie non devono essere confusi con gli ammassi globulari, che sono dei gruppi di stelle presenti nell'alone della galassia — e di cui abbiamo già detto che erano la sede dei buchi neri intermedi. Gli ammassi di cui parliamo qui sono molti gruppi di galassie, e non dei gruppi di stelle, cerchiamo di non confondere i due livelli.

La nostra galassia, la Via Lattea, appartiene all'ammasso della Vergine (chiamato anche Virgo), che conta circa due mila componenti. L'ammasso della Vergine è anch'esso localizzato al centro del “Superammasso Locale”, dieci mila galassie ripartite in un centinaio di ammassi. Per darvi un'idea degli ordini di grandezza considerati, diciamo che, dal punto di vista della massa, gli ammassi ed i superammassi galattici stanno agli umani, come gli umani stanno alle particelle elementari. Vergine vi domina come dominate ognuno dei vostri protoni.

Gli ammassi sono dunque delle vaste nubi di galassie che occupano dei volumi considerevoli. Le galassie hanno la tendenza di ruotare attorno ad un centro di gravità comune, perché sono collegate tra loro dalla loro influenza gravitazionale. Così come le stelle al centro di una galassia sono trattenute dalla massa delle

étoiles, les galaxies au sein d'un amas sont retenues par la masse des autres galaxies. Newton aurait dit qu'elles sont attirées les unes par les autres, mais après Einstein on dira plutôt qu'elles obéissent aux déformations de l'espace imprimées par les masses voisines.

C'est évidemment le cas pour notre galaxie, qui fait partie d'un sous-groupe de l'amas Virgo, formé d'une quarantaine de galaxies et nommé « Groupe local ». Il forme une sphère de 2 à 3 millions d'années-lumière de rayon. Dans ce sous-groupe, deux membres sont plus influents que les autres, ce sont la Voie lactée et la galaxie d'Andromède, une grosse galaxie voisine et analogue à la nôtre²³⁵. Leur interaction gravitationnelle est telle qu'elles se rapprochent l'une de l'autre à une vitesse de 300 km/s, chacune tombant dans la courbure creusée par l'autre. Vers quel destin foncent-elles à cette allure démentielle ? La réponse viendra dans un instant. Les autres galaxies du Groupe local sont des galaxies naines, d'environ 100 millions d'étoiles (contre 100 milliards pour les grandes).

Les galaxies naines étant peu lumineuses, elles sont logiquement difficiles à détecter et sont restées sous-représentées dans nos catalogues. La théorie de la formation des galaxies prévoit toutefois qu'elles devraient être cent fois plus abondantes que les grandes galaxies. Cependant, si notre Groupe local affiche sa quarantaine de galaxies naines (toutes sauf trois), on échoue encore aujourd'hui à détecter dans les amas voisins les galaxies naines en proportions souhaitables, même avec les instruments

autres, les galaxies au centre d'un amas sont retenues par la masse de toutes les autres galaxies. Newton aurait dit qu'elles sont attirées les unes par les autres, mais après Einstein on dira plutôt qu'elles obéissent aux déformations de l'espace imprimées par les masses voisines.

È ovviamente il caso della nostra galassia, che fa parte di un sottogruppo dell'ammasso della Vergine, formato da un quarantina di galassie e chiamato "Gruppo Locale". Esso forma una sfera da 2 a 3 milioni di anni luce di raggio. In questo sottogruppo, due componenti sono più influenti degli altri, sono la Via Lattea e la galassia di Andromeda, una grande galassia vicina e analoga alla nostra²³⁵. La loro interazione gravitazionale è tale che si avvicinano l'una all'altra ad una velocità di 300 km/s, ognuna cadendo nella curvatura aumentata dall'altra. Verso quale destino vanno incontro a questa velocità demenziale? La risposta arriverà tra un istante. Le altre galassie del Gruppo Locale sono galassie nane, di circa 100 milioni di stelle (contro i 100 miliardi delle più grandi).

Le galassie nane essendo poco luminose, sono logicamente difficili da rilevare e sono rimaste sottorappresentate nei nostri cataloghi. La teoria della formazione delle galassie prevede tuttavia che debbano essere cento volte più abbondanti delle grandi galassie. Tuttavia, se il nostro Gruppo Locale mostra la sua quarantina di galassie nane (tutte tranne tre), ancor oggi non si riescono a rilevare negli ammassi vicini le galassie nane in dimensioni opportune, anche con gli strumenti più potenti. È una delle que-

²³⁵ <http://www.astrosurf.com/nico-outters/astro/galaxie%20d%20andromede%20tec-fli.html>

les plus puissants. C'est l'une des questions intrigantes de la cosmologie actuelle.

Une explication possible résiderait dans la tendance à édifier secondairement de grandes galaxies. L'étude du ciel profond a montré que, dans un passé très lointain, les galaxies naines étaient monnaie courante. Dans l'Univers âgé d'un seul milliard d'années, le télescope spatial Hubble détecte surtout des galaxies de masse cent à mille fois plus faible que la Voie lactée. Et, surtout, on observe de nombreuses interactions et collisions entre elles. Il semble à peu près assuré aujourd'hui que les galaxies grandes et structurées se sont formées par fusions successives de galaxies naines qui auraient servi de briques de base.

C'est aussi une autre piste pour expliquer la physionomie particulière des galaxies elliptiques. Plutôt que d'impatientes qui auraient consommé tout leur gaz avant de s'aplatir, il s'agit peut-être de galaxies qui ne sont pas nées comme telles mais par fusion d'un grand nombre de galaxies naines. Ce qui expliquerait aussi qu'on en trouve de toutes les tailles. Tandis que les galaxies spirales, qui sont géantes, seraient nées géantes, avec une masse entraînant un aplatissement initial, suivi de condensations d'étoiles.

Aujourd'hui, dans les amas, les galaxies elliptiques sont majoritaires. Elles sont préférentiellement situées au centre des amas, tandis que les galaxies spirales sont plutôt observées en périphérie.

Si maintenant on s'intéresse au mouvement des galaxies au sein

stioni intriganti della cosmologia attuale.

Una spiegazione possibile consisterebbe nella tendenza a costruire grandi galassie in un secondo momento. Lo studio del cielo profondo ha mostrato che, in un passato molto lontano, le galassie nane erano moneta corrente. Nell'Universo vecchio di solo un miliardo di anni, il telescopio spaziale Hubble rileva soprattutto galassie di massa da cento a mille volte più ridotta della Via Lattea. E, soprattutto, si osservano numerose interazioni e collisioni tra loro. Oggi sembra quasi assicurato che le galassie grandi e strutturate si siano formate dalle fusions successive di galassie nane che sarebbero servite come mattoni di base.

È anche un'altra pista per spiegare la fisionomia particolare delle galassie ellittiche. Invece di impazienti che avrebbero consumato tutto il loro gas prima di appiattirsi, forse si tratta di galassie che non sono nate come tali, ma per fusione di un gran numero di galassie nane. Questo spiegherebbe anche perché se ne trovano di tutte le dimensioni. Mentre le galassie spirali, che sono giganti, sarebbero nate giganti, con una massa che comporta un appiattimento iniziale, seguito da condensazioni di stelle.

Oggi, negli ammassi, le galassie ellittiche sono prevalenti. Sono localizzate preferibilmente al centro degli ammassi, mentre le galassie spirali sono osservate piuttosto in periferia.

Se adesso ci interessassimo al movimento delle galassie al centro

des amas, on va au-devant de gros ennuis. On s'apercevra vite que, pour expliquer ce mouvement, leur masse réelle doit dépasser de vingt fois leur masse visible. C'est de nouveau l'éternel problème de la matière noire qui resurgit. Non seulement les étoiles bougent trop vite dans les galaxies, mais celles-ci bougent aussi trop vite dans les amas, qui devraient en toute logique se disloquer. Puisqu'ils sont bien là, il faut expliquer leur cohésion et supposer une masse bien plus grande que celle qu'on voit.

Une partie de la masse manquante a été identifiée lorsqu'on a pu observer les amas de galaxies en rayons X, à partir des années 1970. On a découvert alors que les amas ne sont pas constitués seulement de galaxies, mais aussi de grandes quantités de gaz chaud (entre 10 et 100 millions de degrés) et tenu situé entre les galaxies, qui émet des flux de rayons X. Une fois mesuré en long, en large et en travers, ce gaz pèse quatre fois plus que toutes les galaxies visibles réunies. Malgré cela les amas ne font toujours pas le poids, il reste encore trois quarts de matière noire à débusquer. Les amas, à ce jour, sont constitués de 5% de galaxies, de 20% de gaz et de 75% d'inconnu.

Il est amusant d'appeler « amas de galaxies » des structures dans lesquelles les galaxies comptent pour 5% ! C'est comme si l'on appelait « amas de noisettes » un noisetier, au mépris des branches et des feuilles. En cela, le rayonnement X est déjà beaucoup moins trompeur que la lumière visible. Là où nous voyons une collection de loupiotes, le détecteur de rayons X voit une immense boule chaude. Boule de gaz serait une dénomination plus juste, encore que seulement pour 20%. Bloc du mys-

degli ammassi, andremo incontro a guai seri. Ci si accorgerà presto che, per spiegare questo movimento, la loro massa reale deve superare di venti volte la loro massa visibile. È di nuovo l'irritante problema della materia oscura che risorge. Non solo le stelle si muovono troppo velocemente nelle galassie, ma queste si muovono così troppo velocemente negli ammassi, che dovrebbero a rigor di logica spostarsi. Perché siano proprio lì, bisogna spiegare la loro coesione e supporre una massa molto più grande di quella che si vede.

Una parte della massa mancante è stata identificata quando si sono potuti osservare gli ammassi di galassie ai raggi X, a partire dagli anni 1970. Si è scoperto allora che gli ammassi non sono costituiti solo da galassie, ma anche da grandi quantità di gas caldo (tra i 10 e i 100 milioni di gradi) e sottile situato tra le galassie, che emette dei flussi di raggi X. Una volta misurato in lungo, in largo e di traverso, questo gas pesa quattro volte di più di tutte le galassie visibili messe insieme. Malgrado questo, gli ammassi non sempre bastano, mancano ancora tre quarti di materia oscura da scovare. Gli ammassi, per ora, sono costituiti da 5% di galassie, da 20% di gas e da 75% di ignoto.

È divertente chiamare “ammassi di galassie” delle strutture nelle quali le galassie contano per il 5%! È come se si chiamasse “ammasso di nocciole” un nocciolo, a scapito dei rami e delle foglie. In questo, la radiazione X è già molto meno fuorviante della luce visibile. Laddove vediamo una collezione di lampade fioche, il rilevatore a raggi X, vede un'immensa sfera calda. Sfera di gas sarebbe una denominazione più appropriata, anche se solo per il 20%. Blocco di mistero o matassa di nodi sarebbe

tère ou pelote de nœuds serait sans doute plus réaliste.

Résumons la comptabilité de la matière dans l'Univers. Au niveau des galaxies, les étoiles sont comme des guirlandes accrochées sur des carrousels de gaz et de poussières. Les ampoules font 1% de la masse, le carrousel 9 %, et la matière inconnue, 90 %. Au niveau des amas, les galaxies sont comme des noisettes dans une frondaison de gaz. Les noisettes 5% de la masse, la frondaison, 20 %, et la matière inconnue, 75%.

Un peu perdus ? Visualisons. Il est difficile de se représenter la taille et la densité des objets à des échelles si grandes, mais rien n'interdit de tout réduire mentalement à notre échelle, pour mieux s'y retrouver. On a déjà vu que, si les étoiles avaient la taille d'une bille leur dispersion moyenne serait de l'ordre de 500 kilomètres, soit énormément de vide. Et quelle est la taille de la galaxie ? Tenez-vous bien ! La guirlande d'étoiles et son carrousel de gaz et de poussières devraient avoir un diamètre de *10 millions* de kilomètres pour représenter la Voie lactée à cette échelle. Imaginez 100 milliards d'ampoules de la taille d'une bille, espacées de 500 kilomètres, dans un carrousel qui fait mille fois la largeur de la Terre.

Prenons maintenant une autre comparaison pour les amas de galaxies. Pensons à la galaxie spirale typique, bien plate, et représentons ce grand carrousel par un disque de la taille d'un CD. Notre Groupe local est comme une frondaison de gaz qui porte une quarantaine de ces CD et remplit l'espace d'un salon (un volume d'environ 7 mètres de diamètre). Autrement dit les distances entre les galaxies sont nettement moins grandes, compara-

senza dubbio più realista.

Riassumiamo la contabilità della materia nell'Universo. Al livello delle galassie, le stelle sono come dei fili di luci appese alle giostre di gas e di polveri. Le lampadine costituiscono l'1% della massa, la giostra il 9%, e la materia ignota, il 90%. Al livello degli ammassi, le galassie sono come delle noccioline in una chioma di gas. Le noccioline costituiscono il 5% della massa, la chioma, il 20%, e la materia sconosciuta, il 75%.

Un po' persi? Visualizziamo. È difficile rappresentarsi la dimensione e la densità degli oggetti a delle scale così grandi, ma nulla vieta di ridurre mentalmente sulla nostra scala, per ritrovarsi meglio. Abbiamo già visto che, se le stelle avessero la dimensione di una biglia, la loro dispersione media sarebbe di circa 500 chilometri, ossia un'enorme quantità di vuoto. E qual è la dimensione della galassia? Tenetevi forte! Il filo di luci di stelle e la sua giostra di gas e di polveri dovrebbero avere un diametro di *10 milioni* di chilometri per rappresentare la Via Lattea a questa scala. Immaginate 100 miliardi di lampadine della dimensione di una biglia, distanziati di 500 chilometri, in una giostra che misura mille volte la larghezza della Terra.

Adesso facciamo un altro confronto per gli ammassi di galassie. Pensiamo alla galassia spirale tipica, molto piatta, e rappresentiamo questa grande giostra con un disco della dimensione di un CD. Il nostro Gruppo Locale è come una chioma di gas che ha una quarantina di questi CD e riempie lo spazio di un salone (un volume di circa 7 metri di diametro). In altre parole, le distanze tra le galassie sono nettamente meno grandi, in confronto alle di-

tivamente, que les distances entre les étoiles. Quarante disques dans un salon, cela fait une densité bien plus grande qu'une bille tous les 500 kilomètres dans un rayon de 10 millions de kilomètres. Quant à notre superamas Virgo, c'est un buisson immense qui porte dix mille disques dans un rayon de 100 mètres (et dont le Groupe local n'est qu'une ramille).

Toujours à cette échelle, l'Univers observable entier, dont le rayon apparent est de 50 milliards d'années-lumière, formerait une sphère de 30 kilomètres de rayon, soit l'étendue de la grande banlieue parisienne, et contiendrait 100 à 200 milliards de disques, portés par 10 millions de branchages. L'Univers est densément peuplé en galaxies, tellement peuplé que la question se pose immédiatement : comment font-elles pour ne pas se cogner ? La réponse arrive dans un instant.

Quant à l'espace entre les galaxies, avec le gaz que nous venons de lui découvrir, on pourrait croire qu'il affiche une densité comparable à l'espace vide entre les étoiles. Il n'en est rien. Malgré le poids qu'il représente en matière noire, l'espace intergalactique est un vide cent mille fois plus vide que l'espace interstellaire. De l'ordre de dix atomes par mètre cube. Le vide entre les galaxies diffère du vide entre les étoiles comme l'air diffère de l'eau.

On pourrait en conclure qu'il n'y a aucun intérêt à se pencher sur la matière intergalactique. Et, pourtant elle pourrait bien être un agent décisif de l'évolution cosmique. Il semblerait en effet que le diaphane matériau intergalactique soit organisé en réseau de filaments gazeux sur lesquels les galaxies s'accrochent comme

stanze tra le stelle. Quaranta dischi in un salone, è una densità molto più grande rispetto ad una biglia ogni 500 chilometri in un raggio di 10 milioni di chilometri. Quanto al nostro superammasso della Vergine, è un cespuglio immenso che ha dieci mila dischi in un raggio di 100 metri (e di cui il Gruppo Locale è solo un ramoscello).

Sempre a questa scala, l'intero Universo osservabile, il cui raggio apparente è di 50 miliardi di anni luce, formerebbe una sfera di 30 chilometri di raggio, ossia l'estensione della grande periferia parigina, e conterebbe da 100 a 200 miliardi di dischi, portati da 10 milioni di rami. L'Universo è densamente popolato di galassie, talmente popolato che la questione si pone immediatamente: come fanno a non scontrarsi? La risposta arriva tra un momento.

Quanto allo spazio tra le galassie, con il gas che abbiamo appena scoperto, si potrebbe credere che mostri una densità paragonabile allo spazio vuoto tra le stelle. Non è così. Malgrado il peso che rappresenta in materia oscura, lo spazio intergalattico è un vuoto cento mila volte più vuoto dello spazio interstellare. Circa dieci atomi per metro cubo. Il vuoto tra le galassie differisce dal vuoto tra le stelle come l'aria differisce dall'acqua.

Si potrebbe concludere che non ci sia alcun interesse a prendere in considerazione la materia intergalattica. Eppure, essa potrebbe essere proprio un fattore determinante dell'evoluzione cosmica. Sembrerebbe infatti che il materiale diafano intergalattico sia organizzato in una rete di filamenti gassosi sui quali le galassie si

les noisettes sur la branche, ou comme des gouttes d'eau sur une toile d'araignée. Les échanges de matière et d'énergie entre cette fine toile gazeuse et les galaxies pourraient déterminer l'essentiel de l'histoire de l'Univers en contrôlant l'accrétion de matière par les galaxies : les filaments gazeux se connecteraient directement aux disques galactiques, les nourrissant de gaz frais.

Par ailleurs, des traces d'éléments lourds, comme le carbone et l'oxygène, se trouvent disséminées dans l'hydrogène de ce milieu. C'est la preuve qu'il n'est pas le simple reliquat passif du matériau qui a servi à fabriquer les galaxies. En effet, ces éléments ne sont produits qu'au cœur des étoiles, ils ont donc dû être exportés très loin de leur berceau. Pour cette raison, on suspecte que les espaces intergalactiques sont contaminés par des événements violents et rares, seuls capables de mélanger les cartes. Les supernovae sont les candidates les plus vraisemblables. En particulier dans les galaxies naines, moins aptes à retenir leur matière que les grandes galaxies à la gravitation puissante. Une galaxie naine siège d'une supernova est tout simplement délestée de la matière relâchée dans l'espace. Il y aurait ainsi un vent galactique émanant des petites galaxies lors de chaque explosion de supernova, tous les 100 millions d'années environ, qui nourrirait et réchaufferait le milieu intergalactique.

D'où une sorte de régulation réciproque entre le milieu intergalactique nourricier et les galaxies, le vide résonnant des échos de la matière et façonnant celle-ci à son tour.

Ce scénario offre en même temps une deuxième piste pour expliquer le faible nombre de petites galaxies. En relâchant la ma-

attaccano come le nocciole al ramo, o come delle gocce d'acqua su una ragnatela. Gli scambi di materia e di energia tra questa sottile tela gassosa e le galassie potrebbero determinare la maggior parte della storia dell'Universo, verificando l'accrescimento della materia dalle galassie: i filamenti gassosi si legherebbero direttamente ai dischi galattici, nutrendoli di gas fresco.

Inoltre, tracce di elementi pesanti, come il carbone e l'ossigeno, si trovano disseminate nell'idrogeno di questo ambiente. È la prova che non sia il semplice residuo passivo del materiale che è servito a creare le galassie. Infatti, questi elementi non sono prodotti nel centro delle stelle, dunque sono dovuti essere esportati molto lontano dalla loro culla. Per questa ragione, si sospetta che gli spazi intergalattici siano contaminati da avvenimenti violenti e rari, i soli capaci di mescolare le carte. Le supernove sono le candidate più probabili. In particolare nelle galassie nane, meno adatte a trattenere la loro materia rispetto alle grandi galassie dalla gravità potente. Una galassia nana sede di una supernova è semplicemente liberata dalla materia rilasciata nello spazio. Così ci sarebbe un vento galattico che emana dalle piccole galassie durante ogni esplosione di supernova, ogni 100 milioni di anni circa, che nutrirebbe e riscalderebbe l'ambiente intergalattico.

Da qui una sorta di regolazione reciproca tra l'ambiente intergalattico che nutre e le galassie, il vuoto che rimbomba degli echi della materia, dandole forma a sua volta.

Allo stesso tempo, questo scenario offre una seconda pista per spiegare il numero ridotto di galassie piccole. Rilasciando la ma-

tière des supernovae, les galaxies naines réchauffent l'espace, et, en réchauffant l'espace, elles rendent plus difficiles les effondrements gravitationnels ultérieurs, car la matière ainsi chauffée se dilate. Il faut de plus en plus de matière pour arriver à surmonter cet obstacle et à condenser une nouvelle galaxie. Plus les supernovae se multiplient, moins il est probable de voir la matière se condenser en petites galaxies, tandis que les gros effondrements sont toujours possibles.

Il faut bien garder à l'esprit que toutes ces recherches se font partiellement à l'aveugle, puisque avec nos instruments nous n'observons jamais que la matière ordinaire. Tout ce que nous savons, tout ce que nous venons de décrire sur les galaxies et les amas, ne concerne que cette partie de l'Univers que nous pouvons observer : la matière ordinaire. Pourtant, l'histoire de l'Univers est bien celle de deux agents entremêlés : d'une part, la matière ordinaire, pour l'essentiel un fluide composé d'atomes d'hydrogène et d'hélium (émaillé çà et là de grumeaux de matière visible, les étoiles), d'autre part, un fluide de matière noire exotique dont la nature nous est essentiellement inconnue. Cet agent mystérieux est prépondérant dans la dynamique de l'Univers, puisqu'il rassemble 85 % de la masse totale (90 % de la masse des galaxies et 75 % de la masse des amas). Ayant peu d'informations sur lui, nous ne pouvons, hélas ! guère en dire plus.

Les collisions entre galaxies

Nous avons dit que l'Univers était très dense en galaxies ; qu'elles s'influençaient les unes les autres, gravitationnellement

ment, la matière des supernovae, les galaxies naines réchauffent l'espace, et, en réchauffant l'espace, elles rendent plus difficiles les effondrements gravitationnels ultérieurs, car la matière ainsi chauffée se dilate. Il faut de plus en plus de matière pour arriver à surmonter cet obstacle et à condenser une nouvelle galaxie. Plus les supernovae se multiplient, moins il est probable de voir la matière se condenser en petites galaxies, tandis que les gros effondrements sont toujours possibles.

Va tenuto presente che tutte queste ricerche si fanno parzialmente alla cieca, dato che con i nostri strumenti osserviamo solo la materia ordinaria. Tutto ciò che sappiamo, tutto quello che abbiamo appena descritto a proposito delle galassie e degli ammassi, riguarda solo questa parte dell'Universo che possiamo osservare: la materia ordinaria. Eppure, la storia dell'Universo è proprio quella di due fattori correlati: da una parte, la materia ordinaria, per lo più un fluido composto di atomi di idrogeno e di elio (caratterizzato qui e là da agglomerati di materia visibile, le stelle), dall'altra parte, un fluido di materia oscura esotica la cui natura ci è per lo più sconosciuta. Questo fattore misterioso è preponderante nella dinamica dell'Universo, visto che comprende l'85% della massa totale (il 90% della massa delle galassie e il 75% della massa degli ammassi). Avendo poche informazioni su di lui, non siamo in grado di dire molto di più, purtroppo.

Le collisioni tra galassie

Abbiamo detto che l'Universo era molto ricco di galassie; che si influenzavano reciprocamente, parlando di gravità; che la Via

parlant ; que la Voie lactée et Andromède tombaient l'une vers l'autre à une vitesse vertigineuse. Que se passe-t-il pour empêcher qu'elles se cognent ?

Rien, et les galaxies se tamponnent à qui mieux mieux. Andromède et la Voie lactée vont entrer en contact d'ici quelques milliards d'années. Nous n'aurons pas le plaisir d'assister à l'événement, mais il suffit de pointer nos instruments un peu partout dans le ciel pour assister à cette sorte de spectacle fracassant : des collisions de galaxies.

Plus on remonte dans le passé (en allant voir plus loin dans l'espace), plus les galaxies sont en interaction, en fusion et en collision les unes avec les autres. On voit²³⁶ des galaxies spirales qui commencent à entrer en collision et qui mélangent leurs bras. On voit des fusions plus avancées qui perturbent considérablement les structures des deux galaxies. On voit des résidus de collisions, une galaxie étant passée à travers l'autre en perdant ou en emportant de la matière. On voit des disques galactiques dont le plan est tordu comme une roue de vélo voilée. Une grande galaxie spirale peut être complètement perturbée par le passage d'un petit monstre capable de lui arracher son cœur ; on devinera encore les bras de la galaxie spirale, mais ils sont marqués par une grande onde circulaire qui est née à partir du choc avec l'autre galaxie.

On sait aujourd'hui que la plupart des galaxies présentent des formes étrangement cabossées parce qu'elles ont eu des rixes et des altercations de frontières avec d'autres. Beaucoup sont deve-

Lattea e Andromeda cadevano l'una verso l'altra ad una velocità vertiginosa. E cosa succede per impedire che si scontrino?

Niente, e le galassie si tamponano facendo del proprio meglio. Andromeda e la Via Lattea entreranno in contatto tra qualche miliardo di anni. Non avremo il piacere di assistere all'avvenimento, ma basta puntare i nostri strumenti un po' ovunque nel cielo, per assistere a questa sorta di spettacolo sensazionale: delle collisioni di galassie.

Più si torna indietro nel passato (andando a vedere più lontano nello spazio), più le galassie sono in interazione, in fusione e in collisione le une con le altre. Si vedono²³⁶ galassie spirali che cominciano ad entrare in collisione e che mescolano i loro bracci. Si vedono fusioni più avanzate che alterano notevolmente le strutture delle due galassie. Si vedono residui di collisioni, una galassia che è passata attraverso l'altra perdendo o portando della materia. Si vedono dischi galattici il cui piano è storto come una ruota di bicicletta velata. Una grande galassia spirale può essere completamente alterata dal passaggio di un piccolo mostro capace di portarle via il suo nucleo; si intuiranno ancora i bracci della galassia spirale, ma sono segnati da una grande onda circolare che è nata a partire dall'impatto con l'altra.

Oggi si sa che la maggior parte delle galassie presentano forme stranamente malridotte perché hanno avuto delle risse e delle liti di confine con le altre. Molte sono diventate irregolari a causa

²³⁶ Galerie d'images sur http://hubblesite.org/gallery/album/galaxy_collection/interacting/
Galleria d'immagini su http://hubblesite.org/gallery/album/galaxy_collection/interacting/

nues irrégulières en raison de collisions directes avec leurs voisines. On pense même que des elliptiques géantes peuvent se former par fusion de deux spirales ou plus. Un argument en ce sens : beaucoup d'elliptiques géantes se trouvent près du centre des grands amas de galaxies, là où les collisions sont les plus fréquentes.

L'Univers, de ce point de vue, est un ramassis d'épaves comme une piste d'autos tamponneuses remplie de véhicules sans pare-chocs, dont aucun n'aurait échappé aux mauvaises rencontres, qui scalpé, qui éborgné, qui éviscéré.

Mais, attention, n'allez pas croire qu'il s'agit de chocs violents comme, lorsque deux corps solides se rencontrent. Une galaxie, c'est surtout du vide garni de quelques lampions, une auto tamponneuse faite de vapeur piquetée de points lumineux. Rien n'est plus doux et plus feutré qu'une collision de galaxies. Cela dure des centaines de millions d'années - on serait pris dedans, on ne s'en rendrait même pas compte —, et il n'y a jamais de contacts directs ni de destructions d'étoiles, puisque leur densité est dérisoire. Ce sont deux bataillons très clairsemés qui se rencontrent et se croisent sans s'être touchés, comme deux groupes de danseurs qui se traversent sur scène. Selon l'incidence du mouvement, son angle et sa vitesse, les galaxies continueront chacune leur chemin, ou bien elles resteront amalgamées, engluées par leur gravitation respective. Cependant, si les étoiles ne s'entrechoquent pas, la rencontre des nuages gazeux interstellaires produit des perturbations qui amorcent de nombreuses créations d'étoiles nouvelles.

En effet, lorsqu'une galaxie en traverse une autre, l'équilibre entre gravitation et force centrifuge qui maintient les étoiles et le

delle collisioni dirette con le loro vicine. Si pensa anche che delle ellittiche giganti possano formarsi dalla fusione di due o più spirali. Una motivazione a riguardo: molte ellittiche giganti si trovano vicino al centro dei grandi ammassi di galassie, laddove le collisioni sono più frequenti.

L'Universo, da questo punto di vista, è un cumulo di relitti, come una pista di autoscontri piena di veicoli senza paraurti, di cui nessuno è sfuggito ai cattivi incontri, chi scalpato, chi acciecato, chi eviscerato.

Ma attenzione, non crederete che si tratti di impatti violenti come quando due corpi solidi si scontrano. Una galassia, è soprattutto del vuoto guarnito di qualche luce, un autoscontro fatto di vapore picchiettato da punti luminosi. Nulla è più dolce e più ovattato di una collisione di galassie. Dura centinaia di milioni di anni – se fossimo presi dentro, non ce ne renderemmo neanche conto-, e non ci sono mai contatti diretti né distruzioni di stelle, visto che la loro densità è insignificante. Sono due battaglioni molto scarsi che s'incontrano e s'incrociano senza essersi toccati, come due gruppi di ballerini che si attraversano sulla scena. Secondo l'incidenza del movimento, il suo angolo e la sua velocità, le galassie continueranno ciascuna per il loro cammino, o meglio resteranno amalgamate, incollate dalla loro rispettiva gravità. Tuttavia, se le stelle non si scontrano, l'incontro delle nubi gassose interstellari crea delle perturbazioni che avviano numerose creazioni di stelle nuove.

Infatti, mentre una galassia ne attraversa un'altra, l'equilibrio tra gravità e forza centrifuga, che mantiene le stelle e il gas su delle

gaz sur des orbites stables est rompu. La rencontre entraîne une onde de chocs propage et comprime le gaz interstellaire en nuages denses. Ceux-ci s'effondrent alors l'effet de leur propre gravité. Ils deviennent des nébuleuses protostellaires, qui se condensent en étoiles jeunes. Celles-ci se répartissent parfois sur un cercle régulier, symétrique par rapport au choc initial. On en trouve un cas spectaculaire dans la galaxie dite « Roue de Charrette », qu'une petite galaxie a traversée de plein fouet voilà plusieurs centaines de millions d'années²³⁷. La trace de ce choc se traduit par un grand cercle presque parfait d'étoiles jeunes en bordure de la galaxie. L'onde de choc s'est même réfléchi vers l'intérieur, dans un mouvement de reflux, pour aller créer un second anneau interne d'étoiles jeunes entourant le centre de la galaxie. Cette galaxie bourdonne de maternités concentriques.

Ainsi, les cataclysmes mêmes sont au bénéfice de l'astre accidenté. Les collisions mettent un turbo à la fécondité galactique tout en modifiant continuellement leur forme. C'est pourquoi les galaxies spirales, qui étaient plus nombreuses dans la phase juvénile de l'Univers, auraient évolué vers la forme elliptique au fil du temps. Lorsque deux spirales massives entrent en collision, les grandes quantités de gaz qu'elles contiennent se transforment rapidement en étoiles pendant que la structure en disque est détruite, ce qui donne une galaxie elliptique géante, pauvre en gaz.

Notre galaxie, la Voie lactée, n'a certainement pas été épargnée par les bousculades. Des mesures précises sur les vitesses des étoiles proches ont prouvé que certaines d'entre elles avaient une origine extérieure à la Voie lactée. Leur trajectoire anormale contient le souvenir de leur capture et de leur assimilation forcée.

²³⁷ <http://antwarp.gsfc.nasa.gov/apod/ap981219.html>

orbite stables, è spezzato. L'incontro provoca un'onda d'urto che si propaga e comprime il gas interstellare in nubi dense. Queste collasano quindi per effetto della loro stessa gravità. Diventano nebulose protostellari, che si condensano in stelle giovani. Talvolta, queste si distribuiscono in un cerchio regolare, simmetrico rispetto all'impatto iniziale. Se ne trova un caso spettacolare nella galassia detta "Ruota di Carro", che una piccola galassia ha attraversato violentemente molte centinaia di milioni di anni fa²³⁷. La traccia di questo impatto si traduce in un grande cerchio quasi perfetto di stelle giovani sul bordo della galassia. L'onda d'urto si è anche riflessa verso l'interno, in un movimento di riflusso, creando un secondo anello interno di stelle giovani che circondano il centro della galassia. Questa galassia risuona di maternità concentriche.

Così, i cataclismi stessi sono a beneficio dell'astro accidentato. Le collisioni mettono il turbo alla fecondità galattica modificando di continuo la loro forma. Ecco perché le galassie spirali, che erano più numerose nella fase giovanile dell'Universo, sarebbero evolute verso la forma ellittica nel corso del tempo. Quando due spirali massicce entrano in collisione, le grandi quantità di gas che contengono, si trasformano rapidamente in stelle mentre la struttura di disco è distrutta, ciò crea una galassia ellittica gigante, povera di gas.

La nostra galassia, la Via Lattea, non è certo stata risparmiata dai tumulti. Delle misurazioni precise sulle velocità delle stelle vicine hanno provato che alcune di loro avevano un'origine esterna alla Via Lattea. La loro traiettoria anomala contiene il ricordo della loro cattura e della loro assimilazione forzata. Inoltre, si è

De plus, on a découvert en 1994 que notre galaxie était en train d'absorber la galaxie naine du Sagittaire en lui arrachant une longue traînée d'étoiles. Cette galaxie agonise depuis plusieurs milliards d'années. C'est un corps disloqué qui finit de se dissoudre à chaque révolution autour du monstre qu'est la Voie lactée. Ses étoiles se disperseront finalement dans toute la galaxie, ne gardant de leur origine qu'une dynamique un peu particulière. Depuis lors, six autres traînées de galaxies naines ou d'amas globulaires (ces petits groupes concentrés d'étoiles qui vagabondent dans le halo) en cours de dislocation ont été identifiées. L'étude de ces migrants en train de se mélanger à la population locale laisse penser que des centaines de petites galaxies ont déjà été absorbées par notre Voie lactée.

Jusqu'à présent, aucune collision n'a mis en péril la belle structure en spirale de la Voie lactée, car les assaillants étaient trop petits pour la détruire. Mais, quand nous tomberons nez à nez sur Andromède, autre grande galaxie spirale, ce sera une autre paire de manches. Les deux grandes spirales vont s'emmêler les pattes et se mélanger en une grande galaxie elliptique animée d'une immense flambée d'étoiles. Adieu majestueux bras spiraux et disque filiforme ! Nous deviendrons une grosse galaxie joufflue. Ce ne sera tout de même pas avant quatre milliards d'années.

Si les galaxies naines sont des structures formées en grand nombre dans l'Univers jeune et qui ont fusionné par collisions successives, il arrive aussi que de nouvelles galaxies naines se forment suite à des collisions de grandes galaxies qui laissent des traînées d'étoiles orphelines. Celles-ci recombinent parfois leurs éléments épars en un tout cohérent. Découvertes dans les années 1990, ce sont les seules galaxies, dans l'Univers proche, dont

scoperto nel 1994 che la nostra galassia stava per assorbire la galassia nana del Sagittario portandogli via una lunga scia di stelle. Questa galassia sta morendo da molti miliardi di anni. È un corpo smembrato che finisce di dissolversi ad ogni rivoluzione intorno al mostro che è la Via Lattea. Infine, le sue stelle si disperderanno in tutta la galassia, conservando della loro origine solo una dinamica un po' particolare. Nel frattempo, sono state identificate sei altre scie di galassie nane o di ammassi globulari (questi piccoli gruppi concentrati di stelle che vagabondano nell'alone) in fase di smembramento. Lo studio di questi migranti, che si stanno mescolando alla popolazione locale, lascia pensare che centinaia di piccole galassie siano già state assorbite dalla nostra Via Lattea.

Fino ad ora, nessuna collisione ha messo in pericolo la bella struttura a spirale della Via Lattea, perché gli aggressori erano troppo piccoli per distruggerla. Ma, quando ci ritroveremo faccia a faccia con Andromeda, altra grande galassia spirale, sarà un altro paio di maniche. Le due grandi spirali s'ingarbuglieranno le zampe e si mescoleranno in una grande galassia ellittica animata da un immenso scoppio di stelle. Addio maestosi bracci a spirale e disco filiforme! Diventeremo una grossa galassia paffuta. Comunque, questo non succederà prima di quattro miliardi di anni.

Se le galassie nane sono strutture formate in gran numero nell'Universo giovane e che si sono fuse attraverso collisioni successive, capita anche che delle nuove galassie nane si formino in seguito a delle collisioni di grandi galassie che lasciano delle scie di stelle orfane. Talvolta queste riordinano i loro elementi sparsi in un tutto coerente. Scoperte negli anni 1990, sono le sole galassie, nell'Universo vicino, di cui possiamo osservare

nous pouvons observer la naissance. On les reconnaît à ce qu'elles présentent une richesse chimique anormale par rapport à leurs cousines de formation primordiale, puisqu'elles recyclent le matériau de galaxies bien plus grandes et plus riches.

Les traînées d'étoiles sont intéressantes à plus d'un titre. Non seulement elles renseignent sur la façon dont la galaxie s'est formée, mais elles fournissent aussi des indices sur la répartition de la matière noire. Car cette fameuse masse manquante, à défaut de savoir *ce qu'elle est*, on aimerait déjà arriver à deviner *où elle est*. Pour en avoir une idée, il faudrait pouvoir suivre le trajet d'étoiles individuelles au cours d'une révolution complète autour de la galaxie. Leur vitesse augmenterait ou diminuerait en fonction du champ gravitationnel, et nous aurions une idée de la distribution de la masse dans la galaxie. Gros problème : il faut 200 ou 300 millions d'années à une étoile pour compléter une orbite. Aucun astronome n'a jamais fait preuve d'une telle endurance. Mais les traînées d'étoiles permettent de contourner le problème. Car on dispose là de files d'étoiles qui suivent momentanément la même orbite et en dessinent le tracé. Elles offrent une sorte de cliché instantané des différentes positions que prendrait une seule étoile si on la regardait pendant quelques dizaines de millions d'années.

Les mesures faites récemment sur la traînée du Sagittaire montrent que la matière noire doit être distribuée dans un volume sphérique autour de la galaxie - et non pas ellipsoïde ou patatoïde, ou autre. C'est un premier point acquis. Dans une prochaine étape, on voudrait savoir si cette matière est distribuée de manière homogène ou bien en grumeaux, car cela révélerait en partie ses secrets. Si l'on trouve une matière en grumeaux, cela

la nascita. Le si riconosce perché presentano una ricchezza chimica anomala rispetto alle loro cugine di formazione primordiale, visto che riciclano il materiale di galassie ben più grandi e più ricche.

Le scie di stelle sono interessanti per più di un motivo. Non solo danno informazioni sul modo in cui la galassia si è formata, ma forniscono anche degli indizi sulla distribuzione della materia oscura. Perché questa famosa massa mancante, senza sapere *che cos'è*, ci piacerebbe riuscire già ad indovinare *dov'è*. Per averne un'idea, bisognerebbe poter seguire il tragitto delle singole stelle al momento di una rivoluzione completa attorno alla galassia. La loro velocità aumenterebbe o diminuirebbe in funzione al campo gravitazionale, e noi avremo un'idea della ripartizione della massa nella galassia. Grosso problema: ad una stella servono 200 o 300 milioni di anni per completare un'orbita. Nessun astronomo ha mai dimostrato una tale resistenza. Ma le scie di stelle permettono di aggirare il problema. Perché lì disponiamo di file di stelle che seguono momentaneamente la stessa orbita e ne disegnano la traccia. Offrono una sorta di fotografia istantanea delle posizioni diverse che assumerebbe una sola stella, se la si guardasse per qualche decina di milioni di anni.

Le misurazioni fatte recentemente sulla scia del Sagittario mostrano che la materia oscura dev'essere distribuita intorno alla galassia in un volume sferico e non ellissoide o patatoide, o altro. È un primo risultato acquisito. Nella tappa successiva, vorremmo sapere se questa materia è distribuita in modo omogeneo oppure in agglomerati, perché questo rivelerebbe in parte i suoi segreti. Se trovassimo una materia in agglomerati, questo prove-

prouverait qu'elle est régie seulement par la gravitation, tandis que, si elle est uniforme, ce serait qu'elle est soumise à d'autres forces qui l'empêchent de se rassembler. La réponse viendra, espère-t-on, de l'étude approfondie des traînées d'étoiles.

Ainsi donc, les galaxies passent leur temps à se percuter et à se crêper le chignon. Mais tranquillement, sans faire de crash, seulement des vagues. Imaginez deux armées immenses qui se traverseraient sans jamais se toucher, puis resteraient liées pour l'éternité en n'en formant plus qu'une. Et où jamais un soldat ne serait tué, mais au contraire où la fécondité serait stimulée par la rencontre des deux populations. À chaque nouvelle collision, des flambées d'étoiles s'allument des deux côtes. L'interpénétration vous transforme une galaxie et lui fouette les sangs comme rien d'autre. Faites l'amour, pas la guerre, tel est le message des carousels d'étoiles qui se tamponnent dans les cieux.

rebbe che sarebbe regolata solo dalla gravità, mentre, se fosse uniforme, sarebbe sottomessa ad altre forze che le impedirebbero di raggrupparsi. La risposta arriverà, si spera, dallo studio approfondito delle scie di stelle.

Dunque, le galassie passano il loro tempo a scontrarsi e a prendersi per i capelli. Ma in modo tranquillo, senza fare schianti, solo delle onde. Immaginate due armate immense che si attraverserebbero senza mai toccarsi, poi resterebbero legate per sempre formandone una sola. E dove un soldato non sarebbe mai ucciso, ma al contrario, dove la fecondità sarebbe stimolata dall'incontro delle due popolazioni. Ad ogni nuova collisione, scoppi di stelle si accendono da entrambi gli schieramenti. L'integrazione vi trasforma una galassia e le dà forza come nient'altro. Fate l'amore, non la guerra, questo è il messaggio delle giostre di stelle che si tamponano nei cieli.

Concordancier

La vie dans le système solaire

La vita nel sistema solare

1 Inventaire	2	3	4	5 Concordance	6	7
Désignation en LD	Référence	Catégorie	Champ/Filtre/domaine	Concordant	Réf. source	Grammaire
Canal, -aux	2,a	Substantif Masc. Sing.	Conduit artificiel	Canale/mezzo	1	Substantif Masc. Sing.
Lagon	1,a	Substantif Masc. Sing.	Maritime	Laguna	1	Substantif Fém. Sing.
Fût-ce		Conjonction		Neppure	1	Conjonction
Face cachée de la Lune		Expression figée		Faccia nascosta		Expression figée
Emetteur radio	1,a	Substantif Masc. Sing.	Télécommunication	Trasmittitore radio	1	Substantif Masc. Sing.
Faire du + sport (planeur)		Verbe trans.		Andare con l'aliante		Verbe intrans.
Creuser	2,b	Verbe trans. dir.		Approfondire	1	Verbe trans.
Montrer le bout du nez	Sens imagé	Expression figée		Mostrare la punta del naso	1, sens imagé	Expression figée
Vaquer à	1,b	Verbe : Empl. Trans. Indir.	S'occuper de	Occuparsi di	1	Verbe intrans.
Miteux	2,b	Adjectif	Synonyme de misérable, pauvre	Misero, povero	1	Adjectif
Saurien	1,a	Substantif Masc. Plur.	Herpétologie	Sauri, sottordine di rettili squamati	1	Substantif Masc. Plur.
Confectionner	1,a	Verbe trans.		Costruire	1	Verbe trans.
S'ébattre	I	Verbe pronom.		Divertirsi	1	Verbe intrans.

Turbiner	2,a	Verbe intrans.		Sgobbare	1	Verbe intrans.
Sans relâche		Adverbe		Senza sosta, continuamente	1	Adverbe
Opiniâtre	2	Adjectif		Ostinato, tenace	1	Adjectif
Réservoir (de la vie)	2 emploi figuré	Substantif Masc. Sing.	Biologie	Serbatoio (della vita)	1 emploi figuré	Substantif Masc. Sing.
Foisonnant	I	Adjectif		Abbondante	1	Adjectif
Garder sous le pied	Sens imagé	Expression figée		Tenere da parte	Sens imagé	Expression figée
Gager que	2	Verbe + complétive avec que	Émettre une opinion, un avis, avec l'idée de pari pour la renforcer.	Scommettere che	1	Verbe trans. + che
Fabriquer	1,a	Verbe trans.	Faire	Creare, fabbricare	1	Verbe trans.
Inconcevable	B,1	Adjectif	Usuel	Inconcepibile, impensabile	1	Adjectif
Alien		Substantif Masc. Sing. Emprunt de l'anglais	Anglicisme	Alien		Substantif Masc. Sing. Emprunt de l'anglais
Dérangé	2,a	Adjectif		Folle, pazzo	1	Adjectif
Solvant	I	Substantif Masc. Sing.	Chimie Substance le plus souvent liquide qui a la propriété de dissoudre une autre substance	Solvente	1	Substantif Masc. Sing.
C'est-à-dire		Conjonction		Ovvero, ossia, vale a dire	1	Conjonction
Accueillir en son sein	1,b	Verbe trans.		Accogliere al suo interno	1	Verbe trans.
Brassage	I	Substantif Masc. Sing.	Technique	Mescolanza	1	Substantif Fém. Sing.
Tambour	1,e	Substantif Masc. Sing.	Technique	Tamburo della lavatrice	1	Substantif Masc. Sing.
Se moucher	3	Verbe pronom.	<i>Emploi pronom.</i> Faire sortir ce qui est	Soffiarsi il naso	1	Verbe trans. Em-

			dans le nez			ploi pronom.
Ribambelle	A	Substantif Fém. Sing.		Sfilza	1	Substantif Fém. Sing.
S'accrocher aux basques de qqn	1	Expression figée	Familier	Seguire da vicino	1	Verbe trans.
« Terrocentrique »		Adjectif, néologisme	Synonyme de géocentrique	“Terrocentrico”		Adjectif, néologisme
Ailleurs	I	Adverbe		Altrove	1	Adverbe
Détenir	I	Verbe trans.		Possedere	1	Verbe trans.
Biais	B,1	Substantif Masc. Sing.		Alterazione	1	Substantif Fém. Sing.
Se plaire	I	Verbe pronom.		Compiacersi	1	Verbe pronom.
Prémisse	I	Substantif Fém. Sing.		Premessa	1	Substantif Fém. Sing.
Passionnant	I	Adjectif		Affascinante	1	Adjectif
Appui	I	Substantif Masc. Sing.		Appoggio, sostegno, supporto	1	Substantif Masc. Sing.
Pied-à-terre	I	Substantif Masc. Sing.		Alloggio, posto dove stare, appartamento	1	Substantif Masc. Sing.
S'étaler	I	Verbe pronom.		Estendersi	1	Verbe pronom.
Havre	I	Substantif Masc. Sing.		Oasi	1	Substantif Fém. Sing.
Héberger	I	Verbe trans.		Ospitare, alloggiare, albergare	1	Verbe trans.
Ebats	I	Substantif Masc. Plur.	Généralement au pluriel	Sollazzi	1	Substantif Masc. Plur.
Consort	I	Substantif Masc. Sing.		Consorte	1	Substantif Masc. Sing.
Figé	I	Adjectif		Fermo, immobile	1	Adjectif
Dissoudre	3,B	Verbe trans.		Dissolvere	1	Verbe trans.
Brasser	2	Verbe trans.		Mescolare	1	Verbe trans.
S'envoyer	I	Verbe trans. pronom.		Sprigionarsi	1	Verbe trans. pro-

						nom.
Infime	1,a	Adjectif		Infimo, insignificante	1	Adjectif
Recoin	1,a	Substantif Masc. Sing.		Angolo	1	Substantif Masc. Sing.
Esquif	I	Substantif Masc. Sing.	Registre littéraire	Scialuppa, barchetta	1	Substantif Fém. Sing.
S'acharner	2,a	Verbe trans. Emploi pronom.		Ostinarsi	1	Verbe intrans. pronom.
Dénicher	2	Verbe trans.		Stanare, scovare	1	Verbe trans.
Aiguiser	B,2	Verbe trans.	Sens figuré	Affinare il talento	1	Verbe trans.
S'épanouir (référence aux cellules)	2, a	Verbe trans. pronom.		Svilupparsi (riferimento alle cellule)	1	Verbe trans. pronom.
Tiré du néant		Expression figée		Venuto fuori dal nulla	1	Expression figée
S'ennuyer ferme	B,2	Verbe trans. pronom.	Registre familier	Annoiarsi a morte	1	Verbe trans. pronom.
Soulagé	C,1	Adjectif		Sollevato	1	Adjectif
Ramer dans	1	Verbe intrans.	Emploi métaphorique	Remare	1	Verbe intrans.
(immensité) Laitouse	I	Adjectif		(immensità) Lattea	1	Adjectif
Déguster	1	Verbe trans.		Gustare	1	Verbe trans.
Brochette	I	Substantif Fém. Sing.		Spiedino	1	Substantif Masc. Sing.
Remuer	A,1	Verbe trans.		Spostare di posto	1	Verbe trans.
Débusquer	A,1	Verbe trans.		Stanare, scovare	1	Verbe trans.
Taiseuse	I	Adjectif		Muta, silenziosa	1	Adjectif
Soucoupe volante	C,1	Substantif Fém. Sing.		Disco volante Oggetto volante non identificato, di origine extraterrestre	1	Substantif Masc. Sing.
Ouf !		Interjection		Finalmente	1	Interjection
Quête	A,1	Substantif Fém. Sing.		Ricerca	1	Substantif Fém. Sing.

Coincer	B,1	Verbe trans.		Catturare, intrappolare, prendere	1	Verbe trans.
Soulagement	A,1	Substantif Masc. Sing.		Sollievo	1	Substantif Masc. Sing.
Couru	A	Adjectif		Frequentati	1	Adjectif
Guide du Routard		Substantif Fém. Sing.	Registre familial	Guida per autostoppisti	1	Substantif Fém. Sing.
Solarien	I	Adjectif	Du soleil	Del Sole	1	Préposition + substantif

Un petit tour sur Mars

Un piccolo giro su Marte

1 Inventaire	2	3	4	5 Concordance	6	7
Désignation en LD	Référence	Catégorie	Champ/Filtre/domaine	Concordant	Réf. source	Grammaire
À la ronde	III,A	Location adverbiale	<i>En partic.</i> [Pour exprimer une surface approximative]	Per miglia e miglia		Location adverbiale
Sentier de la vie		Substantif Masc. Sing.		Sentiero della vita		Substantif Masc. Sing.
Être sur une fausse piste		Expression figée		Essere su un vicolo cieco		Expression figée
Rocaille	A,1	Substantif Fém. Sing.		Pietrame	1	Substantif Masc. Sing.
Frisquet	I	Adjectif	Registre familial	Fresco/freddino	1	Adjectif
Regardante	2,a	Adjectif	Registre familial	Guardingo	1	Adjectif
Pique-niquer	I	Verbe intrans.		Fare un pic-nic	1	Verbe trans.
Troublant	B	Adjectif		Sconcertante	1	Adjectif
Nervure	I	Substantif Fém. Sing.		Nervatura	1	Substantif Fém. Sing.
Martien	I	Adjectif		Marziano	1	Adjectif
Observation	I	Substantif Fém. Sing.		Osservazione	1	Substantif Fém.

						Sing.
Géométrie	I	Adjectif		Geometrico	1	Adjectif
Grande lunette	B,1,c	Substantif Fém. Sing.		Telescopio	1	Substantif Masc. Sing.
Roche	I	Substantif Fém. Sing.	Géologie	Roccia	1	Substantif Fém. Sing.
Érosion	I	Substantif Fém. Sing.	Géologie	Erosione	1	Substantif Fém. Sing.
Méthane	I	Substantif Masc. Sing.	Chimie	Metano	1	Substantif Masc. Sing.
C'est bien qui/que	I	Location adverbiale		È proprio	1	Location adverbiale
Mars	I	Substantif Masc. Sing.	Astronomie	Marte	1	Substantif Masc. Sing.
Tout à fait	I	Location adverbiale		Del tutto, completamente	1	Location adverbiale
Asséché	I	Adjectif		Prosciugato	1	Adjectif
Agglutination	I	Substantif Fém. Sing.	Biologie	Agglutinazione	1	Substantif Fém. Sing.
Bloc épars	I	Substantif Masc. Sing.+ adjectif		Blocco isolato	1	Substantif Masc. Sing. + adjectif
S'enchaîner	I	Verbe trans. Emploi pronom.		Incatenarsi	1	Verbe trans. Emploi pronom.
S'accrocher	I	Verbe trans. Emploi pronom.		Avvinghiarsi	1	Verbe trans. Emploi pronom.
Cataracte	I	Substantif Fém. Sing.	Hydrographie	Cascata	1	Substantif Fém. Sing.
Bifurquer	I	Verbe trans. Plan métaphorique		Biforcare	1	Verbe trans. Plan métaphorique
Condamner dans l'œuf		Expression figée		Stroncare sul nascere	1	Expression figée
Débutant	I	Adjectif		Principiante	1	Adjectif

Château d'eau	2,c	Substantif Masc. Sing.	Technologie	Serbatoio idrico	1	Substantif Masc. Sing.
Aqueux	I	Adjectif		Acquoso	1	Adjectif
C'est chose faite		Location adverbiale		È cosa fatta, così è stato fatto	1	Location adverbiale
Couche	I	Substantif Fém. Sing.	Géologie	Strato	1	Substantif Masc. Sing.
Banquise	I	Substantif Fém. Sing.	Géologie	Banchisa	1	Substantif Fém. Sing.
Piégé	I	Adjectif		Intrappolato	1	Adjectif
S'envoler	I	Verbe intrans. pronom.		Volare via	1	Verbe intrans.
Aubaine	I	Substantif Fém. Sing.		Manna dal cielo	1	Substantif Fém. Sing.
Livrer	I	Verbe trans.		Fornire	1	Verbe trans.
Abrité	I	Adjectif		Protetto, riparato	1	Adjectif
Hoquet de vie		Substantif Masc. Sing.	Emploi métaphorique	Singhiozzo di vita	1	Substantif Masc. Sing.
Permafrost	I	Substantif Masc. Sing.	Géomorphologie	Permafrost	1	Substantif Masc. Sing.
Endormi	I	Adjectif		Addormentato	1	Adjectif
Club Méditerranée		Substantif Masc. Sing.		Club Mediterraneo	1	Substantif Masc. Sing.
Froid de canard		Expression figée	Registre familial	Freddo cane,	1	Expression figée
Voire	I	Adverbe		Forse anche, perfino	1	Adverbe
Auscultier	I	Verbe trans.	Sens figuré	Esaminare attentamente	1	Verbe trans.
Stock	B,1,a	Substantif Masc. Sing.		Riserva	1	Substantif Fém. Sing.
Déecté	A	Adjectif		Scoperto	1	Adjectif
Grattouiller		Verbe trans.	Registre familial	Grattare	1	Verbe trans.
Automatisé	B	Adjectif	Technologie	Automatizzato, meccanico	1	Adjectif
Être à l'étude	I	Expression figée		Essere in fase di studio	1	Expression figée

Conquête (de la Lune)	I	Substantif Fém. Sing.		Atterraggio (sulla Luna)	1	Substantif Masc. Sing.
En fonction de	I	Location adverbiale		In base a	1	Location adverbiale
Tourner	C,1	Verbe trans.		Girare	1	Verbe trans.
Ledit	I	Adjectif		Suddetto	1	Adjectif
Lors	I	Adverbe	Exprime l'idée d'une simultanéité temporelle	Al momento di	1	Adverbe
Fenêtre de tir	I	Substantif Fém. Sing.	Astronomie	Finestra di tiro	1	Substantif Fém. Sing.
Échantillon	B,1,β	Substantif Masc. Sing.	Domaines scientifique et technologique	Campione	1	Substantif Masc. Sing.
S'écrier	A	Verbe pronom.		Gridare	1	Verbe trans.
Ravisement	B,1	Substantif Masc. Sing.	Domaine mystique	Estasi	1	Substantif Fém. Sing.
Abstraction faite de	I	Location adverbiale	Faire abstraction de qqc	A prescindere da, a parte + compl. Ogg.	1	Location adverbiale
Argument	B	Substantif Masc. Sing.	P. ext. Indice, preuve tirée des faits, de l'expérience	Motivazione, ragione	1	Substantif Fém. Sing.
Avoir le cafard	B	Expression figée	Sens figuré, registre familier	Essere triste, malinconico, sentirsi giù	1	Verbe + adjectif
Se ficher de	V	Verbe pronom.	Empl. Pron. Se moquer, n'avoir pas cure	Non preoccuparsi	1	Verbe pronom.
Impesanteur	I	Substantif Masc. Sing.	Physique	Assenza di gravità	1	Substantif+ prép.+substantif
Brin (d'herbe)	II,A	Substantif Masc. Sing.		Filo (d'erba)	1	Substantif Masc. Sing.
Laminoir	I	Substantif Masc. Sing.		Laminatoio	1	Substantif Masc. Sing.
Tornade	A	Substantif Masc. Sing.	Météorologie	Tempesta	1	Substantif Fém. Sing.
Précipice	A	Substantif Masc.		Precipizio	1	Substantif Masc.

		Sing.				Sing.
Craindre	I	Verbe trans.		Essere orribile	1	Verbe intrans. + adjectif
Casque	I	Substantif Masc. Sing.	Protection	Casco	1	Substantif Masc. Sing.
Coque	2,a	Substantif Masc. Sing.	Protection, plan métapho- rique	Guscio	1	Substantif Masc. Sing.
Cuirasse	A,1	Substantif Fém. Sing.	Protection	Corazza	1	Substantif Fém. Sing.
Bouclier	A	Substantif Masc. Sing.	Protection	Scudo	1	Substantif Masc. Sing.
Chair	A	Substantif Fém. Sing.		Carne	1	Substantif Fém. Sing.
En charpie	I	Location adverbiale		A brandelli	1	Location adver- biale
Prendre à bras-le- corps		Expression figée		Affrontare	1	Verbe trans.
Bonhomme Miche- lin		Substantif Masc. Sing.		Omino Michelin	1	Substantif Masc. Sing.
Gambader	A	Verbe		Saltellare, scorrazzare	1	Verbe
Élégamment	2,a	Adverbe		Elegantemente	1	Adverbe
Périple	I	Substantif Masc. Sing.	Géographie	Periplo	1, b	Substantif Masc. Sing.
Ne pas tenir (plus) debout	II,A,1,a	Verbe trans.	Ne pas tenir debout (avec va- leur de symptôme). Être sans forces, avoir une mauvaise santé	Reggersi in piedi, stare in piedi	1	Verbe pronom.
S'égailer	II	Verbe pronom.		Sparpagliarsi	1	Verbe pronom.. verbe trans.
Troupeau	I	Substantif Masc. Sing.	Plan métaphorique	Gregge	1	Substantif Masc. Sing.
Berger	I	Substantif Masc.		Pastore	1	Substantif Masc.

		Sing.				Sing.
Fondre	I,A,β	Verbe trans.		Diminuire di volume	1	Verbe trans.
Psychisme	A	Substantif Masc. Sing.		Psiche	1	Substantif Fém. Sing.
Passer en revue	I	Verbe trans.		Passare in rassegna, esaminare	1	Verbe trans.
Conquête	I	Substantif Fém. Sing.	Astronomie	Atterraggio	1	Substantif Fém. Sing.
Faire les délices de qqn	B	Expression figée		Essere la delizia per qualcuno	1	Expression figée
Arraché	I	Adjectif		Staccato	1	Adjectif
Astéroïde	I	Substantif Masc. Sing.	Astronomie	Asteroide	1	Substantif Masc. Sing.
Éjecté	I	Adjectif		Lanciato	1	Adjectif
Débris	B,1	Substantif Masc. Sing.		Detrito	1	Substantif Masc. Sing.
Banquise	A	Substantif Fém. Sing.	Geologie	Banchisa	1	Substantif Fém. Sing.
Camoufler	A	Verbe trans.	Plan métaphorique	Nascondere, mimetizzare	1	Verbe trans.
Nanobactérie	I	Substantif Fém. Sing.	Biologie	Nanobatteri	1	Substantif Fém. Sing.
Nanisme	I	Substantif Masc. Sing.	Pathologie	Nanismo	1	Substantif Masc. Sing.
Invoquer	I	Verbe trans.		Far valere	1	Verbe trans.
S'ensuire	2,a, courant	Verbe pronom.		Seguire	1	Verbe trans.
Tranché	1,c	Adjectif	Nettement établi, marqué	Risolto	1	Adjectif
Trouvaille	A,2	Substantif Fém. Sing.		Scoperta	1	Substantif Fém. Sing.
Bête	I	Substantif Fém. Sing.	Usuel	Organismo	1	Substantif Masc. Sing.
Regorger de	II,A	Verbe trans.		Traboccare di	1	Verbe intrans.
Soufre	A,1	Substantif Masc. Sing.	Chimie	Zolfo	1	Substantif Masc. Sing.

Thermophile	I	Adjectif	Biologie, forme étymologique : themo-, -phile « Qui préfère les températures élevées »	Termofilo	1	Adjectif, forme étymologique : termo-, -filo
Psychrophile		Adjectif	Biologie, forme étymologique : psychro-, phile, (de ψυχρο ζ). « Qui préfère les températures inférieures à celles du corps humain »	Psicrofilo	1	Adjectif, forme étymologique : psicro-, -filo
Halophile	I	Adjectif	Biologie, forme étymologique : halo-, -phile. « (Organisme) qui vit dans les milieux salés »	Alofilo	1	Adjectif, forme étymologique : alo-, -filo
Acidophile	I	Adjectif	Biologie, la forme étymologique : acido-, -phile. « Qui préfère les endroits acides »	Acidofilo	1	Adjectif, forme étymologique : acido-, -filo
Barophile	j	Adjectif	Biologie, forme étymologique : baro-, phile. « Qui est adapté à vivre sous les hautes pressions »	Barofilo	1	Adjectif, forme étymologique : baro-, -filo
Ranger	A	Verbe trans.		Classificare	1	Verbe trans.
Bizarrerie	A,1	Substantif Fém. Sing.		Stranezza, bizzarria	1	Substantif Fém. Sing.
Endogé	I	Adjectif	Biologie	Endogeno	1	Adjectif
Déchet	B,2	Substantif Masc. Sing.		Residuo	1	Substantif Masc. Sing.
Benoîtement	I	Adverbe	Avec un air benoît, doux et calme	Beatamente, tranquillamente	1	Adverbe
Conflagration	A	Substantif Fém. Sing.	Astrophysique	Conflagrazione (dell'universo)	1	Substantif Fém. Sing.
Survivant	I	Adjectif		Sopravvissuto	1	Adjectif

Reprendre le flambeau		Expression figée		Passare il testimone	1	Expression figée
Redémarrer	I	Verbe trans.		Ripartire	1	Verbe trans.
Milieu	I	Substantif Masc. Sing.		Habitat, ambiente	1	Substantif Masc. Sing.
Receler	I	Verbe trans.		Celare	1	Verbe trans.
Soupçonner	I	Verbe trans.		Supporre	1	Verbe trans.
Élargir	I	Verbe trans.		Ampliare	1	Verbe trans.
D'autant	I	Adverbe		Ulteriormente	1	Adverbe
Parvenir	I	Verbe intrans.		Riuscire	1	Verbe intrans.
Envisagé	I	Adjectif		Considerato	1	Adjectif
Endogé	I	Adjectif	Biologie	Endogeno	1	Adjectif
Par endroits	I	Location adverbiale		In alcuni punti, zone	1	Location adverbiale
Enfoui	I	Adjectif		Sepolto, nascosto	1	Adjectif
Forer	I	Verbe trans.		Perforare	1	Verbe trans.
Détecter	I	Verbe trans.		Rivelare la presenza	1	Verbe trans.
DéTECTÉ	I	Adjectif		Rivelato	1	Adjectif
Régner à	I	Verbe intrans.		Dominare, regnare, governare	1	Verbe trans.
Subsister	I	Verbe intrans.		Rimanere	1	Verbe intrans.
Réalimenter	I	Verbe trans.		Rialimentare, ricostituire	1	Verbe trans.
Départager	I	Verbe trans.		Fare lo spareggio	1	Verbe trans.
Pente (du volcan)	I	Substantif Fém. Sing.	Géologie	Pendio (del vulcano)	1	Substantif Masc. Sing.
Réservoir (de glaces)	I	Substantif Masc. Sing.	Géologie	Giacimento (di ghiaccio)	1	Substantif Masc. Sing.
Entretenu (réservoirs liquides entretenus par la chaleur)	I	Adjectif		Trattenuto (giacimenti liquidi trattenuti dal calore)	1	Adjectif
Poche magmatique	I	Substantif Fém. Sing.+adjectif	Géologie	Camera magmatica	1	Substantif Fém. Sing.+ adjectif

Mont Olympus	I	Substantif Masc. Sing.		Monte Olimpo	1	Substantif Masc. Sing.
Prospecter	I	Verbe trans.		Perlustrare	1	Verbe trans.
Écoulement	I	Substantif Masc. Sing.		Flusso, scorrimento	1	Substantif Masc. Sing.
Argile	I	Substantif Fém. Sing.		Argilla	1	Substantif Fém. Sing.
Plateau	I	Substantif Masc. Sing.	Géologie	Altopiano	1	Substantif Masc. Sing.
Structure feuilletée	I	Substantif Fém. Sing.+ adjectif		Struttura stratificata	1	Substantif Fém. Sing.+ adjectif
Réplication	I	Substantif Fém. Sing.		Replicazione	1	Substantif Fém. Sing.
Flopée (une flop- pée de)	I	Substantif Fém. Sing.	Populaire	Moltitudine, grande quantità di	1	Substantif Fém. Sing.
Prometteur	I	Adjectif		Promettente	1	Adjectif
Prospecter	I	Verbe trans.		Perlustrare	1	Verbe trans.
Traque (de la bac- térie)	I	Substantif Fém. Sing.	Biologie	Caccia (al batterio)	1	Substantif Fém. Sing.
Impérativement	I	Adverbe		Assolutamente, necessariamente	1	Adverbe
Ausculter	I	Verbe trans.		Controllare, osservare	1	Verbe trans.
Rabougri	I	Adjectif		Rinsecchito	1	Adjectif
Bidon	I	Substantif Masc. Sing.		Tanica	1	Substantif Fém. Sing.
Stock	I	Substantif Masc. Sing.		Riserva	1	Substantif Fém. Sing.
Place	I	Substantif Fém. Sing.		Posto	1	Substantif Masc. Sing.
Cliché	I	Substantif Masc. Sing.		Fotografia	1	Substantif Fém. Sing.
Cratère (d'impact)	I	Substantif Masc. Sing.	Astronomie (météoritique)	Cratere (da impatto)	1	Substantif Masc. Sing.

Abriter	I	Verbe trans.		Ospitare	1	Verbe trans.
Déposé	I	Adjectif		Depositato	1	Adjectif
Jadis	I	Adverbe		In passato	1	Adverbe

L'autre Europe						
L'altra Europa						
1 Inventaire	2	3	4	5 Concordance	6	7
Désignation en LD	Référence	Catégorie	Champ/Filtre/domaine	Concordant	Réf. source	Grammaire
Épineux	I	Adjectif		Spinoso	1	Adjectif
Musarder	I	Verbe intrans.	Registre familial	Gironzolare	1	Verbe intrans.
Penser d'ailleurs	I	Verbe trans.		Pensare inoltre	1	Verbe trans.
Rayonnement	I	Substantif Masc. Sing.	Physique	Irraggiamento	1	Substantif Masc. Sing.
À l'écart	I	Adverbe		Lontano	1	Adverbe
Penser	2,A,1	Verbe trans.		Immaginare	1	Verbe trans.
Abriter	I,A	Verbe trans.		Ospitare	1	Verbe trans.
Autarcie	I	Substantif Fém. Sing.	Politique	Autarchia	1	Substantif Fém. Sing.
Souche (de bactéries)	I	Substantif Fém. Sing.	Biologie	Ceppo (di batteri)	1	Substantif Masc. Sing.
Déconnecté	I	Adjectif		Scollegato, isolato	1	Adjectif
Chercher au diable	I	Expression figée		Cercare chissà dove	1	Expression figée
Endroit	I	Substantif Masc. Sing.		Luogo	1	Substantif Masc. Sing.
Écllosion	I	Substantif Fém. Sing.	Métaphore	Nascita	1	Substantif Fém. Sing.
Dater	I	Verbe trans.		Datate	1	Verbe trans.
Apparenté	I	Adjectif		Affine, collegato	1	Adjectif
Mijoter	I	Verbe trans.		Cuocere a fuoco lento	1	Verbe trans.
Chaudron	I	Substantif Masc.		Calderone	1	Substantif Masc.

		Sing.				Sing.
Amorçage	I	Substantif Masc. Sing.		Inizio	1	Substantif Masc. Sing.
Démarrage	I	Substantif Masc. Sing.		Avvio, inizio, avvia- mento	1	Substantif Masc. Sing.
Glace	I	Substantif Fém. Sing.		Ghiaccio	1	Substantif Masc. Sing.
Craquelé	I	Adjectif		Crepatto	1	Adjectif
Pointer du doigt	I	Verbe trans.		Indicare	1	Verbe trans.
Moindre	I	Adjectif		Inferiore	1	Adjectif
Faire face à (la Lune)	I	Verbe intrans.		Affacciarsi	1	Verbe intrans.
Force jovienne	I	Substantif Fém. Sing.+ Adjectif	Astronomie	Forza gioviana	1	Substantif Fém. Sing. + Adjectif
Jupitérien	I	Adjectif	Astronomie	Gioviale	1	Adjectif
Chamboulé	I	Adjectif	Registre familial	Sconvolto, cambiato, stravolto, scosso	1	Adjectif
Tanguer	I	Verbe intrans.	Usage métaphorique	Dondolare	1	Verbe intrans.
Remué	I	Adjectif		Mescolato	1	Adjectif
Tiède	I	Adjectif		Tiepido	1	Adjectif
Orifice volcanique	I	Adjectif	Géologie	Orifizio vulcanico	1	Adjectif
Volcan sous-marin	I	Substantif Masc. Sing. + adjectif	Géologie	Vulcano sottomarino	1	Substantif Masc. Sing. + adjectif
Bactérie sous- marine	I	Substantif Fém. Sing. + adjectif	Biologie	Batterio sottomarino	1	Substantif Masc. Sing. + adjectif
Chimiosynthèse	I	Substantif Fém. Sing.	Biologie	Chemosintesi	1	Substantif Fém. Sing.
Avoisiner	I	Verbe trans.		Essere vicino a	1	Verbe intrans.
Faire bombance	I	Expression figée	Registre familial, emploi métapho- rique	Fare una scorpacciata	1	Expression figée
Festoyer	I	Verbe trans.	Emploi métaphorique	Fare festa	1	Verbe trans.
Berceau	I	Substantif Masc.	Emploi métaphorique	Culla	1	Substantif Fém.

		Sing.				Sing.
Débarquer	I	Verbe intrans.		Sbarcare, arrivare, scendere	1	Verbe intrans.
Creuser	I	Verbe trans.		Cercare, approfondire	1	Verbe trans.
Faille (de la banquise)	I	Substantif Fém. Sing.	Géologie	Crepa della banchisa	1	Substantif Fém. Sing.
Subglaciaire	I	Adjectif	Géologie	Subglaciale	1	Adjectif
Bouclier	I	Substantif Masc. Sing		Barriera	1	Substantif Fém. Sing.
Crasher	I	Verbe trans.	Dérivé d'un emprunt de l'anglais, emploi familier	Schiantare	1	Verbe trans.
Loyaux	I	Adjectif		Leale	1	Adjectif
Soupe primitive	I	Substantif Fém. Sing. + adjectif	Désignation métaphorique multitermine	Brodo primordiale	1	Substantif Masc. Sing. + adjectif

Titan						
Titano						
1 Inventaire	2	3	4	5 Concordance	6	7
Désignation en LD	Référence	Catégorie	Champ/Filtre/domaine	Concordant	Réf. source	Grammaire
Bien sûr	I	Adverbe		Beninteso	1	Adverbe
Radiateur	I	Substantif Masc. Sing.	Technique	Radiatore	1	Substantif Masc. Sing.
En permanence	I	Adverbe		Sempre, costantemente	1	Adverbe
Empêcher	I	Verbe trans.	Actance du verbe : ne pas empêcher que ne + verbe à l'indicatif il n'empêche qu'il n'est pas impossible	Impedire	1	Verbe trans.
À nouveau	I	Adverbe		Di nuovo	1	Adverbe
Douillette	B,1	Adjectif	Métaphore humaine	Sensibile	1	Adjectif
Larguer	I	Verbe trans.	Populaire, emploi familier	Sganciare, lasciare,	1	Verbe trans.

				lanciare		
Module d'exploration	I	Substantif Masc. Sing.	Astronomie	Modulo di atterraggio	1	Substantif Masc. Sing.
Descendre dans l'atmosphère	I	Verbe intrans.		Scendere nell'atmosfera	1	Verbe intrans.
Parsemé de	A	Adjectif		Cosparso di, ricoperto di	1	Adjectif
Glace d'eau	I	Substantif Fém. Sing.		Ghiaccio d'acqua	1	Substantif Masc. Sing.
Moisson	I	Substantif Fém. Sing.		Raccolta	1	Substantif Fém. Sing.
Prébiotique	I	Adjectif	Biologie	Prebiotico	1	Adjectif
Couche de glace	I	Substantif Fém. Sing.	Géologie	Strato di ghiaccio	1	Substantif Masc. Sing.
Survol	A	Substantif Masc. Sing.	Astronomie	Sorvolo	1	Substantif Masc. Sing.
Cassinien	I	Adjectif	Adjectif résultant de la dérivation du nom de la sonde Cassini, de la mission de l'exploration spatiale Cassini-Huygens	Di Cassini	1	Adjectif
Plongé (dans la nuit)	C,1	Adjectif		Immerso (nella notte)	1	Adjectif
Tache foncée	I	Substantif Fém. Sing. + adjectif		Macchia scura	1	Substantif Fém. Sing. + adjectif
Net	B,2	Adjectif		Netto	1	Adjectif
Tranché	I	Adjectif		Definito	1	Adjectif
Poursuivre	I	Verbe trans.		Continuare	1	Verbe trans.
Taille	I	Substantif Fém. Sing.		Dimensione	1	Substantif Fém. Sing.
Éponge	A,1	Substantif Fém. Sing.	Usuel	Spugna	1	Substantif Fém. Sing.
Tributaire	A,2	Adjectif		Tributario, dipendente	1	Adjectif

				da		
Diluvien	B	Adjectif	Usuel	Torrenziale	1	Adjectif
De ce côté	I	Location adverbiale		Da questo lato, parte	1	Location adverbiale
S'étendre sur (trente de nos années terrestres)	B,1,b	Verbe emploi pronom.	Synonyme de couvrir	Durare (trenta dei nostri anni terrestri)	1	Verbe intrans.
Drainer	I	Verbe trans.	Agriculture	Drenare	1	Verbe trans.
Imprimé	I	Adjectif		Riprodotta	1	Adjectif
En clair	I	Adverbe		In pratica, in poche parole, in altre parole, in parole povere	1	Adverbe
Permanent	I	Adjectif		Permanente di, continuo, costante	1	Adjectif
Réservoir	I	Substantif Masc. Sing.	Géologie	Giacimento	1	Substantif Masc. Sing.
Plancher	II,A,2	Substantif Masc. Sing.	Géologie	Fondo	1	Substantif Masc. Sing.
Quelle féerie !	I	Substantif Fém. Sing.		Stranezza	1	Substantif Fém. Sing.
Provenir (d'où)	I	Verbe intrans.		Provenire (da dove)	1	Verbe intrans.
Renouvellement	I	Substantif Masc. Sing.		Rinnovo, rinnovamento	1	Substantif Masc. Sing.

Encelade						
Encelado						
1 Inventaire	2	3	4	5 Concordance	6	7
Désignation en LD	Référence	Catégorie	Champ/Filtre/domaine	Concordant	Réf. source	Grammaire
S'avérer	I	Verbe emploi pronom.		Risultare	1	Verbe intrans.
Prisé	I	Adjectif		Stimato	1	Adjectif
Déconcertant	I	Adjectif		Sconcertante	1	Adjectif
Bout	I	Substantif Masc. Sing.		Frammento	1	Substantif Masc. Sing.
Glaçon	I	Substantif Masc. Sing.		Ghiaccio	1	Substantif Masc. Sing.
Panache	3,B	Substantif Fém. Sing.		Nube	1	Substantif Fém. Sing.
Éjecté	I	Adjectif		Espulso	1	Adjectif
Silicaté	I	Adjectif	Chimie, minéralogie	Silicatico	1	Adjectif
Un semblant de	2	Substantif Masc. Sing.		Una parvenza di	1	Substantif
Bientôt	I	Adverbe		Presto, subito	1	Adverbe
Teneur (élevée en)	C	Substantif Fém. Sing.		Quantità (elevata di)	1	Substantif Fém. Sing.
Anormalement	I	Adverbe		Insolitamente	1	Adverbe
Se figer	B,1, b	Verbe pronom.		Solidificarsi	1	Verbe pronom.
Gel	A,2	Substantif Masc. Sing.		Congelamento	1	Substantif Masc. Sing.
Sol	B	Substantif Masc. Sing.	Agriculture	Suolo	1	Substantif Masc. Sing.
Stupéfiant	I	Adjectif		Stupefacente	1	Adjectif
Examen serré	I	Substantif Masc. Sing. + adjectif		Esame attento	1	Substantif Masc. Sing. + adjectif
Enfouie	A,2	Adjectif		Sepolta, nascosta	1	Adjectif

Poche (d'eau)	I	Substantif Fém. Sing.	Géologie	Sacca (d'acqua)	1	Substantif Fém. Sing.
Atteindre	2,b	Verbe trans. dir.		Raggiungere	1	Verbe trans.
Glace ammoniacuée	I	Substantif Fém. Sing. + adjectif	Chimique	Ghiaccio ammoniacale	1	Substantif Masc. Sing. + adjectif
Casse-tête	I	Substantif Masc. Sing.	Sens figuré, travail intellectuel complexe qui fatigue l'esprit	Rompicapo	1	Substantif Masc. Sing.
Surchauffé	I	Adjectif		Surriscaldato	1	Adjectif
Jaillir	I	Verbe intrans.		Sgorgare, zampillare, scaturire	1	Verbe intrans.
À gros bouillons	B,1	Location adverbiale		A fiotti	1	Loc. adverbiale

Les Trous noirs De quoi s'agit-il?						
I buchi neri Di cosa si tratta?						
1 Inventaire	2	3	4	5 Concordance	6	7
désignation en LD	Référence	Catégorie	Champ/Filtre/domaine	Concordant	Réf. source	Grammaire
Découler de	B	Verbe intrans.		Provenire da	1	Verbe intrans.
D'office	3,γ	Locution adverbiale		Automaticamente	1	Adverbe
Notion	I	Substantif Fém. Sing.		Nozione	1	Substantif Fém. Sing.
Espace-temps	I	Substantif Masc. Sing.	Physique	Spazio-tempo	1	Substantif Masc. Sing.
Élastique	I	Adjectif		Elastico	1	Adjectif
Cuvette	c	Substantif Fém. Sing.		Concavità	1	Substantif Fém. Sing.
Creusé	I,A,1	Adjectif		Scavato	1	Adjectif
Pastille (de plomb)	I	Substantif Fém. Sing.		Pastiglia (di piombo)	1	Substantif Fém. Sing.
Le bas nylon	I	Substantif Masc.		Collant di nylon	1	Substantif Masc.

		Sing.				Sing.
Pente	I	Substantif Fém. Sing.		Pendenza	1	Substantif Fém. Sing.
Prouesse	I	Substantif Fém. Sing.		Impresa	1	Substantif Fém. Sing.
Graine	I	Substantif Fém. Sing.	Botanique	Seme	1	Substantif Fém. Sing.
Surgir	II, A	Verbe intrans.	Sens figuré	Sorgere	1	Verbe intrans.
Creuser dans	I, A	Verbe intrans.		Scavare in	1	Verbe intrans.
Puits (sans fond)	A,1	Substantif Masc. Sing.		Pozzo (senza fondo)	1	Substantif Masc. Sing.
Franchir	2,a	Verbe trans.		Superare, oltrepassare	1	Verbe trans.
Étoile à neutrons	I	Substantif Fém. Sing.	Astronomie	Stella di neutroni	1	Substantif Fém. Sing.
S'incurver	I	Verbe pronom.		Curvarsi	1	Verbe pronom.
Cuvette	C	Substantif Fém. Sing.		Concavità	1	Substantif Fém. Sing.
R ressortir (de la cuvette)	I	Verbe intrans.		Uscire (dalla concavità)	1	Verbe intrans.
Se trouer	1,A	Verbe pronom.		Bucarsi, scavarsi	1	Verbe pronom.
Frontière (du trou noir)	I	Substantif Fém. Sing.	Physique	Frontiera (del buco nero)	1	Substantif Fém. Sing.
Fusée	2,C	Substantif Fém. Sing.	Astronautique	Astronave	1	Substantif Fém. Sing.
Horizon des événements	I	Substantif Masc. Sing.	Physique	Orizzonte degli eventi	1	Substantif Masc. Sing.
À proximité	I	Location adverbiale		Vicino	1	Adverbe
Déformé	A,1	Adjectif		Deformato	1	Adjectif
Étiré	B	Adjectif		Allungato	1	Adjectif
Un spaghetti	A	Substantif Masc. Sing.		Uno spaghetti	1	Substantif Masc. Sing.
Force de marée	I	Substantif Fém. Sing.	Physique	Forza di marea	1	Substantif Fém.

						Sing.
Atteindre	A,1	Verbe trans.		Raggiungere	1	Verbe trans.
Écartelé	A,1	Adjectif		Smembrato, fatto a pezzi	1	Adjectif
Parvenir jusqu'à	2,c	Verbe intrans.		Pervenire fino a	1	Verbe intrans.
À jamais	I	Adverbe		Per sempre	1	Adverbe
Rayon de visibilité	I	Substantif Masc. Sing.	Vue	Angolo di visuale	1	Substantif Masc. Sing.
Au voisinage	I	Location adverbiale		Nelle vicinanze, in prossimità di	1	Location adverbiale
Incurver	I	Verbe trans.		Curvare	1	Verbe trans.
Zone sombre	I	Substantif Fém. Sing. + adjectif	Astrophysique	Zona scura	1	Substantif Fém. Sing. + adjectif
Écarté	I	Adjectif		Separato	1	Adjectif
Plieur de fourchettes	I	Substantif Masc. Sing.		Piegatore di forchette	1	Substantif Masc. Sing.
Plieur de lumière	I	Substantif Masc. Sing.	Plan métaphorique	Piegatore di luce	1	Substantif Masc. Sing.
Cacher	I	Verbe trans.		Nascondere	1	Verbe trans.
Frôler	I	Verbe trans.		Sfiorare	1	Verbe trans.
Se boucler	I	Verbe pronom.		Chiudersi	1	Verbe pronom.
Photon	I	Substantif Masc. Sing.	Physique	Fotone	1	Substantif Masc. Sing.
Prisonnier	I	Adjectif		Prigioniero	1	Adjectif
Tapi	I	Adjectif		Nascosto	1	Adjectif
Géodésique	I	Adjectif	Géodésie	Geodetico	1	Adjectif
Poussée	I	Substantif Fém. Sing.	Physique	Spinta	1	Substantif Fém. Sing.
Appuyer sur	I	Verbe intrans.		Schiacciare su	1	Verbe intrans.
Accélérateur	I	Substantif Masc. Sing.		Acceleratore	1	Substantif Masc. Sing.
Repoussé	I	Adjectif		Respinto	1	Adjectif

Braquer vers	I	Verbe intrans.		Puntare verso	1	Verbe intrans.
Davantage	I	Adverbe		Più	1	Adverbe
Hublot	I	Substantif Masc. Sing.	Astronomie	Oblò	1	Substantif Masc. Sing.
Vaisseau	I	Substantif Masc. Sing.	Astronomie	Navicella	1	Substantif Fém. Sing.
Correspondre à	I	Verbe intrans.		Corrispondere a	1	Verbe intrans.
Gouvernail	I	Substantif Masc. Sing.		Timone	1	Substantif Masc. Sing.
Entretenir	I	Verbe trans.		Mantenere	1	Verbe trans.
Virage	I	Substantif Masc. Sing.	Rare, action de virer	Virata	1	Substantif Fém. Sing.
Ramener à	I	Verbe intrans.		Riportare a	1	Verbe intrans.
Ressentir	I	Verbe trans.		Sentire, percepire	1	Verbe trans.
Rectiligne	I	Adjectif	Géométrie	Rettilineo	1	Adjectif
Défiler	I	Verbe trans.		Scorrere	1	Verbe trans.
Frontière	I	Substantif Fém. Sing.	Astrophysique	Frontiera	1	Substantif Fém. Sing.
Filer tout droit	I	Verbe intrans.		Andare dritto	1	Verbe intrans.
Plaqué	I	Adjectif		Bloccato	1	Adjectif
Attraction du trou noir	I	Substantif Fém. Sing. + adjectif	Physique	Attrazione del buco nero	1	Substantif Fém. Sing. + adjectif
Croissant (noir)	I	Substantif Masc. Sing. + adjectif	Géométrie	Mezza luna (nera)	1	Substantif Fém. Sing. + adjectif
Longer	I	Verbe trans.		Fiancheggiare	1	Verbe trans.
Piqueté de	I	Adjectif		Cosparso di	1	Adjectif
Rétrécit	I	Adjectif		Rimpicciolito	1	Adjectif
Frôler	I	Verbe trans.		Sfiorare	1	Verbe trans.
Avaler	I	Verbe trans.	Emploi métaphorique	Mandare giù	1	Verbe trans.
Exacerbé	I	Adjectif		Esacerbato	1	Adjectif
Référentiel	I	Substantif Masc. Sing.		Parametro di riferimento	1	Substantif Masc. Sing.

Trajet	I	Substantif Masc. Sing.		Tragitto	1	Substantif Masc. Sing.
Se retourner	I	Verbe pronom.		Girarsi	1	Verbe pronom.
S'inverser	I	Verbe pronom.		Invertirsi	1	Verbe pronom.
Résolument	I	Adverbe		Decisamente	1	Adverbe
Trou noir relative	I	Substantif Masc. Sing. + adjectif	Physique	Buco nero relativistico	1	Substantif Masc. Sing. + adjectif
Assise théorique	I	Substantif Fém. Sing. + adjectif		Solida base teorica	1	Substantif Fém. Sing. + adjectif
Étayer	I	Verbe trans.		Confermare	1	Verbe trans.

Peut-on les détecter ?

Si possono rilevare?

1 Inventaire	2	3	4	5 Concordance	6	7
Désignation en LD	Référence	Catégorie	Champ/Filtre/domaine	Concordant	Réf. source	Grammaire
Longueur d'onde	I	Substantif Fém. Sing.	Physique	Lunghezza d'onda	1	Substantif Fém. Sing.
Rayonnement électromagnétique	I	Substantif + adjectif	Physique	Radiazione elettromagnetica	1	Substantif + adjectif
Tache aveugle	I	Substantif Fém. Sing. + adjectif		Punto cieco	1	Substantif + adjectif
Dispositif	I	Substantif Masc. Sing.	Technologie	Dispositivo	1	Substantif Masc. Sing.
Détection	I	Substantif Fém. Sing.		Rilevazione	1	Substantif Fém. Sing.
Effondrement	I	Substantif Masc. Sing.	Physique	Collasso	1	Substantif Masc. Sing.
Étoile supermassive	I	Substantif Fém. Sing. + adjectif	Astrophysique	Stella più massiccia	1	Substantif Fém. Sing. + adjectif
Particule	I	Substantif Fém. Sing.	Biologie	Particella	1	Substantif Fém.

						Sing.
Vestige des étoiles	I	Substantif Masc. Sing.	Astrophysique	Resto di stelle	1	Substantif Masc. Sing.
Le moyen de	I	Substantif Masc. Sing.		Il modo di	1	Substantif Masc. Sing.
Faire signe	I	Verbe trans.		Fare un cenno	1	Verbe trans.
Étoile partenaire	I	Substantif Fém. Sing.	Astronomie, terminologie stable à partir d'une isotopie cognitive métaphorique	Stella compagno	1	Substantif Fém. Sing.
(étoile) Célibataire	I	Adjectif	Isotopie humaine	(stella) Single	1	Adjectif
Évoluer par couples	I	Verbe intrans.		Sviluppare in coppie	1	Verbe intrans.
Groupé	I	Adjectif		Raggruppato	1	Adjectif
Récolter des informations	I	Verbe trans.		Raccogliere informazioni	1	Verbe trans.
Conjoint	I	Substantif Masc. Sing.		Coniuge	1	Substantif Masc. Sing.
Suffire de	I	Verbe intrans.		Bastare	1	Verbe intrans.
Oscillation	I	Substantif Fém. Sing.	Physique	Oscillazione	1	Substantif Fém. Sing.
Gravitationnel	I	Adjectif	Physique	Gravitazionale	1	Adjectif
Un jupiter chaud	I	Substantif Masc. Sing. + adjectif		Un giove caldo	1	Substantif Masc. Sing. + adjectif
Imprimer à	I	Verbe intrans.		Imprimere a	1	Verbe intrans.
Balancement	I	Substantif Masc. Sing.	Physique	Oscillazione	1	Substantif Fém. Sing.
Couple de (valseurs)	I	Substantif Masc. Sing.	Par analogie avec les corps célestes	Coppia di (ballerini che ballano il valzer)	1	Substantif Fém. Sing.
Valse	I	Substantif Masc. Sing.		Valzer	1	Substantif Masc. Sing.
Déecté	I	Adjectif	Science	Rilevato	1	Adjectif
Rayonnement X	I	Substantif Masc.	Physique	Radiazione X	1	Substantif Fém.

		Sing.				Sing.
Particule	I	Substantif Fém. Sing.	Physique	Particelle	1	Substantif Fém. Sing.
Électrisé		Adjectif	Physique	Elettrizzato		Adjectif
Effondré	I	Adjectif		Collassato	1	Adjectif
Étoile épuisée	I	Substantif Fém. Sing.		Stella esaurita/ consumata	1	Substantif Fém. Sing.
Dépasser	I	Verbe trans.		Superare	1	Verbe trans.
S'effondrer en	I	Verbe pronom.		Cadere/ collassare in	1	Verbe intrans.
Pointer dans une liste	I	Verbe intrans.		Indicare nella lista	1	Verbe intrans.
Source (de rayonnement X)	I	Substantif Fém. Sing.	Physique	Fonte di radiazione X	1	Substantif Fém. Sing.
Au sein de	I	Location adverbiale		All'interno	1	Location adverbiale
Rapproché	I	Adjectif		Ravvicinato	1	Adjectif
Puits de gravité	I	Substantif Masc. Sing.	Astrophysique	Pozzo gravitazionale	1	Substantif Masc. Sing.
Enveloppe	I	Substantif Fém. Sing.		Involucro	1	Substantif Masc. Sing.
Extérieur	I	Adjectif		Esterno	1	Adjectif
Aspiré	I	Adjectif		Risucchiato	1	Adjectif
Caractéristique	I	Substantif Fém. Sing.		Caratteristica	1	Substantif Fém. Sing.
Spectrale	I	Adjectif	Physique	Spettrale	1	Adjectif
Capture	I	Substantif Fém. Sing.		Cattura	1	Substantif Fém. Sing.
Une géante	I	Substantif Fém. Sing.	Emploi métaphorique	Una gigante	1	Substantif Fém. Sing.
Arracher	I	Verbe trans.		Strappare, togliere	1	Verbe trans.
Orbiter autour	I	Verbe intrans.	Astronomie	Orbitare attorno	1	Verbe intrans.
Promiscuité	I	Substantif Fém. Sing.		Promiscuità	1	Substantif Fém.

						Sing.
Grain (de sable)	I	Substantif Masc. Sing.		Granello (di sabbia)	1	Substantif Masc. Sing.
Sangsue	I	Substantif Fém. Sing.	Zoologie	Sanguisuga	1	Substantif Fém. Sing.
Détection	I	Substantif Fém. Sing.		Rilevazione	1	Substantif Fém. Sing.
Gaz	I	Substantif Masc. Sing.	Chimie	Gas	1	Substantif Masc. Sing.
Surchauffé	I	Adjectif		Surriscaldato	1	Adjectif
Au fond de	I	Location adverbiale		In fondo a	1	Location adver- biale
En cours de	I	Location adverbiale		In corso di, in fase di	1	Location adver- biale
Absorption	I	Substantif Fém. Sing.		Assorbimento	1	Substantif Fém. Sing.
Biscornu	I	Adjectif	Registre familial, adjectif sémanti- quement connoté de critique	Arzigogolato	2	Adjectif
Vu par la tranche	I	Adjectif		Osservato di taglio	1	Adjectif
Étalé au-dessus et en dessous	I	Adjectif		Disposto al di sopra e al di sotto	1	Adjectif
Percé	I	Adjectif		Cavo, scavato	1	Adjectif
Entourage immé- diat	I	Substantif Masc. Sing.		Vicinanze (au pluriel)	1	Substantif Fém. Plur.
Massé	I	Adjectif		Riunito	1	Adjectif
Parterre	2,b	Substantif Masc. Sing.	Par analogie	Corte	1	Substantif Fém. Sing.

Trous noirs et sursauts gamma						
Buchi neri e lampi gamma						
1 Inventaire	2	3	4	5 Concordance	6	7
Désignation en LD	Référence	Catégorie	Champ/Filtre/domaine	Concordant	Réf. source	Grammaire
Défroisser	A	Verbe trans.		Togliere le pieghe	1	Verbe trans.
Chargé de	I	Adjectif		Incaricato di	1	Adjectif
Expérience nucléaire	A,1	Substantif Fém. Sing.	Physique	Esperimento nucleare	1	Substantif Masc. Sing.
Bouffée de	I	Substantif Fém. Sing.		Scarica	1	Substantif Fém. Sing.
Rayonnement gamma	I	Substantif Masc. Sing.	Physique	Radiazione gamma	1	Substantif Fém. Sing.
QG	I	Siglaion		Quartier generale	1	Substantif Masc. Sing.
Ingéniosité	I	Substantif Fém. Sing.		Ingegno	1	Substantif Masc. Sing.
S'emparer de	I	Verbe pronom.		Impossessarsi	1	Verbe pronom.
Sursaut gamma	I	Substantif Masc. Sing.	Physique	Lampo gamma	1	Substantif Masc. Sing.
Du même acabit	I	Substantif Masc. Sing.	Registre familier, prosodie sémantique négative	Dello stesso stampo	1	Substantif Masc. Sing.
Détection	I	Substantif Fém. Sing.	Physique	Rilevazione	1	Substantif Fém. Sing.
Courir	I	Verbe intrans.		Circolare	1	Verbe intrans.
Ampleur	I	Substantif Fém. Sing.		Vastità, dimensione	1	Substantif Fém. Sing.
Mystère	I	Substantif Masc. Sing.		Mistero	1	Substantif Masc. Sing.
Sortir le grand jeu	I	Expression figée		Usare i migliori mezzi	1	Expression figée
Oreille d'élite	I	Substantif Fém. Sing.	Emploi métaphorique	Orecchio speciale	1	Substantif Masc. Sing.

Phénomène	I	Substantif Masc. Sing.		Fenomeno	1	Substantif Masc. Sing.
Galactique	I	Adjectif	Astronomie	Galattici	1	Adjectif
Flash	I	Substantif Masc. Sing.	Photon	Lampo	1	Substantif Masc. Sing.
Sursaut	I	Substantif Masc. Sing.	Physique	Lampo	1	Substantif Masc. Sing.
Court	I	Adjectif		Breve	1	Adjectif
Long	I	Adjectif		Lungo	1	Adjectif
Élucider	I	Verbe trans.		Chiarire	1	Verbe trans.
Scinder en deux	I	Verbe intrans.		Divisi, suddivisi in due	1	Verbe intrans.
Effondrement	I	Substantif Masc. Sing.	Physique	Collasso	1	Substantif Masc. Sing.
Étoile	I	Substantif Fém. Sing.	Astrophysique	Stella	1	Substantif Fém. Sing.
Hypermassive	I	Adjectif	Astrophysique	Supermassiccia	1	Adjectif
Moyennement	I	Adverbe		Mediamente	1	Adverbe
Éloigné	I	Adjectif		Lontano	1	Adjectif
Hypernova	I	Substantif Fém. Sing.	Astrophysique	Ipernova	1	Substantif Fém. Sing.
Flash de lumière	I	Substantif Masc. Sing.	Astrophysique	Lampo di luce	1	Substantif Masc. Sing.
Ultrapuissant	I	Adjectif	Astrophysique	Ultra potente	1	Adjectif
Élucidé	I	Adjectif		Chiarito	1	Adjectif
Atome lourd	I	Substantif Masc. Sing. + adjectif	Physique	Atomo pesante	1	Substantif Masc. Sing. + adjectif
Immuable	I	Adjectif		Immutabile	1	Adjectif
Recyclage	I	Substantif Masc. Sing.		Riciclo	1	Substantif Masc. Sing.
Permanent	I	Adjectif		Continuo	1	Adjectif
Matière	I	Substantif Fém. Sing.		Materia	1	Substantif Fém. Sing.

Lignée	I	Substantif Fém. Sing.	Biologie	Discendenza	1	Substantif Fém. Sing.
Pourvoyeur	I	Substantif Masc. Sing.		Portatore	1	Substantif Masc. Sing.
Mettre le grappin sur	I	Expression figée	Registre familial	Mettere le mani su	1	Expression figée
Explosion	I	Substantif Fém. Sing.	Physique	Esplosione	1	Substantif Fém. Sing.
Cataclysmique	I	Adjectif	Géologie	Catastrofica	1	Adjectif
Motus et bouche cousue	I	Expression figée	Registre familial	Acqua in bocca	1	Expression figée

Les trous noirs géants

Buchi neri giganti

1 Inventaire	2	3	4	5 Concordance	6	7
Désignation en LD	Référence	Catégorie	Champ/Filtre/domaine	Concordant	Réf. source	Grammaire
Éjecté lors de	I	Adjectif		Espulso durante/al momento	1	Adjectif
Grossir (réf. Trous noirs)	I	Verbe intrans.		Crescere	1	Verbe intrans.
Engloutir	I	Verbe trans.		Inghiottire	1	Verbe trans.
Au cours du temps	I	Locution adverbiale		Nel corso del tempo	1	Locution adverbiale
Coincer	I	Verbe trans.		Beccare, prendere, catturare, incastrare	1	Verbe trans.
Forcé	I	Adjectif		Costretto	1	Adjectif
Sortir de l'ombre	I	Verbe intrans.	Locution verbale qui indique le fait de sortir de l'anonymat	Uscire allo scoperto	1	Verbe intrans.
Engouffrer	I	Verbe trans.	Registre familial	Inghiottire/mandare giù/ingoiare	1	Verbe trans.

Mécontentement (exprimé par les particules)	I	Substantif Masc. Sing.	Plan métaphorique	Disappunto (espresso dalle particelle)	1	Substantif Masc. Sing.
Gerbe de rayonnements	C,2	Substantif Fém. Sing.	Physique nucléaire	Fascio di radiazioni	1	Substantif Masc. Sing.
C'est ainsi que	I	Locution adverbiale		È così che, ecco come, è in questo modo che	1	Locution adverbiale
Agoniser	B,1	Verbe intrans.	Courant	Morire, soccombere	1	Verbe intrans.
Martyrisé	II,A	Adjectif		Martirizzato	1	Adjectif
Impitoyable	I	Adjectif		Crudele	1	Adjectif
Ogre (référence au trou noir)	I	Substantif Masc. Sing.	Plan métaphorique	Orco (riferimento al buco nero)	1	Substantif Masc. Sing.
Fulminer	I	Verbe intrans.	Par extension	Gridare, insultare	1	Verbe trans.
Repas	I	Substantif Masc. Sing.		Pasto	1	Substantif Masc. Sing.
Faire du bruit	A	Locution verbale		Fare rumore	1	Locution verbale
Bouchée	I,A	Substantif Fém. Sing.		Boccone	1	Substantif Masc. Sing.
Bouffée	I	Substantif Fém. Sing.		Ventata	1	Substantif Fém. Sing.
Protestation (des particules avalées par le trou noir)	I	Substantif Fém. Sing.	Plan métaphorique	Protesta (delle particelle ingoiate dal buco nero)	1	Substantif Fém. Sing.
Déverser	I	Verbe trans.		Sfogare	1	Verbe trans.
Sagittarius A	I	Substantif Masc. Sing.	Astronomie	Sagittario A	1	Substantif Masc. Sing.
Orbite	I	Substantif Fém. Sing.	Astronomie	Orbita	1	Substantif Fém. Sing.
Resserrer	I	Verbe trans.		Diminuire	1	Verbe trans.
Pente de l'entonnoir	I	Substantif Fém. Sing.		Pendio	1	Substantif Masc. Sing.
Moule	A,1	Substantif Masc.		Stampo	1	Substantif Masc.

		Sing.				Sing.
Donner l’empreinte	I	Verbe trans.+ Substantif Fém. Sing.		Dare l’impronta	1	Verbe trans.+ Substantif Fém. Sing.
Fiche	I	Substantif Fém. Sing.		Scheda	1	Substantif Fém. Sing.
Signalétique	I	Adjectif		Segnaletica	1	Adjectif
Mouvement	I	Substantif Masc. Sing.		Movimento	1	Substantif Masc. Sing.
Affolé	I	Adjectif		Inquieto	1	Adjectif
Gerbe du repas de l’ogre	D,1	Substantif Fém. Sing.	Sens figuré	L’insieme del pasto dell’orco	1	Substantif Masc. Sing.
Avoir l’œil dessus	I	Expression figée		Tener d’occhio	1	Expression figée
Être à la diète	B	Verbe intrans.	Usuel, registre familier	Essere a dieta	1	Verbe intrans.
Croquer	2	Verbe trans.	Familier	Divorare, mangiare	1	Verbe trans.
Fluctuation de rayonnement	I	Substantif Fém. Sing.	Astronomie	Oscillazione della radiazione	1	Substantif Fém. Sing.
Variation en infrarouge	I	Substantif Fém. Sing.	Astronomie	Variazione a infrarosso	1	Substantif Fém. Sing.
Bloc de matière	I	Substantif Masc. Sing.		Blocco di materia	1	Substantif Masc. Sing.
De temps en temps	I	Locution adverbiale		Ogni tanto	1	Locution adverbiale
Agape	I	Substantif Fém. Sing.	Par extension, registre familier	Banchetto	1	Substantif Masc. Sing.
Peut-être	I	Locution adverbiale		Forse, magari	1	Adverbe
Glouton	I	Adjectif		Ingordo	1	Adjectif
Catégorie	I	Substantif Fém. Sing.		Categoria	1	Substantif Fém. Sing.
Trou noir	I	Substantif Masc. Sing.	Astrophysique	Buchi neri	1	Substantif Masc. Sing.
Supergéant	I	Adjectif	Astrophysique	Supermassiccio	1	Adjectif

Supermassif	I	Adjectif	Astrophysique	Supermassivo	1	Adjectif
Quasar	I	Substantif Masc. Sing.	Astrophysique	Quasar	1	Substantif Masc. Sing.
« Quasi-star »	I	Substantif Masc. Sing.	Astrophysique	Quasi-star	1	Substantif Masc. Sing.
Supplanté	I	Adjectif		Soppiantato	1	Adjectif
Halo	I	Substantif Masc. Sing.	Astrophysique	Alone	1	Substantif Masc. Sing.
Galactique	I	Adjectif	Astrophysique	Galattico	1	Adjectif
Taux d'alimenta- tion	I	Substantif Masc. Sing.		Tasso di alimentazione	1	Substantif Masc. Sing.
Puits	I	Substantif Masc. Sing.	Astrophysique	Pozzo	1	Substantif Masc. Sing.
Gravitationnel	I	Adjectif	Astrophysique	Gravitazionale	1	Adjectif
Phénomène	I	Substantif Masc. Sing.		Fenomeno	1	Substantif Masc. Sing.
Détectable	I	Adjectif		Rivelabile	1	Adjectif
Faire entre	I	Verbe intrans.		Misurare da... a	1	Verbe intrans.
Masse solaire	I	Substantif Fém. Sing.	Astrophysique	Massa solare	1	Substantif Fém. Sing.
En cours de	I	Locution adverbiale		In fase di, in corso di, in via di	1	Locution adver- biale
Engloutissement	I	Substantif Masc. Sing.		Inghiottimento	1	Substantif Masc. Sing.
Se disloquer	I	Verbe pronom.		Disgregarsi	1	Verbe pronom.
Hurllement à la mort	I	Substantif Masc. Sing.	Plan métaphorique	Grido di morte	1	Substantif Masc. Sing.
Franchir (l'horizon)	I	Verbe trans.		Varcare (l'orizzonte)	1	Verbe trans.
JPL	I	Siglaison		Jean-Pierre Luminet	1	Nom propre
Corrida	I	Substantif Fém. Sing.	Par extension, registre familial	Corrida	1	Substantif Fém. Sing.

Valencienne	I	Adjectif		Valenziana	1	Adjectif
S'aplatir	I	Verbe pronom.		Appiattirsi, distendersi	1	Verbe pronom.
Crêpe stellaire flambée		Substantif Fém. Sing.	Astronomie, métaphore terminologique	Crêpe stellare infuocata	Calque sémantique	Substantif Fém. Sing.
Dislocation	I	Substantif Fém. Sing.		Disgregazione	1	Substantif Fém. Sing.
Au bout de	I	Locution adverbiale		Alla fine	1	Locution adverbiale
Un certain temps	I	Locution adverbiale		Un po' di tempo	1	Locution adverbiale
Allumage	I	Substantif Masc. Sing.		Innesco	1	Substantif Masc. Sing.
Spiraler	B	Verbe intrans.	Mathématiques, géométrie	Muoversi a spirale	1	Verbe intrans.
Rôle	I	Substantif Masc. Sing.	Médecine	Rantolo	1	Substantif Masc. Sing.
Disloqué	I	Adjectif		Distrutto, sperato	1	Adjectif
Force de marée	I	Substantif Fém. Sing.	Physique	Forza di marea	1	Substantif Fém. Sing.
D'aventure	I	Locution adverbiale		Per caso	1	Locution adverbiale
Tourbillonner	I	Verbe intrans.		Vorticare	1	Verbe intrans.
En deçà de	I	Locution adverbiale		Al di sotto	1	Locution adverbiale
Quasar	I	Substantif Masc. Sing.	Astrophysique	Quasar	1	Substantif Masc. Sing.
Délaissé	I	Adjectif		Trascurato	1	Adjectif
Corroborer	I	Verbe intrans.		Confermare	1	Verbe intrans.
Flambée	I	Substantif Fém. Sing.		Scoppio	1	Substantif Masc. Sing.
Lièvre	I	Substantif Masc. Sing.	Zoologie	Lepre	1	Substantif Fém. Sing.
Gambader	I	Verbe intrans.		Saltellare	1	Verbe intrans.

Rattraper	I	Verbe trans.		Prendere, raggiungere	1	Verbe trans.
Infirmer	I	Verbe trans.		Smentire	1	Verbe trans.
Flotter	I	Verbe intrans.		Fluttuare	1	Verbe intrans.
Infirmation	I	Substantif Fém. Sing.		Smentita	1	Substantif Fém. Sing.
Mettre au rancart	I	Expression figée		Mettere da parte	1	Expression figée
Juste bon	I	Locution adverbiale		Solo	1	Adverbe
Se hisser	I	Verbe pronom.		Innalzare	1	Verbe pronom.
Buter sur	I	Verbe intrans.		Sbattere contro	1	Verbe intrans.
Songer à	I	Verbe intrans.		Pensare a	1	Verbe intrans.

Les trous noirs dans l'Univers						
I buchi neri nell'Universo						
1 Inventaire	2	3	4	5 Concordance	6	7
Désignation en LD	Référence	Catégorie	Champ/Filtre/domaine	Concordant	Réf. source	Grammaire
Se plaire à	B,1	Verbe pronom.	Qqn se plaît à +inf.	Piacere	1	Verbe trans.
Terrien	I	Substantif Masc. Sing.		Terrestre	1	Substantif Masc. Sing.
Entraîné	I	Adjectif		Portato	1	Adjectif
Mauvaise pente	I	Adjectif + substantif Fém. Sing.		Cattiva strada	1	Adjectif + substantif Fém. Sing.
Courbure	I	Substantif Fém. Sing.	Physique	Inclinazione	1	Substantif Fém. Sing.
Invalider	I	Verbe trans.		Invalidare	1	Verbe trans.
Au bénéfice de	I	Locution adverbiale		A favore di, a vantaggio di	1	Locution adverbiale
S'en remettre à	B,2	Verbe intrans.		Rimettersi a	1	Verbe intrans.
Ce brave	I	Adjectif		Al grande	1	Adjectif
À l'endroit de	I	Locution adverbiale		Nel punto di	1	Locution adverbiale

Trou noir stellaire	I	Substantif Masc. Sing.+ adjectif	Astrophysique	Buco nero stellaro	1	Substantif Masc. Sing. + adjectif
Trou noir galactique	I	Substantif Masc. Sing. + adjectif	Astrophysique	Buco nero galattico	1	Substantif Masc. Sing. + adjectif
Émaillé	I	Adjectif		Costellato	1	Adjectif
Gouffre	I	Substantif Masc. Sing.		Crepa	1	Substantif Fém. Sing.
Creux	I	Adjectif		Vuoto	1	Adjectif
Envisager	I	Verbe trans.		Considerare, valutare	1	Verbe trans.
Engloutir	I	Verbe trans.		Inghiottire	1	Verbe trans.
Former	I	Verbe trans.		Formare	1	Verbe trans.
Mégatrou noir	I	Substantif Masc. Sing.	Astrophysique	Mega buco nero	1	Adjectif + Substantif Masc. Sing.
De plus en plus	I	Locution adverbiale		Sempre più, sempre di più	1	Locution adverbiale
Grumeau	I	Substantif Masc. Sing.		Agglomerato	1	Substantif Masc. Sing.
Se rapprocher	I	Verbe pronom.		Avvicinarsi	1	Verbe pronom.
Fusionner	I	Verbe trans.		Fondere	1	Verbe trans.
Emporter à la dérive	I	Expression figée		Portare alla deriva	1	Expression figée
Aile	II	Substantif Fém. Sing.	Emploi scientifique et technique	Ala	1	Substantif Fém. Sing.
Vieillissant	I	Adjectif		Invecchiare	1	Verbe intrans.
Effondrement	I	Substantif Masc. Sing.		Collasso	1	Substantif Masc. Sing.
Étoile hypermassive	I	Substantif Fém. Sing. + adjectif	Astrophysique	Stella più massiva	1	Substantif Fém. Sing. +adjectif
Snack (de rayons X)	I	Substantif Masc. Sing.	Plan métaphorique	Spuntino (di raggi X)	1	Substantif Masc. Sing.
Supertrou noir	I	Substantif Masc. Sing.	Astrophysique	Buco nero supermassiccio	1	Substantif Masc. Sing.

S'offrir de	I	Verbe pronom.		Permettersi di	1	Verbe pronom.
Se payer le luxe	I	Expression figée		Pagarsi il lusso	1	Expression figée
Trou noir géant	I	Substantif Masc. Sing. + adjectif	Astrophysique	Buco nero gigante	1	Substantif Masc. Sing. + adjectif
Trou noir super-géant	I	Substantif Masc. Sing. + adjectif	Astrophysique	Buco nero super gigante	1	Substantif Masc. Sing. + adjectif
Trou noir primordial	I	Substantif Masc. Sing. + adjectif	Astrophysique	Buco nero primordiale	1	Substantif Masc. Sing. + adjectif
Effondrement	I	Substantif Masc. Sing.		Collasso	1	Substantif Masc. Sing.
Cataclysmique	I	Adjectif	Géologie	Catastrofico	1	Adjectif
Apparu	I	Adjectif		Apparso	1	Adjectif
Cœur des galaxies	I	Substantif Masc. Sing.	Astrophysique	Nucleo delle galassie	1	Substantif Masc. Sing.
Accrétion	I	Substantif Fém. Sing.		Accrescimento	1	Substantif Masc. Sing.
Se muer	I	Verbe pronom.		Diventare	1	Verbe intrans.

Les trous noirs intermédiaires						
Buchi neri intermedi						
1 Inventaire	2	3	4	5 Concordance	6	7
Désignation en LD	Référence	Catégorie	Champ/Filtre/domaine	Concordant	Réf. source	Grammaire
Halo	I	Substantif Masc. Sing.	Astrophysique	Alone	1	Substantif Masc. Sing.
Galactique	I	Adjectif	Astrophysique	Galattico	1	Adjectif
Disque	I	Substantif Masc. Sing.	Astrophysique	Disco	1	Substantif Masc. Sing.
Galaxie	I	Substantif Fém. Sing.	Astrophysique	Galassia	1	Substantif Fém. Sing.
S'y former	I	Verbe pronom.		Formarsi	1	Verbe pronom.

Traîner de	2,c	Verbe intrans.		Seguire da	1	Verbe intrans.
Effondré	I	Adjectif		Collassato	1	Adjectif
Groupé en	B,1,b	Adjectif		Riunito in	1	Adjectif
Troupeau	I	Substantif Masc. Sing.		Gruppo	1	Substantif Masc. Sing.
Amas	I	Substantif Masc. Sing.	Astrophysique	Ammasso	1	Substantif Masc. Sing.
Globulaire	I	Adjectif	Astrophysique	Globulare	1	Adjectif
Projecteur	I	Substantif Masc. Sing.	Théâtre, cinématographie	Riflettore	1	Substantif Masc. Sing.
Effondrement gra- vitationnel	I	Substantif Masc. Sing. + adjectif	Astrophysique	Collasso gravitazionale	1	Substantif Masc. Sing.+ adjectif
Abriter de	I	Verbe intrans.		Ospitare	1	Verbe trans.
Détection	I	Substantif Fém. Sing.		Rilevazione	1	Substantif Fém. Sing.
Trou noir	I	Substantif Masc. Sing.	Astrophysique	Buco nero	1	Substantif Masc. Sing.
Irréversible	I	Adjectif		Irreversibile	1	Adjectif
Accroître	I	Verbe trans.		Aumentare	1	Verbe trans.
Là-dessus	I	Adverbe		A riguardo	1	Adverbe
En revanche	I	Adverbe		Al contrario	1	Adverbe
Flou	I	Substantif Masc. Sing.		Incertezza	1	Substantif Fém. Sing.
Pochette-surprise	I	Substantif Fém. Sing.	Usuel	Pacco-sorpresa	1	Substantif Masc. Sing.
Déballer	C,1	Verbe trans.		Rivelare	1	Verbe trans.

Dans le trou noir						
Nel buco nero						
1 Inventaire	2	3	4	5 Concordance	6	7
Désignation en LD	Référence	Catégorie	Champ/Filtre/domaine	Concordant	Réf. source	Grammaire
Se faire	I	Verbe pronom.		Farsi	1	Verbe pronom.
Écarteler	I	Verbe trans.		Ridurre a brandelli	1	Verbe intrans.
Pléthore	I	Substantif Fém. Sing.	Médecine	Pletora	1	Substantif Fém. Sing.
Trajectoire	I	Substantif Fém. Sing.	Physique, astronomie	Traiettorie	1	Substantif Fém. Sing.
Devenir	I	Verbe intrans.		Diventare	1	Verbe intrans.
Droite	I	Substantif Fém. Sing.	Géométrie	Retta	1	Substantif Fém. Sing.
Dimension	I	Substantif Fém. Sing.		Dimensione	1	Substantif Fém. Sing.
Forcé	I	Adjectif		Costretto	1	Adjectif
Atteindre à	I	Verbe intrans.		Arrivare a	1	Verbe intrans.
Singularité	I	Substantif Fém. Sing.	Physique	Singularità	1	Substantif Fém. Sing.
Un dix millième de seconde	I	Substantif Masc. Sing.		Un decimillesimo di secondo	1	Substantif Masc. Sing.
Tapi	I	Adjectif		Nascosto	1	Adjectif
Balade	I	Substantif Fém. Sing.	Registre familial	Passeggiata	1	Substantif Fém. Sing.
Aux alentours	I	Adverbe		All'incirca	1	Adverbe
Prêter le flanc à	I	Expression figée	Sens figuré	Essere oggetto di	1	Expression figée
Inaudible	I	Adjectif		Impercettibile	1	Adjectif
Introverti	I	Adjectif		Introverso	1	Adjectif
En avoir le cœur net	I	Expression figée	Sens figuré	Vederci chiaro	1	Expression figée

Être légion	B,2	Expression figée	Registre familier	Essere in gran numero	1	Expression figée
Pourtant	I	Adverbe		Comunque	1	Adverbe
Continuum	I	Substantif Masc. Sing.		Continuum	1	Substantif Masc. Sing.
Singularité	I	Substantif Fém. Sing.	Physique	Singularità	1	Substantif Fém. Sing.
Prédire	I	Verbe trans.		Prevedere, predire	1	Verbe trans.
Postuler	I	Verbe trans.	Mathématiques	Postulare	1	Verbe trans.
Engendrer	I	Verbe trans.		Generare, creare	1	Verbe trans.
Étrangler	I	Verbe trans.		Strangolare	1	Verbe trans.
Indéfiniment	I	Adverbe		Per sempre	1	Adverbe
Irréversiblement	I	Adverbe		Irreversibilmente	1	Adverbe
S'entasser	I	Verbe pronom.		Accumularsi	1	Verbe pronom.
Homme de la rue	I	Substantif Masc. Sing. + adjectif		Cittadino comune	1	Substantif Masc. Sing. + adjectif
Tout autant	I	Adverbe		Altrettanto	1	Adverbe
Plancher sur	I	Verbe intrans.		Dimostrare	1	Verbe trans.
Gravité	I	Substantif Fém. Sing.	Physique	Gravità	1	Substantif Fém. Sing.
Répulsive	I	Adjectif		Repulsiva	1	Adjectif
Rebondir	I	Verbe trans.		Rimbalzare	1	Verbe trans.
Théorie de la gravitation quantique	I	Substantif Fém. Sing.	Physique	Teoria della gravità quantistica	1	Substantif Fém. Sing.
Grain	I	Substantif Masc. Sing.		Granello	1	Substantif Masc. Sing.
En conséquence de quoi	I	Locution adverbiale		Di conseguenza	1	Locution adverbiale
Écrasement	I	Substantif Masc. Sing.		Schiacciamento	1	Substantif Masc. Sing.
Se heurter à	A,1,a	Verbe pronom.		Scontrarsi con	1	Verbe pronom.
Quoique	I	Adverbe		Anche se	1	Adverbe
S'inverser	I	Verbe pronom.		Invertirsi	1	Verbe pronom.

Rebond	I	Substantif Masc. Sing.		Contraccolpo	1	Substantif Masc. Sing.
Étoile	I	Substantif Fém. Sing.	Astronomie	Stella	1	Substantif Fém. Sing.
Effondré	I	Adjectif		Collassato	1	Adjectif
Intérieur (d'un trou noir)	I	Substantif Masc. Sing.		Interno (di un buco nero)	1	Substantif Masc. Sing.
Bouché	I	Adjectif		Chiusa	1	Adjectif
Forme (d'anneau)	I	Substantif Fém. Sing.		Forma (di anello)	1	Substantif Fém. Sing.
Couché	I	Adjectif		Posto	1	Adjectif
Plan équatorial	I	Substantif Masc. Sing.+ adjectif	Astronomie	Piano equatoriale	1	Substantif Masc. Sing.+ adjectif
Crash	I	Substantif	Emprunté de l'anglais	Impatto	1	Substantif
Soigneusement	I	Adverbe		Attentamente	1	Adverbe
Attirante	I	Adjectif		Allettante	1	Adjectif
Trou de ver	I	Substantif Masc. Sing.	Astrophysique	“Buco di verme”, Wormhole	1	Substantif Masc. Sing.
Forer (à belles dents)	I	Verbe trans.	Emploi métaphorique	Scavare un buco (a grandi morsi)	1	Verbe trans.
Déboucher	I	Verbe		Portare	1	Verbe trans.
Envisager	I	Verbe trans.		Ipotizzare	1	Verbe trans.
Englouti	I	Adjectif		Inghiottito	1	Adjectif
Fontaine blanche	I	Substantif Fém. Sing.	Astrophysique, calque de l'anglais <i>white fountain</i>	Buco bianco	1	Substantif Masc. Sing.
Univers en cascade	I	Substantif Masc. Plur.	Astrophysique	Universi a cascata (ossia di espansione vertiginosa)	1	Substantif Masc. Plur.
Boucler la boucle	I	Expression figée	Sens figuré, registre familier	Chiudere il cerchio	1	Expression figée

Les trous de ver						
I wormhole						
1 Inventaire	2	3	4	5 Concordance	6	7
Désignation en LD	Référence	Catégorie	Champ/Filtre/domaine	Concordant	Réf. source	Grammaire
S'engouffrer dans	2,a	Verbe pronom.		Precipitare dentro	1	Verbe intrans.
Idées en l'air	I	Expression figée		(Solo) idee	1	Substantif Fém. Plur.
Scénariste	I	Substantif Masc. Sing.	Théâtre, cinéma	Sceneggiatore	1	Substantif Masc. Sing.
Enflammer	I	Verbe trans.	Emploi métaphorique	Stimolare	1	Verbe trans.
Imagination	I	Substantif Fém. Sing.		Immaginazione	1	Substantif Fém. Sing.
Raccourci	C	Substantif Masc. Sing.		Scorciatoia	1	Substantif Fém. Sing.
Emprunter	3	Verbe trans.		Percorrere	1	Verbe trans.
Replier	I	Verbe trans.		Piegare	1	Verbe trans.
Superposé	I	Adjectif		Sovrapposto	1	Adjectif
S'affranchir de	B,1,a	Verbe pronom.		Liberarsi da	1	Verbe pronom.
Interdire	I	Verbe trans.		Vietare	1	Verbe trans.
À tout jamais	I	Locution adverbiale		Per sempre	1	Adverbe
Prendre un début	I	Verbe trans.		Prendere un abbozzo	1	Verbe trans.
Assise	C	Substantif Fém. Sing.	Sens figuré	Fondamento	1	Substantif Masc. Sing.
Scientifique	I	Adjectif		Scientifico	1	Adjectif
Boucle temporelle	I	Substantif + adjectif	Astrophysique	Anello temporale/ loop temporelle	1	Substantif Masc. Sing.+ adjectif
Surgir	I	Verbe intrans.		Sorgere	1	Adjectif intrans.
Machine à voyager dans le temps	I	Substantif Fém. Sing.	Science-fiction	Macchina del tempo	1	Fém. Sing.
Ou bien	I	Adverbe		Oppure, ovvero	1	Adverbe
Du même coup	I	Locution adverbiale		Allo stesso tempo	1	Locution adver-

						biale
Garde-fou	I	Substantif Masc. Sing.		Barriera	1	Substantif Fém. Sing.
Bannir	I	Verbe trans.		Bandire, vietare	1	Verbe trans.
Auto-immunisé	I	Adjectif		Autoimmune	1	Adjectif
Chatouiller	I	Verbe trans.	Registre familier, emploi métaphorique	Fare il solletico	1	Verbe trans.
Laps de temps	I	Substantif Masc. Sing.	Astrophysique	Lasso di tempo	1	Substantif Masc. Sing.
Remonter	I	Verbe intrans.		Tornare indietro	1	Verbe intrans.
Lors de	I	Adverbe		Durante	1	Adverbe
Limite	I	Substantif Fém. Sing.		Limite	1	Substantif Masc. Sing.
Insurmontable	I	Adjectif		Insormontabile	1	Adjectif
Fusée	I	Substantif Fém. Sing.	Astronautique	Astronave	1	Substantif Fém. Sing.
Aussitôt	I	Adverbe		Subito	1	Adverbe
Intrus	I	Substantif Masc. Sing.		Intruso	1	Substantif Masc. Sing.
Engendrer	I	Verbe trans.		Generare, creare	1	Verbe trans.
Champ de gravité perturbateur	I	Substantif Masc. Sing.	Physique	Campo gravitazionale perturbatore	1	Substantif Masc. Sing.
Boutade	I	Substantif Fém. Sing.		Battuta	1	Substantif Fém. Sing.
Envahi des	I	Adjectif		Invaso	1	Adjectif
Horde	I	Substantif Fém. Sing.	Sens figuré, multitude	Orda	1	Substantif Fém. Sing.
Panoplie de (l'homme invisible)	B,1	Substantif Fém. Sing.	Par extension	Costume (dell'uomo invisibile)	1	Substantif Masc. Sing.
Assorti de	B	Adjectif		Accompagnato da	1	Adjectif
Contrainte	I	Substantif Fém. Sing.		Obbligo	1	Substantif Masc.

						Sing.
Éloignement	I	Substantif Masc. Sing.		Lontananza	1	Substantif Fém. Sing.
Aldébaran	I	Substantif Masc. Sing.	Astronomie	Aldebaran	Stella della cost. del Toro	Substantif Masc. Sing.
Bételgeuse	I	Substantif Fém. Sing.	Astronomie	Betelgeuse	Stella cost. di Orione	Substantif Fém. Sing.
Rigélien	I	Substantif Masc. Sing.	Science-fiction, référence à Star Trek	Rigelliano		Substantif Masc. Sing.
Altairien	I	Substantif Masc. Sing.	Rare, science-fiction, dérivation du nom de l'étoile Altair de la constellation de l'Aigle	Altariano		Substantif Masc. Sing.
Se balader	I	Verbe pronom.		Passeggiare	1	Verbe intrans.

Microtrous noirs et trous de ver						
Microbuchi neri e wormhole						
1 Inventaire	2	3	4	5 Concordance	6	7
Désignation en LD	Référence	Catégorie	Champ/Filtre/domaine	Concordant	Réf. source	Grammaire
Tas	I,A	Substantif Masc. Sing.		Accumulo	1	Substantif Masc. Sing.
Matière	I	Substantif Fém. Sing.		Materia	1	Substantif Fém. Sing.
Ultra-concentrée	I	Adjectif		Ultra concentrata	1	Adjectif
Trou noir	I	Substantif Masc. Sing.	Astrophysique	Buco nero	1	Substantif Masc. Sing.
Microscopique	I	Adjectif		Microscopico	1	Adjectif
Fracassant	I	Adjectif		Eclatante, incredibile	1	Adjectif
Myriade de	I	Substantif Fém. Sing.	Par extension, un très grand nombre	Miriade di	1	Substantif Fém. Sing.

Microtrou noir	I	Substantif Masc. Sing.	Astrophysique	Micro buco nero	1	Substantif Masc. Sing.
Assemblage	I	Substantif Masc. Sing.		Collegamento	1	Substantif Masc. Sing.
Relié à	I	Adjectif		Collegato a	1	Adjectif
Microfontaine blanche	Ou trou blanc	Substantif Fém. Sing.	Astrophysique	Micro buco bianco	1	Substantif Masc. Sing.
Microtrou de ver	I	Substantif Masc. Sing.	Astrophysique	Micro wormhole	1	Substantif Masc. Sing.
Suivre	I	Verbe trans.		Crearsi	1	Verbe pronom.
S'engouffrer	I	Verbe pronom.		Accumularsi	1	Verbe pronom.
Remonter	I	Verbe intrans.		Tornare indietro	1	Verbe intrans.
Déboucher dans	I	Verbe intrans.		Condurre, portare in	1	Verbe intrans.
Particule	I	Substantif Fém. Sing.	Physique	Particella	1	Substantif Fém. Sing.
Déclencher	I	Verbe trans.		Avviare	1	Verbe trans.
Moyennant	I	Préposition		Attraverso	1	Préposition
Autant de	I	Adverbe		Così tanti	1	Adverbe
Boucle temporelle	I	Substantif Fém. Sing.	Astrophysique	Anello temporale	1	Substantif Masc. Sing.
Miroir	I	Substantif Masc. Sing.	Emploi métaphorique	Specchio	1	Substantif Masc. Sing.
Ambulant	I	Adjectif		Ambulante	1	Adjectif
Grossissement	I	Substantif Masc. Sing.		Accrescimento	1	Substantif Masc. Sing.
Absorption	I	Substantif Fém. Sing.		Assorbimento	1	Substantif Masc. Sing.
Négligeable	I	Adjectif		Irrelevante	1	Adjectif
Constitué de	I	Adjectif		Costituito da	1	Adjectif
C'est dire !	I	Interjection		Questo per dire!	1	Interjection
En revanche	I	Adverbe		Invece, al contrario	1	Adverbe
S'évaporer	C,1,b	Verbe pronom.		Sparire	1	Verbe intrans.

Saugrenu	B	Adjectif	Registre familier	Bizarro	1	Adjectif
S'incruster	I	Verbe pronom.		Confermarsi	1	Verbe pronom.
Subsister	I	Verbe intrans.		Sussistere	1	Verbe intrans.
Sine qua non	I	Locution adjectivale		Indispensabile	1	Adjectif
Comparé à	I	Adverbe		Rispetto a	1	Adverbe
Grand frère	I	Adjectif + Substantif Masc. Sing.		Fratello maggiore	1	Substantif Masc. Sing. + Adjectif
Astronomique	I	Adjectif	Astronomie	Astronomico	1	Adjectif
Se solder par	I	Verbe pronom.		Risultare	1	Verbe intrans.
Délectable	I	Adjectif		Rilevabile	1	Adjectif
À la ronde	I	Adverbe		Di distanza	1	Adverbe
Brouhaha	I	Substantif Masc. Sing.		Caos	1	Substantif Masc. Sing.
D'autant plus	I	Adverbe		Ancor più	1	Adverbe
Ressembler	I	Verbe trans. indir.		Sembrare	1	Verbe intrans.
Voie d'approche	I	Substantif Fém. Sing.		Modo di approccio	1	Substantif Masc. Sing.
Chétif	I	Adjectif		Fragile, debole	1	Adjectif
Dépasser	I	Verbe trans.		Scavalcare	1	Verbe trans.
Expérience	I	Substantif Fém. Sing.		Esperimento	1	Substantif Masc. Sing.
Grandeur nature	I	Substantif Fém. Sing.		Su scala reale	1	Substantif
Écrasant	I	Adjectif		Travolgente	1	Adjectif
Arriver à	I	Verbe intrans.		Riuscire a	1	Verbe intrans.
S'offrir	I	Verbe pronom.	S'offrir quelque chose	Permettersi	1	Verbe pronom.
LHC	I	Siglaion	Astrophysique (Large hadron collider)	LHC Grande collisore di adroni	1	Substantif Masc. Sing.
Rodage	I	Substantif Masc. Sing.	Technologie	Rodaggio	1	Substantif Masc. Sing.
Fusionner	I	Verbe trans.		Fondere	1	Verbe trans.
Théorie des cordes	I	Substantif Fém. Sing.	Physique	Teoria delle stringhe	1	Substantif Fém. Sing.

Plus loin	I	Adverbe		In seguito	1	Adverbe
Signature explosive	I	Substantif Fém. Sing.		Traccia esplosiva	1	Substantif Fém. Sing.
Avancée	I	Substantif Fém. Sing.		Progresso	1	Substantif Masc. Sing.
Confirmer	I	Verbe trans.		Confermare	1	Verbe trans.
Expérience	I	Substantif Fém. Sing.		Esperimento	1	Substantif Masc. Sing.
Hypothèse	I	Substantif Fém. Sing.		Ipotesi	1	Substantif Fém. Sing.
Média	I	Substantif Masc. Plur.	Sociologie de la communication	Mass-media	1	Substantif Masc. Plur.
Friand	I	Adjectif		Appassionato	1	Adjectif
Casse-croûte	I	Substantif Masc. Sing.		Bocconcino	1	Substantif Masc. Sing.
Percuter	I	Verbe trans.	Astronomie	Scontrarsi	1	Verbe pronom.
Noyau	I	Substantif Masc. Sing.	Physique, astronomie	Nucleo	1	Substantif Masc. Sing.
Atomique	I	Adjectif	Physique	Atomico	1	Adjectif
Manifeste	I	Adjectif		Chiaro	1	Adjectif
Mastiqué	I	Adjectif	Emploi métaphorique	Masticato	1	Adjectif
Nuire à	I	Verbe trans. indir.		Compromettere	1	Verbe trans.

Les galaxies						
Le galassie						
1 Inventaire	2	3	4	5 Concordance	6	7
Désignation en LD	Référence	Catégorie	Champ/Filtre/domaine	Concordant	Réf. source	Grammaire
Plancton	A	Substantif Masc. Sing.	Botanique, zoologie	Plancton	1	Substantif Masc. Sing.
Dresser (une carte de l'océan)	B	Verbe trans.		Elaborare (una mappa dell'oceano)	1	Verbe trans.
Flotter	A,1	Verbe intrans.		Fluttuare	1	Verbe intrans.
Insouciant	A	Adjectif		Spensierato	1	Adjectif
S'échiner à	2,b	Verbe pronom.		Sfinirsi per	1	Verbe pronom.
Lueur	I	Substantif Fém. Sing.		Chiarore	1	Substantif Masc. Sing.
Lueur (de chandelle)	A	Substantif Fém. Sing.		Fiammella (di candela)	1	Substantif Fém. Sing.
Cliché astronomique	I	Substantif Masc. Sing. + adjectif	Astronomie	Fotografia astronomica	1	Substantif + adjectif
Moissonner	3	Verbe trans.		Raccogliere	1	Verbe trans.
Tête d'épingle	I	Substantif Fém. Sing.		Testa di uno spillo	1	Substantif Fém. Sing.
À bout de	I	Locution adverbiale		A distanza di	1	Locution adverbiale
Grain	I	Substantif Masc. Sing.		Granello	1	Substantif Masc. Sing.
Dense en	I	Adjectif		Pieno di	1	Adjectif
Former	I	Verbe trans.		Formare	1	Verbe trans.
Tapiserie	I	Substantif Fém. Sing.		Tappezzeria	1	Substantif Fém. Sing.
Serré de	I	Adjectif		Pieno di, denso, colmo	1	Adjectif
Bouquet d'étoiles	I	Substantif Masc. Sing.	Emploi métaphorique	Mazzolino di stelle	1	Substantif Masc. Sing.

Perché	A,1	Adjectif	Registre familier	Posto	1	Adjectif
Randonnée	I	Substantif Fém. Sing.		Passeggiata	1	Substantif Fém. Sing.
Grappe	A	Substantif Masc. Sing.		Grappolo		Substantif Masc. Sing.
Guirlande	I	Substantif Fém. Sing.		Filo di luci		Substantif Masc. Sing.
Grand-huit	I	Substantif Masc. Sing.	Attraction de fête foraine dérivée des montagnes russes. (Elle doit son nom à la forme de son circuit)	Montagne russe	1	Substantif Fém. Plur.
Pied de nez	I	Substantif Masc. Sing.	Moquerie	Marameo	1	Substantif Masc. Sing.
Tache floue	I	Substantif Fém. Sing. + adjectif		Macchia sfocata	1	Substantif Fém. Sing. + adjectif
Repéré	I	Adjectif		Avvistato, scoperto	1	Adjectif
Lunette	C,a	Substantif	Astronomie	Cannocchiale	1	Substantif Masc. Sing.
Aspect	2	Substantif Masc. Sing.		Aspetto	1	Substantif Masc. Sing.
Diffus	I	Adjectif		Indefinito	1	Adjectif

Types de galaxies						
Tipi di galassie						
1 Inventaire	2	3	4	5 Concordance	6	7
Désignation en LD	Référence	Catégorie	Champ/Filtre/domaine	Concordant	Réf. source	Grammaire
Aménagement	I	Substantif Masc. Sing.		Struttura	1	Substantif
Ranger		Verbe trans.		Riordinare	1	Verbe trans.
Galaxie spirale		Substantif Fém. Sing.	Astrophysique	Galassia spirale	1	Substantif Fém. Sing.

Disque		Substantif Masc. Sing.	Astrophysique	Disco	1	Substantif Masc. Sing.
Bulbe		Substantif Masc. Sing.	Astrophysique	Bulbo	1	Substantif Masc. Sing.
Halo		Substantif Masc. Sing.	Astrophysique	Alone	1	Substantif Masc. Sing.
Bras spiralé		Substantif Masc. Sing.	Astrophysique	Braccio a spirale	1	Substantif Masc. Sing.
Spirale barrée		Substantif Fém. Sing.	Astrophysique	Spirale barrata	1	Substantif Fém. Sing.
Galaxie irrégulière		Substantif Fém. Sing.	Astrophysique	Galassia irregolare	1	Substantif Fém. Sing.
Nuages de Magellan		Substantif Fém. Plur.	Astrophysique	Nubi di Magellano	1	Substantif Fém. Plur.
Aplati	I	Adjectif		Appiattito	1	Adjectif
(Moins) structuré	I	Adjectif		(Meno) strutturato	1	Adjectif
Galaxie elliptique		Substantif Fém. Sing.	Astrophysique	Galassia ellittica	1	Substantif Fém. Sing.
Forme (de savonnette)	I	Substantif Fém. Sing.		Forma (di saponetta)	1	Substantif Fém. Sing.
Satellisé	I	Adjectif	Astrophysique	Satellizzato	1	Adjectif
S'aplatir en disque	I	Verbe pronom.		Appiattirsi a forma di disco	1	Verbe pronom.
Effondrement	I	Substantif Masc. Sing.		Collasso	1	Substantif Masc. Sing.
That is the question		Phrase célèbre du monologue du prince Hamlet, dans l'œuvre homonyme de W. Shakespeare	Anglicisme	That is the question	1	
Galaxie à noyau actif		Substantif Fém. Sing.	Astrophysique	Galassia a nucleo attivo	1	Substantif Fém. Sing.
Puissance (de rayonnement)	I	Substantif Fém. Sing.	Physique	Potenza (di irraggiamento)	1	Substantif Fém. Sing.

Trou noir super-géant		Substantif Masc. Sing. + adjectif	Astrophysique	Buco nero supermassiccio	1	Substantif Masc. Sing. + adjectif
Quasar		Substantif Masc. Sing.	Astrophysique	Quasar	1	Substantif Masc. Sing.
Radiogalaxie		Substantif Fém. Sing.	Astrophysique	Radiogalassia	1	Substantif Fém. Sing.
Jet de gaz	I	Substantif Masc. Sing.	Chimie	Getto di gas	1	Substantif Masc. Sing.
Recracher	B	Verbe trans.	Registre familial	Sputare fuori	1	Verbe trans.
Flonflons	B	Substantif Masc. Plur.	Musique	Motivetti	1	Substantif Masc. Plur.

La matière des galaxies						
La materia delle galassie						
1 Inventaire	2	3	4	5 Concordance	6	7
Désignation en LD	Référence	Catégorie	Champ/Filtre/domaine	Concordant	Réf. source	Grammaire
En première approche	I	Locution adverbiale		A prima vista	1	Locution adverbiale
Lustre	A,1	Substantif Masc. Sing.	Astrophysique	Chiarore	1	Substantif Masc. Sing.
Source (de leur éclat)	B,1,a	Substantif Fém. Sing.		Fonte (del loro bagliore)	1	Substantif Fém. Sing.
Fuser	I	Verbe trans.		Disgregare, separare	1	Verbe trans.
En tous sens	I	Locution adverbiale		In tutte le direzioni	1	Locution adverbiale
S'ébrouer	B	Verbe pronom.		Scrollarsi	1	Verbe pronom.
Se disloquer	C,1	Verbe pronom.		Disgregarsi	1	Verbe pronom.
Postuler	B	Verbe trans.	Mathématiques	Postulare	1	Verbe trans.
Corps (en plomb)	I	Substantif Masc. Sing.		Corpo (in piombo)	1	Substantif Masc. Sing.

Chien cosmique	I	Substantif Masc. Sing.+ adjectif	Emploi métaphorique	Cane cosmico	1	Substantif Masc. Sing.+ adjectif
Enigme (de la matière noire)	I	Substantif Masc. Sing.		Enigma (della materia oscura)	1	Substantif Masc. Sing.
Matière noire	I	Substantif Fém. Sing.	Astrophysique	Materia oscura	1	Substantif Fém. Sing.
Ordinaire	I	Adjectif		Ordinaria	1	Adjectif
Quantité	I	Substantif Fém. Sing.		Quantità	1	Substantif Fém. Sing.
Négligeable	I	Adjectif		Trascurabile	1	Adjectif
Banlieue de la galaxie	I	Substantif Fém. Sing.	Métaphore	Periferia delle galassie	1	Substantif Fém. Sing.
Bien trop	I	Adverbe		Troppo, eccessivamente	1	Adverbe
Peser dans la balance	I	Verbe intrans.	Emploi métaphorique	Pesare sulla bilancia	1	Verbe intrans.
Galaxie spirale Messier 83		Substantif Fém. Sing.	Astronomie	Galassia a spirale Messier 83	1	Substantif Fém. Sing.
Enroulement	I	Substantif Masc. Sing.		Avvolgimento	1	Substantif Masc. Sing.
Pourtour	I	Substantif Masc. Sing.		Bordo	1	Substantif Masc. Sing.
Guirlande de lampions	I	Substantif Fém. Sing.	Emploi métaphorique	Filo di luci	1	Substantif Masc. Sing.
Guirlande incrustée	I	Substantif Fém. Sing.		Filo di luci incastonato	1	Substantif Masc. Sing.
Carrousel (de matière noire)	I	Substantif Masc. Sing.	Métaphore	Giostra (di materia oscura)	1	Substantif Fém. Sing.
Ampoule	I	Substantif Fém. Sing.		Lampadina	1	Substantif Fém. Sing.
Matière noire exotique	I	Substantif Fém. Sing. + adjectif	Astrophysique	Materia oscura esotica	1	Substantif Fém. Sing. + adjectif

Gendre idéal (référence au neutrino)	I	Substantif Masc. Sing. + adjectif	Emploi métaphorique	Genero ideale (riferimento al neutrino)	1	Substantif Masc. Sing. + adjectif
S'apprêter à	I	Verbe pronom.		Prepararsi a	1	Verbe pronom.
Émis en	I	Adjectif		Emesso con	1	Adjectif
Rafale	I	Substantif Masc. Sing.		Impulso	1	Substantif Masc. Sing.
Comblé le manque	I	Expression figée		Colmare il divario	1	Expression figée
Hélas !	I	Interjection		Ahimè, purtroppo	1	Interjection
(ne pas) Faire le poids		Expression figée		(non poter) Reggere il confronto	1	Verbe trans.
Esseulé	I	Adjectif		Solo, isolato, solitario, desolato	1	Adjectif
Neutralino		Substantif Masc. Sing.	Physique	Neutralino	1	Substantif Masc. Sing.
Théorie supersymétrique	I	Substantif Fém. Sing.	Physique	Teoria della supersimmetria	1	Substantif Fém. Sing.
Îlot	I	Substantif Masc. Sing.		Isola	1	Substantif Fém. Sing.
Détecter	I	Verbe trans.		Rilevare	1	Verbe trans.
Sens dessus dessous		Expression figée		Sottosopra/disordinato	1	Expression figée
Être le dindon de la farce		Expression figée	Registre familial	Essere la vittima della situazione	1	Expression figée
Feuilleton	I	Substantif Masc. Sing.	Par analogie, télévision	Sceneggiato	1	Substantif Masc. Sing.
Quiproquo	I	Substantif Masc. Sing.		Equivoco, malinteso	1	Substantif Masc. Sing.
Fusée	I	Substantif Fém. Sing.	Astronautique	Astronave	1	Substantif Fém. Sing.
Boulet	I	Substantif Masc. Sing.		Elemento sferico	1	Substantif Masc. Sing. + adjectif

À la virgule près	I	Locution adverbiale		Fino all'ultima virgola	1	Locution adverbiale
Valable	I	Adjectif		Valido	1	Adjectif
MOND (théorie de la dynamique newtonienne modifiée)		Siglaion	Physique	Teoria MOND Dinamica Newtoniana Modificata	1	Substantif Fém. Sing.
MOG (théorie de la gravitation modifiée)		Siglaion	Physique	Teoria della gravità modificata	1	Substantif Fém. Sing.
Jeter aux orties		Expression figée	Emploi métaphorique	Gettare alle ortiche	1	Expression figée
À l'heure actuelle	I	Locution adverbiale		Attualmente	1	Adverbe
Coûteux	I	Adjectif		Costoso, dispendioso	1	Adjectif
Écart	I	Substantif Masc. Sing.		Differenza	1	Substantif Fém. Sing.
Comportement	I	Substantif Masc. Sing.		Comportamento	1	Substantif Masc. Sing.

Le passé vu dans les galaxies

Il passato visto nelle galassie

1 Inventaire	2	3	4	5 Concordance	6	7
Désignation en LD	Référence	Catégorie	Champ/Filtre/domaine	Concordant	Réf. source	Grammaire
Profondeur temporelle	I	Substantif Fém. Sing. + adjectif	Dimension temporelle	Profondità temporale	1	Substantif Fém. Sing.+ adjectif
Profondeur spatiale	I	Substantif Fém. Sing. + adjectif	Dimension spatiale	Profondità spaziale	1	Substantif Fém. Sing. + adjectif
Laps de temps		Substantif Masc. Sing.	Astrophysique	Lasso di tempo	1	Substantif Masc. Sing.
Quasiment	I	Adverbe		Abbastanza	1	Adverbe
À jour	I	Locution adverbiale		Aggiornato	1	Adjectif

Limbes	I	Substantif Masc. Plur.		Limbo	1	Substantif Masc. Sing.
Perçu par	I	Adjectif		Percepito con	1	Adjectif
En raison de	I	Locution adverbiale		A causa di	1	Locution adverbiale
Saisi	I	Adjectif		Colto	1	Adjectif
Faire figure de d'escargot	2, α	Verbe trans.	Emploi métaphorique	Fare la figura della lumaca	1	Verbe trans.
Patchwork	I	Substantif Masc. Sing.	Industrie textile, emprunté à l'anglais	Mosaico	1	Substantif Masc. Sing.
Galaxie Goods 850-5		Substantif Fém. Sing.	Astronomie	Galassia Goods 850-5	1	Substantif Fém. Sing.
Gamin (référence à l'Univers encore gamin)	I	Substantif Masc. Sing.	Isotopie cognitive métaphorique humaine	Bambino (riferimento all'Universo ancora bambino)	1	Substantif Masc. Sing.
Coller (son œil) sur	I	Verbe trans.	Emploi métaphorique	Incollare(il suo occhio) su	1	Verbe trans.
Appareil	I	Substantif Masc. Sing.		Strumento	1	Substantif Masc. Sing.
Voir de ses yeux		Expression figée		Vedere con i propri occhi	1	Expression figée
Homme de Cro-Magnon		Substantif Masc. Sing.	Anthropologie, espèce Homo sapiens	Uomo di Cro-Magnon	1	Substantif Masc. Sing.
Sensibilité de princesse	I	Substantif Fém. Sing.		Sensibilità da principessa	1	Substantif Fém. Sing.
Immuable	I	Adjectif		Immutabile	1	Adjectif

La répartition des galaxies						
La suddivisione delle galassie						
1 Inventaire	2	3	4	5 Concordance	6	7
Désignation en LD	Référence	Catégorie	Champ/Filtre/domaine	Concordant	Réf. source	Grammaire
Raisin	I	Substantif Masc. Sing	Alimentaire	Uvetta	1	Substantif Fém. Sing.
Cake	I	Substantif Masc. Sing	Alimentaire	Torta	1	Substantif Fém. Sing.
Cristal dans un sel	I	Substantif Masc. Sing	Minéralogie	Cristallo in un sale	1	Substantif Masc. Sing
Arbre dans un verger	I	Substantif Masc. Sing	Botanique	Albero in un frutteto	1	Substantif Masc. Sing
Grappe	I	Substantif Fém. Sing		Ammasso	1	Substantif Masc. Sing
Réparti	I	Adjectif		Suddiviso	1	Adjectif
Aléatoire	I	Adjectif		Aleatorio (casuale)	1	Adjectif
Paquet	I	Substantif Masc. Sing		Agglomerato	1	Substantif Masc. Sing
Amas de galaxies	I	Substantif Masc. Sing	Astrophysique	Ammasso di galassie	1	Substantif Masc. Sing
Superamas	I	Substantif Masc. Sing	Astrophysique	Superammasso	1	Substantif Masc. Sing
Attroupement (de badauds)	I	Substantif Masc. Sing		Folle (di curiosi)	1	Substantif Masc. Sing
Parois des bulles	I	Substantif Fém. Sing.	Emploi métaphorique	Parete delle bolle	1	Substantif Fém. Sing.
Mousse de savon	I	Substantif Fém. Sing.	Emploi métaphorique	Schiuma del sapone	1	Substantif Fém. Sing.
Entourer d'espaces vides	I,A	Verbe intrans.		Circondare di/con spazi vuoti	1	Verbe intrans.
Zoom arrière	I	Substantif Masc. Sing + préposi-	Photographie, cinémato-	Zoomare indietro	1	Substantif Masc.

		tion	graphie			Sing + préposition
Se mettre à faire de la dentelle	I	Verbe pronom.	Emploi métaphorique	Mettersi a fare il merletto	1	Verbe pronom.
Paquet (de galaxies)	I	Substantif Masc. Sing	Astrophysique	Agglomerato (di galassie)	1	Substantif Masc. Sing
Amas globulaire	I	Substantif Masc. Sing. + adjectif	Astrophysique	Ammasso globulare	1	Substantif Masc. Sing. + adjectif
Halo (de la galaxie)	I	Substantif Masc. Sing.	Astrophysique	Alone (della galassia)	1	Substantif Masc. Sing.
Siège de	I	Substantif Masc. Sing.		Posto di	1	Substantif Masc. Sing.
Trou noir intermédiaire	I	Substantif Masc. Sing. + adjectif	Astrophysique	Buco nero intermedio	1	Substantif Masc. Sing. + adjectif
Tâcher de	A,1,b	Verbe intrans.		Cercare	1	Verbe trans.
Amas de la Vierge (nommé aussi Virgo)	I	Substantif Masc. Sing. + nom propre	Astrophysique	Ammasso della Vergine (chiamato anche Virgo)	1	Substantif Masc. Sing. + nom propre
Superamas Local	I	Substantif	Astrophysique	Superammasso Locale	1	Substantif
Nuages de galaxies	I	Substantif	Astrophysique	Nubi di galassie	1	Substantif
Volume considérable	I	Substantif Masc. Sing. + adjectif	Physique	Volume significativo	1	Substantif Masc. Sing. + adjectif
Déformation	A	Substantif Fém. Sing.		Deformazione	1	Substantif Fém. Sing.
Imprimée par	2,b	Adjectif		Conferita da	1	Adjectif
Groupe local (sous-groupe de l'amas Virgo)	I	Substantif, nom propre	Astronomie	Gruppo Locale (sottogruppo dell'ammasso della Vergine)	1	Substantif, nom propre
Année-lumière (de rayon)	I	Substantif Masc. Sing.	Astronomie	Anno luce (di raggio)	1	Substantif Masc. Sing.
Interaction gravi-	I	Substantif Fém. Sing.	Physique	Interazione gravita-	1	Substantif Fém.

tationnelle				zionale		Sing.
Courbure creusée	I	Substantif Fém. Sing. + adjectif	Physique	Curvatura aumentata	1	Substantif Fém. Sing. + adjectif
Foncer	I	Verbe trans.		Andare incontro	1	Verbe intrans.
Allure	I	Substantif Fém. Sing.		Velocità	1	Substantif Fém. Sing.
Détecter	I	Verbe trans.		Rilevare	1	Verbe trans.
Afficher	I	Verbe trans.		Mostrare	1	Verbe trans.
Proportion souhaitable	I	Substantif Fém. Sing. + adjectif		Dimensione opportuna	1	Substantif Fém. Sing. + adjectif
Entraîner	I	Verbe trans.		Comportare	1	Verbe trans.
Énervant problème	I	Adjectif + Substantif Masc. Sing.		Questione irritante	1	Substantif Fém. Sing. + adjectif
Resurgir	I	Verbe intrans.		Ripresentarsi	1	Verbe intrans.
Bouger	I	Verbe intrans.	Registre familial	Muoversi	1	Verbe pronom.
Se disloquer	I	Verbe pronom.		Spostarsi	1	Verbe pronom.
Flux (de rayons X)	I	Substantif Masc. Sing.		Flusso (di raggi X)	1	Substantif Masc. Sing.
Débusquer	I	Verbe trans.		Stanare, scovare	1	Verbe trans.
Amas de noisettes	I	Substantif Masc. Sing.	Métaphore	Ammasso di nocciole	1	Substantif Masc. Sing.
Noisetier	I	Substantif Masc. Sing.		Nocciolo	1	Substantif Masc. Sing.
Loupiote	I	Substantif Fém. Sing.		Piccola lampada che rischiara poco	1	Substantif Fém. Sing. + verbe trans.
Détecteur (de rayons X)	I	Substantif Masc. Sing.		Rilevatore (di raggi X)	1	Substantif Masc. Sing.
Pelote (de nœuds)	I	Substantif Masc. Sing.		Matassa (di nodi)	1	Substantif Fém. Sing.
Guirlande	I	Substantif Fém. Sing.		Filo di luci	1	Substantif Masc. Sing.

Carrousel (de gaz et de poussières)	I	Substantif Masc. Sing.	Métaphore	Giostra (di gas e di polveri)	1	Substantif Fém. Sing.
Fronaison de gaz	I	Substantif Fém. Sing.	Métaphore	Fronda/chioma di gas	1	Substantif Fém. Sing.
Buisson	I	Substantif Masc. Sing.	Botanique	Cespuglio	1	Substantif Masc. Sing.
Banlieue parisienne	I	Substantif Fém. Sing.		Periferia parigina	1	Substantif Fém. Sing.
Branchage	I	Substantif Masc. Sing.		Ramo	1	Substantif Masc. Sing.
Se cogner	I	Verbe pronom.		Scontrarsi	1	Verbe pronom.
Diaphane matériau intergalactique	I	Substantif Masc. Sing. + adjectif	Physique, étymologie : du grec διαφανής	Diafano materiale intergalattico	1	Substantif Masc. Sing. + adjectif
Réseau	I	Substantif Masc. Sing.		Rete	1	Substantif Fém. Sing.
Filament gazeux	I	Substantif Masc. Sing. + adjectif		Filamento gassoso	1	Substantif Masc. Sing. + adjectif
S'accrocher	I	Verbe pronom.		Attaccarsi	1	Verbe pronom.
Accrétion	I	Substantif Fém. Sing.		Accrescimento	1	Substantif Masc. Sing.
Reliquat	I	Substantif Masc. Sing.	Sens figuré	Residuo	1	Substantif Masc. Sing.
Berceau	I	Substantif Masc. Sing.	Emploi métaphorique	Culla	1	Substantif Fém. Sing.
Délestée de	I	Adjectif		Liberata da	1	Adjectif
Matière relâchée	I	Substantif Fém. Sing.		Materia rilasciata, sprigionata	1	Substantif Fém. Sing.
Nourricier (référence au milieu intergalactique)	I	Substantif	Emploi métaphorique	Nutrire (riferimento all'ambiente intergalattico)	1	Verbe trans.
Vide résonnant (des échos)	I	Substantif Masc. Sing. + adjectif		Il vuoto che risuona (gli echi)	1	Substantif Masc. Sing. + verbe

						trans.
Relâcher	I	Verbe trans.		Rilasciare	1	Verbe trans.
Effondrement gravitationnel	I	Substantif Masc. Sing. + adjectif	Astrophysique	Collasso gravitazionale	1	Substantif Masc. Sing. + adjectif
Agent entremêlé	I	Substantif Masc. Sing. + adjectif		Fattore correlato	1	Substantif Masc. Sing. + adjectif
Émaillé de grumeaux	I	Substantif Masc. Sing.		Caratterizzato da agglomerati	1	Substantif Masc. Plur.
Agent prépondérant	I	Substantif Masc. Sing. + adjectif		Fattore preponderante	1	Substantif Masc. Sing. + adjectif
Hélas !	I	Interjection		Ahimè, purtroppo	1	Interjection

Les collisions entre galaxies						
Le collisioni tra galassie						
1 Inventaire	2	3	4	5 Concordance	6	7
Désignation en LD	Référence	Catégorie	Champ/Filtre/domaine	Concordant	Réf. source	Grammaire
Se tamponner	I	Verbe pronom.	Emploi métaphorique	Tamponarsi	1	Verbe pronom.
À qui mieux mieux	I	Expression figée		Facendo del proprio meglio	1	Expression figée
Collision (de galaxies)	I	Substantif Fém. Sing.	Astrophysique	Collisione (di galassie)	1	Substantif Fém. Sing.
Mélanger (les bras)	I	Verbe trans.		Mescolare (i bracci)	1	Verbe trans.
Perturber	I	Verbe trans.		Alterare	1	Verbe trans.
Plan (du disque est tordu)	I	Substantif Masc. Sing.	Astrophysique	Piano (del disco è storto)	1	Substantif Masc. Sing.
Roue (de vélo voilée)	I	Substantif Fém. Sing.	Emploi métaphorique	Ruota (di bicicletta ve-lata)	1	Substantif Fém. Sing.
Forme cabossée	I	Substantif Fém. Sing.+ adjectif		Forma malridotta	1	Substantif Fém. Sing.+ adjectif

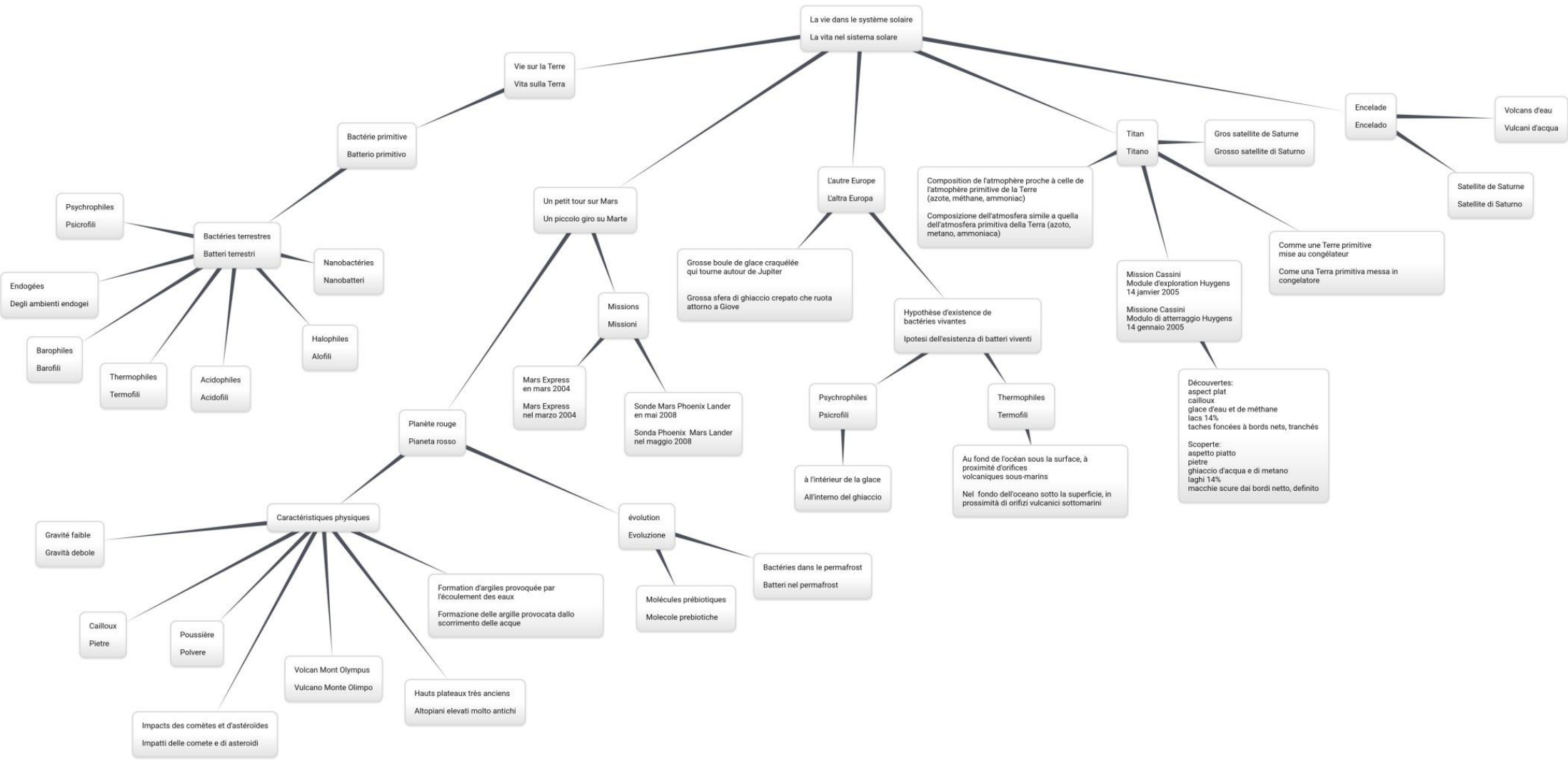
Rixe (entre galaxies)	I	Substantif Fém. Sing.	Emploi métaphorique	Rissa (tra galassie)	1	Substantif Fém. Sing.
Altercation de frontières	I	Substantif Fém. Sing.	Emploi métaphorique	Lite di confine	1	Substantif Fém. Sing.
Elliptique géante	I	Substantif	Astrophysique	Ellittica gigante	1	Substantif
Ramassis (d'épaves)	I	Substantif Masc. Sing.	Emploi métaphorique	Mucchio (di relitti)	1	Substantif Masc. Sing.
Piste (d'autos tamponneuses)	I	Substantif Fém. Sing.	Automobile	Pista (di autoscontri)	1	Substantif Fém. Sing.
Pare-chocs	I	Substantif Masc. Sing.	Automobile	Paraurti	1	Substantif Masc. Sing.
Échappé (aux mauvaises rencontres)	I	Adjectif	Emploi métaphorique	Sfuggito (ai cattivi incontri)	1	Adjectif
Scalpé	I	Adjectif		Fatto lo scalpo	1	Adjectif
Éborgné	I	Adjectif		Reso cieco	1	Adjectif
Éviscéré	I	Adjectif		Eviscerato	1	Adjectif
Choc	I	Substantif Masc. Sing.		Impatto	1	Substantif Masc. Sing.
Se rencontrer	I	Verbe pronom.		Scontrarsi	1	Verbe pronom.
Garni de lampions	I	Adjectif		Guarnita di luci	1	Adjectif
Vapeur piquetée (de points lumineux)	I	Substantif Fém. Sing. + adjectif		Vapore punteggiato (da punti luminosi)	1	Substantif Masc. Sing. + adjectif
Feutré	I	Adjectif	Sens figuré	Ovattato	1	Adjectif
Destruction (d'étoiles)	I	Substantif Fém. Sing.	Astrophysique	Distruzione (di stelle)	1	Substantif Fém. Sing.
Densité dérisoire	I	Substantif Fém. Sing. + adjectif		Densità insignificante	1	Substantif Fém. Sing. + adjectif
Bataillon	I	Substantif Masc. Sing.	Art militaire	Battaglione	1	Substantif Masc. Sing.
Clairsemé	I	Adjectif		Scarso	1	Adjectif

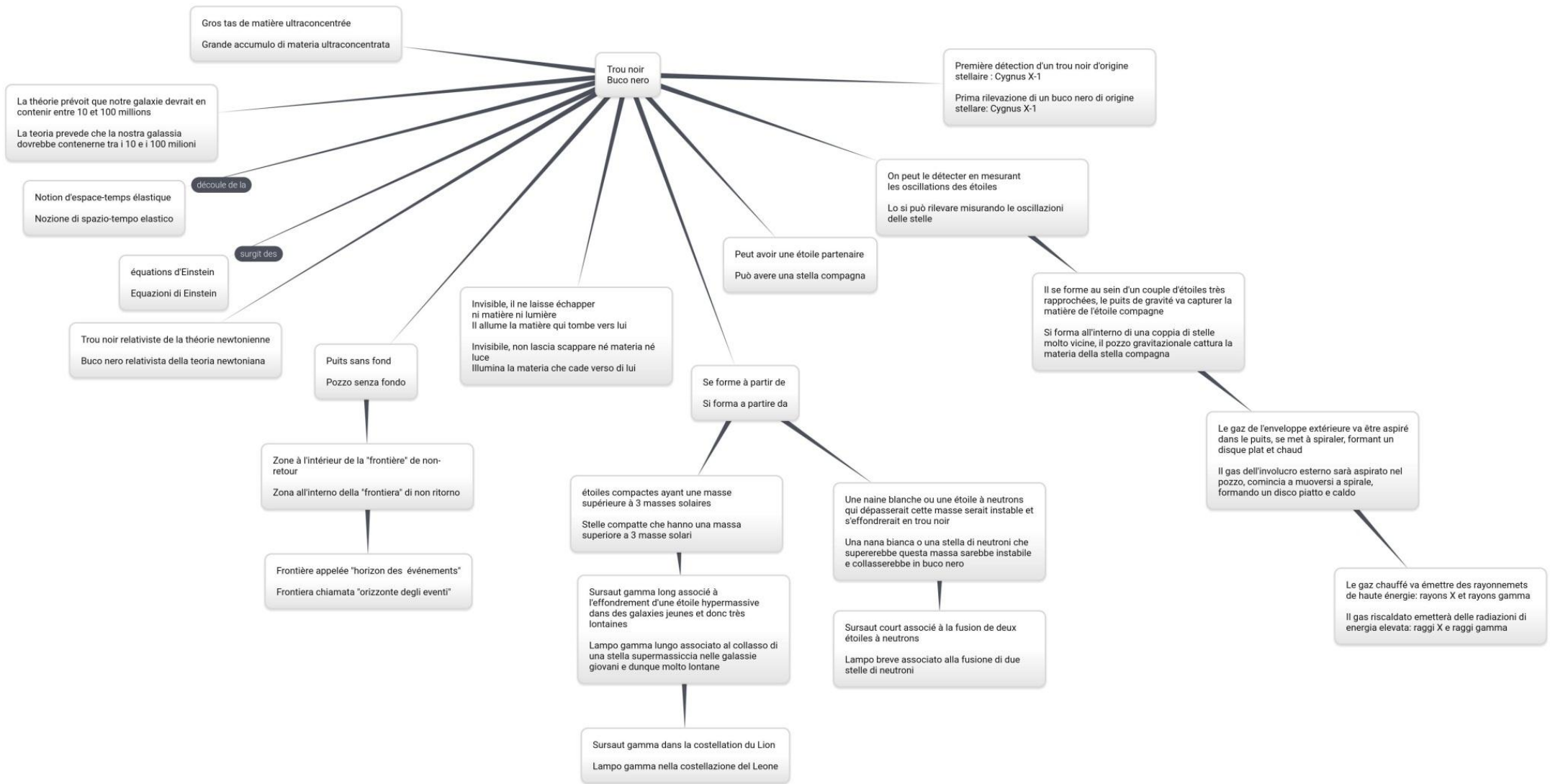
Danseur	I	Substantif Masc. Sing.	Danse	Ballerino	1	Substantif Masc. Sing.
Se traverser	I	Verbe pronom.		Attraversarsi	1	Verbe pronom.
Incidence (du mouvement)	I	Substantif Fém. Sing.	Physique	Incidenza (del movimento)	1	Substantif Fém. Sing.
Galaxie amalgamée	I	Substantif Fém. Sing. + adjectif	Astrophysique	Galassie amalgamate	1	Substantif Fém. Sing. + adjectif
Galaxie engluée	I	Substantif Fém. Sing. + adjectif	Astrophysique	Galassie incollate	1	Substantif Fém. Sing. + adjectif
Gravitation respective	I	Substantif Fém. Sing. + adjectif	Physique	Gravità rispettiva	1	Substantif Fém. Sing. + adjectif
S'entrechoquer	I	Verbe pronom.		Scontrarsi	1	Verbe pronom.
Nuage gazeux interstellaire	I	Substantif Masc. Sing.+ adjectif	Astrophysique	Nube gassosa interstellare	1	Substantif Fém. Sing. + adjectif
Traverser	I	Verbe trans.		Attraversare	1	Verbe trans.
Onde (de choc)	I	Substantif Fém. Sing.	Dynamique	Onda (d'urto)	1	Substantif Fém. Sing.
Nébuleuse protostellaire	I	Substantif+ adjectif	Astrophysique	Nebulosa protostellare	1	Substantif+ adjectif
Se condenser en	I	Verbe pronom.		Condensarsi in	1	Verbe pronom.
Galaxie Roue de Charrette	I	Substantif Fém. Sing.	Astronomie	Galassia Ruota di Carro	1	Substantif Fém. Sing.
De plein fouet	I	Locution adverbiale		Violentemente	1	Verbe
Trace (de choc)	I	Substantif Fém. Sing.		Traccia (d'urto)	1	Substantif Fém. Sing.
Bordure (de la galaxie)	I	Substantif Fém. Sing.		Bordo (della galassia)	1	Substantif Fém. Sing.
Bourdonner de	B,1	Verbe intrans.	Emploi métaphorique	Risuonare di	1	Verbe intrans.
Maternité concentrique	I	Substantif Fém. Sing. + adjectif		Reparto di maternità concentrico	1	Substantif Masc. Sing. . + adjectif
Cataclysme	I	Substantif Masc. Sing.	Géologie	Cataclisma	1	Substantif Masc. Sing.

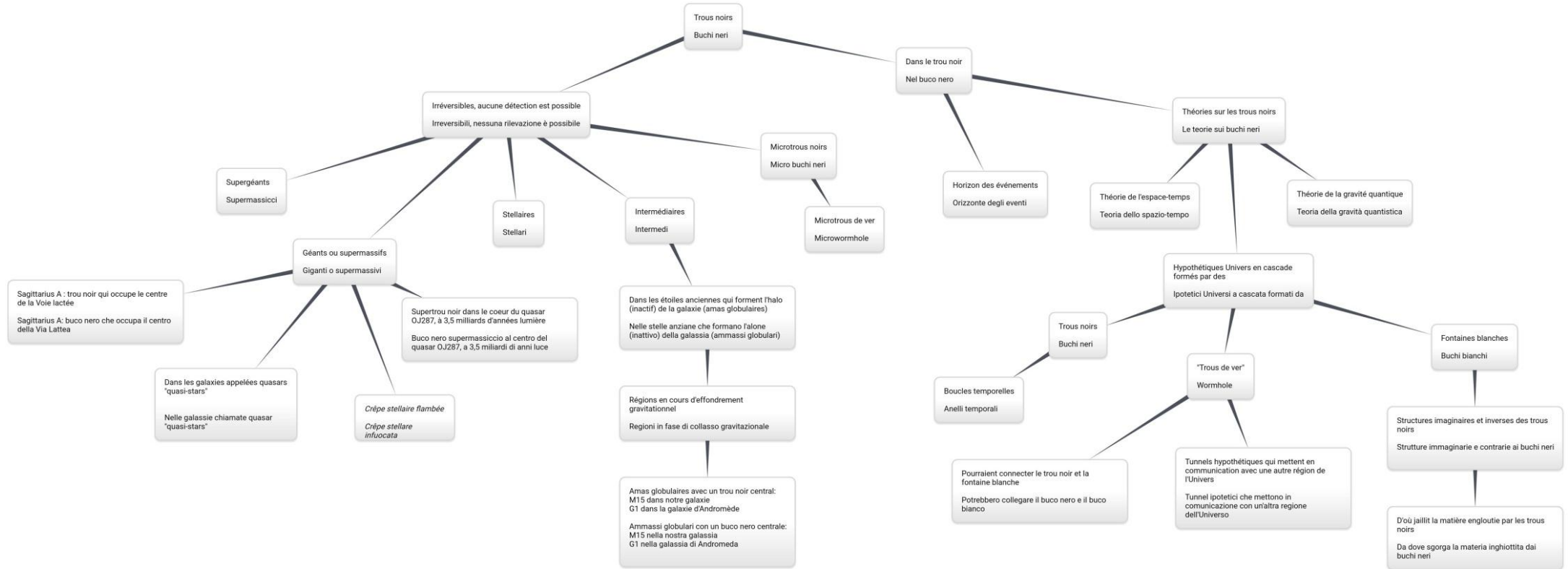
Accidenté	I	Adjectif		Accidentato	1	Adjectif
Phase juvénile (de l'Univers)	I	Substantif Fém. Sing. + adjectif	Isotopie humaine	Fase giovanile (dell'Universo)	1	Substantif Fém. Sing. + adjectif
Spirale massive	I	Substantif + adjectif	Astrophysique	Spirale massiva	1	Substantif+ adjectif
Bousculade	I	Substantif Fém. Sing.		Tumulto	1	Substantif Masc. Sing.
Arracher	I	Verbe trans.		Staccare	1	Verbe trans.
Traînée (d'étoiles)	I	Substantif Fém. Sing.	Astrophysique	Scia (di stelle)	1	Substantif Fém. Sing.
Traînée (de galaxies)	I	Substantif Fém. Sing.	Astrophysique	Scia (di galassie)	1	Substantif Fém. Sing.
Tomber nez à nez sur	I	Expression figée	Registre familier	Ritrovarsi faccia a faccia	1	Expression figée
S'emmêler les pattes	I	Expression figée	Emploi métaphorique	Mescolare (le zampe)	1	Verbe trans.
Joufflu	I	Adjectif		Paffuto	1	Adjectif
Recombinaison en	I	Verbe intrans.		Ricombinare, riordinare in	1	Verbe intrans.
Élément épars	I	Substantif Masc. Sing.+ adjectif		Elemento sparso	1	Substantif Masc. Sing.+ adjectif
Répartition (de la matière noire)	I	Substantif Fém. Sing.	Astrophysique	Distribuzione (della materia oscura)	1	Substantif Fém. Sing.
À défaut de	I	Locution adverbiale		Senza	1	Adverbe
Endurance	I	Substantif Fém. Sing.		Resistenza	1	Substantif Fém. Sing.
Cliché instantané	I	Substantif Masc. Sing.+ adjectif		Fotografia istantanea	1	Substantif Fém. Sing.+ adjectif
Ellipsoïde	I	Adjectif	Géométrie	Ellissoide	1	Adjectif
Patatoïde	I	Adjectif	Géométrie	Patatoide	1	Adjectif
Point acquis	I	Substantif Masc. Sing.+ adjectif		Risultato acquisito	1	Substantif Masc. Sing.+ adjectif

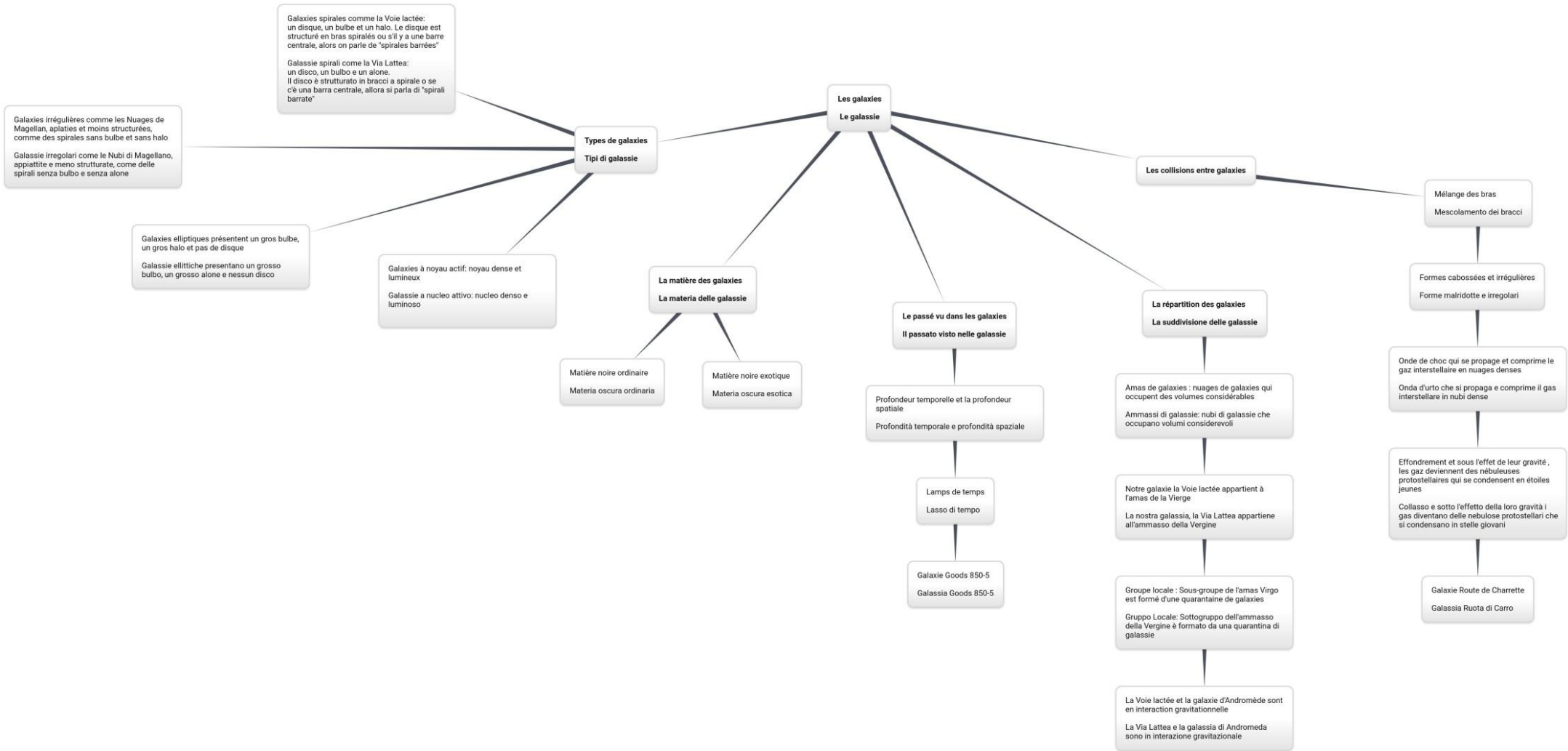
Grumeau	I	Substantif Masc. Sing.		Agglomerato	1	Substantif Masc. Sing.
Régi	I	Adjectif		Regolato	1	Adjectif
Se crêper le chignon	I	Expression figée	Registre familial	Prendersi per i capelli	1	Expression figée
Faire de clash	I	Verbe trans.	Registre familial	Fare il botto	1	Verbe trans.
Interpénétration	I	Substantif Fém. Sing.		Integrazione	1	Substantif Fém. Sing.
Fouetter le sang	I	Expression figée	Par extension	Dare forza	1	Expression figée
Les sangs	I	Substantif Masc. Plur.		Forze	1	Substantif Fém. Plur.
Carrousel d'étoiles	I	Substantif Masc. Sing.	Emploi métaphorique	Giostra di stelle	1	Substantif Fém. Sing.
Se tamponner	I	Verbe pronom.		Scontrarsi	1	Verbe pronom.

Arbres terminologiques du domaine









Riassunto

La comunicazione verbale studiata da Roman Jakobson si fonda su sei fattori fondamentali: il mittente, il messaggio, il destinatario, il contesto, il codice e il canale.

Il *mittente* è colui che trasmette il messaggio; il *messaggio* è l'oggetto della comunicazione; il *destinatario* è colui che riceve il messaggio; il *contesto* è l'insieme delle circostanze e delle situazioni in cui s'inserisce la comunicazione; il *codice* consiste in un sistema di segni e regole di utilizzo dei segni impiegato nella comunicazione; il *canale* è la connessione fisica che consente la comunicazione e la mantiene. A questi sei fattori della comunicazione verbale, secondo Jakobson, corrispondono sei funzioni del linguaggio: la funzione *referenziale* (riferita al contesto), la funzione *emotiva* (riferita al mittente), la funzione *conativa* (riferita al destinatario), la funzione *fatica* (riferita al canale), la funzione *poetica* (riferita al messaggio), la funzione *metalinguistica* (riferita al codice).

La funzione *emotiva* è riferita al mittente e riguarda la sua soggettività, lo stato d'animo, l'impiego dei vari mezzi nel proprio messaggio, come un'elevazione o una modulazione del tono della voce, l'alterazione del normale ordine delle parole all'interno di un enunciato.

La funzione *referenziale* riguarda il contesto ed è espressa quando, il parlante compie un'azione di referenza, ovvero collega le parole ai referenti. Per poter compiere questo processo e trasmettere le informazioni, il parlante necessita di una conoscenza extra-linguistica che gli permette di utilizzare il fenomeno della coreferenza e di individuare il codice, al fine di raggiungere una competenza testuale comune.

La funzione *poetica* è incentrata sul messaggio e si focalizza sull'aspetto fonico delle parole, la scelta dei vocaboli e della costruzione formale.

La funzione *fatica* riguarda il canale, attraverso il quale passa il messaggio e richiama l'attenzione dell'ascoltatore, come per esempio: "pronto?", "mi senti?". Questa funzione ha lo scopo di stabilire, mantenere e terminare il contatto fisico e psicologico col ricevente del messaggio.

La funzione *metalinguistica* è rappresentata da tutti gli elementi presenti che definiscono o ridefiniscono il codice, ovvero la lingua, e che permettono di chiedere e

fornire chiarimenti sui termini di una determinata lingua, impiegati all'interno del messaggio.

La funzione *conativa* o *persuasiva* è impiegata dal mittente per influire sul destinatario, affinché agisca in funzione del messaggio, per esempio attraverso l'uso del vocativo o dell'imperativo.

Nella comunicazione in ambito scientifico, i *mittenti* sono rappresentati dai ricercatori specialisti del settore e i *destinatari* possono essere altri ricercatori professionisti dello stesso campo, degli studenti in fase di formazione, oppure un pubblico di lettori che non possiede conoscenze specifiche, ma che dimostra interesse e curiosità per le nuove nozioni della materia. Nell'ambito scientifico, la comunicazione specializzata assume una dimensione verticale che si sviluppa su tre livelli di una piramide ideale: gli specialisti del settore, i non specialisti che apprendono le conoscenze specializzate durante la propria formazione e il grande pubblico che apprende nozioni globali e non specifiche attraverso il genere della divulgazione.

Nella dimensione verticale della lingua ha origine la nozione di *lingue speciali*, ovvero delle varietà linguistiche che permettono di mantenere differenziato l'uso eterogeneo della lingua nei diversi settori specializzati. In particolare, le lingue speciali sono impiegate nella comunicazione tra gli specialisti di un determinato campo scientifico per evitare ambiguità di significato ed incomprensioni, poiché possiedono la capacità di restare lontane dalla lingua comune. Secondo la dimensione verticale, i livelli linguistici nelle lingue speciali sono almeno due: il primo riguarda il contatto linguistico diretto tra gli specialisti dello stesso settore che fondano l'economia verbale sulla condivisione del sapere; il secondo nasce dal contatto tra specialista e lettore profano nel genere della divulgazione, dove le nozioni specifiche sono trattate e trasmesse con l'uso della lingua comune e con esempi pratici che permettono di chiarire i concetti più complessi.

Nel genere della divulgazione, la terminologia appartenente alla lingua speciale perde determinate caratteristiche specifiche, al fine avvicinarsi alla lingua comune, che è usata come metalinguaggio. Le funzioni della divulgazione sono numerose: in primo luogo, permette la diffusione della conoscenza e della cultura; in secondo luogo, consolida il tessuto sociale; infine essa è basata sulla condivisione del sapere. Inoltre, la divulgazione ha una finalità non solo di integrazione sociale, ma anche professionale, in

cui si radicano la coesione sociale e l'esercizio della propria professione di studioso e di ricercatore in un determinato settore scientifico.

Accanto al genere della divulgazione, è stato formulato anche il concetto di *socioterminologia*, dagli studiosi J.-C. Boulanger, P. Lerat, M. Slodzian. La socioterminologia è una disciplina che s'interessa al cambiamento dei termini all'interno di una lingua speciale e considera l'uso dei termini in sincronia e diacronia, la loro comparsa, la circolazione, l'appropriazione, la richiesta sociale, inoltre essa contribuisce allo sviluppo della ricerca nel genere della divulgazione scientifica. F. Gaudin, specialista della socioterminologia, nella sua opera *Socioterminologie. Une approche sociolinguistique de la terminologie* analizza il sapere caratterizzato da una grande eco sociale e culturale e dalla terminologia, dove la dimensione sociale e la circolazione della terminologia implicano ciò che designiamo col nome di *divulgazione*. Infatti, l'autore del genere divulgativo lascia da parte i termini scientifici e i tecnicismi, permettendo così al lettore di avvicinarsi al sapere attraverso le parole d'uso comune. Per questo, lo studio della diffusione sociale del sapere negli scritti scientifici può svilupparsi nella direzione della divulgazione, a partire dalla specificità delle terminologie e dai loro usi sociali.

Partendo dalla sua definizione, la terminologia designa almeno tre diversi concetti: l'insieme dei principi concettuali che regolano lo studio dei termini; l'insieme delle regole che permettono di realizzare un lavoro terminografico; l'insieme dei termini di un dato settore specializzato. Nella sua prima accezione, la terminologia è considerata come una disciplina; nella seconda, viene considerata la sua metodologia; la terza accezione designa l'insieme dei termini di un dato settore.

Dal punto di vista linguistico, in primo luogo, la terminologia studia il lessico specializzato dei vari settori; in secondo luogo, dal punto di vista di una disciplina scientifica, la terminologia è il riflesso della sua organizzazione concettuale, un mezzo di espressione e di comunicazione; infine dal punto di vista dell'utilizzatore, la terminologia è un insieme di unità di comunicazione valutate attraverso dei criteri di economia linguistica, di precisione e di adeguatezza dell'espressione.

Nella considerazione l'atteggiamento linguistico delle terminologie, ci sono almeno due modi di designare il nome specifico e il nome comune, come per esempio nelle discipline delle scienze naturali, nell'astrofisica e nella medicina. La pratica della

lingua speciale impiegata dagli specialisti, infatti, è vista come un linguaggio oscuro dal grande pubblico, escludendo i lettori appartenenti a livelli di competenza differenti rispetto alle nozioni specifiche degli esperti del settore, e sottolineando i rapporti ineguali tra i gruppi sociali. Inoltre, quando le proprietà semantiche delle terminologie scientifiche e la loro stabilità diacronica restano sconosciute ai lettori nel discorso di divulgazione, esse si qualificano come neologismi.

Poiché il carattere autonomo della terminologia si collega alle nozioni che trasmette, essa si preoccupa primariamente della relazione che stabilisce tra l'oggetto reale e la nozione che lo rappresenta, in questo modo, attraverso un processo di astrazione, l'individuo passa dall'oggetto reale alla nozione o alla categoria dell'oggetto. La terminologia, dunque, si collega ai settori specifici e rappresenta una risposta ai bisogni nella comunicazione specializzata dei progressi nel campo scientifico e nella tecnica. Inoltre, come disciplina, la terminologia s'interessa dell'elaborazione, della descrizione, della trattazione e della presentazione dei termini propri dei settori specializzati, in una o più lingue. Infatti, l'impiego della terminologia è destinato a soddisfare i bisogni sociali legati alla comunicazione tra specialisti e professionisti.

La pratica terminologica è legata alla lingue speciali che hanno delle finalità comunicative e d'informazione. Inoltre, sono molteplici i fattori che intervengono in materia terminologica, ovvero: lo scopo del lavoro terminologico, la metodologia di ricerca, gli agenti che intervengono nell'attività terminologica, i prodotti terminologici e l'aspetto interdisciplinare. In primo luogo, lo scopo del lavoro terminologico è di elaborare delle terminologie uniformi per una comunicazione efficace ed univoca tra i professionisti dei settori specializzati in tutte le sfere dell'attività umana. In secondo luogo, la metodologia della ricerca terminologica consiste nel compilare, descrivere e ordinare i termini presenti in una lingua speciale. In particolare, nei lavori che sono orientati verso l'uniformità delle nozioni e dei termini, l'attività degli specialisti consiste nello scegliere una o più possibilità terminologiche, al fine di trovare una forma di denominazione univoca: infatti, gli specialisti hanno un ruolo fondamentale nell'attività terminologica, poiché cercano di stabilire i sistemi di nozioni e di riconoscere il carattere valido delle denominazioni. In terzo luogo, i prodotti terminologici sono presentati da una definizione molto precisa e sistematica, poiché i destinatari sono degli specialisti del settore. In-

fine, l'aspetto interdisciplinare è alla base della terminologia ed è legato ai rapporti con la logica, l'informatica, la teoria della comunicazione e dell'informazione.

Il genere della divulgazione scientifica si radica nei fondamenti della comunicazione scientifica, un mezzo che permette ai ricercatori e agli specialisti di diffondere i propri risultati e le nuove scoperte, ad un pubblico che può essere composto da destinatari specialisti del settore, oppure possono essere semplicemente dei lettori che mostrano particolare interesse per una determinata materia. Nei settori scientifici, tecnici e professionali, le *lingue speciali*, ovvero varietà diafasiche di una lingua utilizzata da esperti di un ambito specifico, che rendono la comunicazione chiara ed efficace, ricoprono una posizione importante nei testi, in cui assumono una dimensione verticale, caratterizzata dalla diversità tipologica dei destinatari: gli specialisti appartenenti al settore specifico; i lettori non specialisti che apprendono le conoscenze specializzate del settore attraverso lo studio accademico; i lettori appartenenti al "grande pubblico", non specialisti della materia, che mostrano particolare interesse per le scoperte scientifiche e che apprendono delle conoscenze globali e non specializzate, attraverso il genere della divulgazione. La condivisione del sapere e il contatto tra lo specialista della materia e il lettore profano sono i caratteri fondamentali sui quali si basa il genere divulgativo, e per questa ragione, il discorso di divulgazione scientifica favorisce non solo circolazione riguardante i discorsi primari prodotti dai professionisti di un determinato settore specializzato, ma soprattutto i discorsi di elaborazione secondaria che sono redatti dai divulgatori, affinché la diffusione delle conoscenze sia trasmessa e facilitata per i lettori appartenenti al grande pubblico.

A livello divulgativo, la lingua speciale tende a perdere le caratteristiche che la distinguono, al fine di coesistere con la lingua comune, che viene impiegata come metalinguaggio, in cui i termini specializzati vengono sostituiti da termini sinonimici che appartengono alla lingua comune e al registro medio. Inoltre, l'uso di una sinonimia più vaga e di indicatori che introducono una glossa, rispetto alla terminologia scientifica propria del settore, permette di stabilire un rapporto di referenza che stabilisce un'equivalenza diretta tra i termini comuni e quelli più tecnici e complessi, chiariti attraverso le perifrasi, le glosse e le parafrasi di tipo esplicativo. In particolare, nel genere divulgativo, la funzione delle glosse metalinguistiche occupa la funzione di intermedia-

rio tra la lingua speciale e la lingua comune, affermando così il suo carattere chiarificatore riguardante la singolarità semantica del termine, e a partire da un termine particolare, la glossa metalinguistica assume le qualità di una sequenza caratterizzata da un'unità lessicale, un morfema grammaticale, oppure una costruzione sintattica.

Il procedimento di traduzione in italiano dell'opera *Bonnes nouvelles des étoiles* si dimostra interessante per diverse ragioni, poiché il genere divulgativo dona la possibilità di avvicinare le nozioni tipicamente scientifiche alla sintassi della lingua comune, propria dei lettori del grande pubblico. Dopo una lettura attenta e approfondita dell'opera, sono state condotte delle attività di ricerca terminologica, affinché la traduttrice potesse trovare una corrispondenza tra i termini francesi e italiani del settore dell'astrofisica e della fisica che caratterizzano il testo, grazie anche all'impiego di strategie e di operazioni traduttive come: il prestito, il calco, la trasposizione, l'amplificazione, l'equivalenza, la generalizzazione e la particolarizzazione.

In particolare, la traduzione oggetto di studio tratta delle tematiche che offrono una panoramica sviluppata dall'autore Jean-Pierre Luminet, attraverso le "notizie regionali", "nazionali" ed "internazionali", che partendo dal sistema solare, considerano i pianeti, le stelle, le galassie, fino ad immaginare l'Universo in una visione d'insieme. Le sezioni tradotte riguardano: il secondo capitolo *La vita nel sistema solare*, nella prima parte *Notizie regionali: i pianeti e il sistema solare*, dalla pagina 33 alla pagina 54; la sezione su *I buchi neri* del quinto capitolo *La formazione dei buchi neri e la teoria della relatività generale* nella seconda parte che tratta le *Notizie nazionali: le stelle e la galassia* dalla pagina 170 alla pagina 198; infine, nella terza parte le *Notizie internazionali: le galassie e l'Universo*, il primo capitolo riguardante *Le galassie* dalla pagina 201 alla pagina 223.

Nell'opera *Bonnes nouvelles des étoiles* di Jean-Pierre Luminet, il sistema sintattico è basato sull'uso della paratassi, rispetto all'ipotassi, per questa ragione, il processo di redazione della traduzione non ha presentato particolari difficoltà a livello sintattico e le divergenze a livello di struttura fraseologica non hanno allontanato il testo di partenza dal testo di arrivo. Nell'opera, sono presenti due funzioni testuali che dominano i contenuti trasmessi: in primo luogo, l'uso della metafora che, da un lato, rende esplicite e chiare le nozioni e le scoperte al grande pubblico, dall'altro lato, giustappone

la terminologia specifica del settore alla lingua comune; in secondo luogo, la funzione didattica che mediante la metafora avvicina i lettori alla materia scientifica, a partire dalle nozioni più generali del settore dell'astrofisica, fino a fornire delle conoscenze gradualmente specializzate, man mano che il lettore procede con la lettura del testo. La funzione didattica del testo, infatti, è sottolineata dal carattere esplicativo degli enunciati: da un lato, il vocabolario è caratterizzato dalla presenza di termini tecnici la cui univocità e stabilità terminologiche sono proprie del settore dell'astrofisica; dall'altro lato, i termini non trasmettono l'accessibilità diretta al termine da parte del grande pubblico e per questa ragione, quando il lettore incontra un termine che appartiene alla lingua speciale, esso viene chiarito attraverso l'uso di termini appartenenti alla lingua comune. In quest'opera divulgativa, non solo i termini che appartengono alla terminologia specifica del settore astrofisico sono spiegati da delle definizioni che si avvicinano alle competenze dei lettori, ma anche da degli esempi più pratici che permettono ai lettori di visualizzare in modo più concreto i concetti teorici e i fenomeni fisici descritti, che avvengono nell'Universo.

I termini presenti nel testo di partenza possono essere classificati in tre categorie: 1) i termini che dispongono di equivalenti reali per esempio il termine *trou noir* corrisponde al termine italiano *buco nero*; 2) i termini che dimostrano un equivalente funzionale per esempio *paquets de galaxies*; 3) i termini intraducibili come *fontaine blanche* e il verbo *spiraler*, oppure gli aggettivi *terrocentrique* e *solarien* che non trovano nell'immediato dei corrispondenti diretti in italiano e per questa ragione richiedono l'uso di operazioni traduttive.

Per quanto riguarda il sistema verbale del testo di partenza, esso si basa sull'impiego dei tempi verbali del presente, del futuro, del condizionale presente soprattutto nel periodo ipotetico, dell'imperfetto e del passato prossimo. Generalmente, i participi presenti nel testo di partenza sono stati resi attraverso una proposizione relativa nel testo di arrivo, per delle ragioni stilistiche che caratterizzano l'italiano.

Durante il processo di traduzione in italiano delle sezioni riguardanti *La vita nel sistema solare*, *I buchi neri* e *Le galassie*, le attività della traduttrice hanno riguardato: in primo luogo, la ricerca terminologica; in secondo luogo, la concordanza in italiano del vocabolario e della stilistica scelta dall'autore dell'opera; in terzo luogo, la sintassi

del discorso nel testo di arrivo; infine, l'uso di strategie e di operazioni traduttive atte a risolvere alcune problematiche terminologiche, in accordo con la funzione didattica del testo di divulgazione.

La prima fase riguarda la ricerca della terminologia, caratterizzata dalla chiarezza e dall'univocità del campo astrofisico, che ha condotto spesso a dei termini non comprensibili nell'immediato, poiché sono specifici del settore. I dizionari on line mostrano i loro limiti nello studio così specifico, dunque è stata necessaria una ricerca del settore più approfondita, affinché la traduttrice potesse identificare il termine più appropriato nella traduzione. Per questo motivo, la lettura attenta di riviste linguistiche, di articoli di divulgazione e la consultazione dei siti della *NASA* e *Hubblesite* sono stati indispensabili non solo per avere un'idea chiara dei concetti espressi nel testo di partenza, ma anche per apprendere le nozioni e la terminologia italiana riguardanti le ultime scoperte sui pianeti, i satelliti del sistema solare, le caratteristiche che determinano i buchi neri e i wormhole, ed infine sulle tipologie delle galassie e sulla loro formazione.

La seconda fase consiste nel redigere un "concordancier", ovvero una lista di termini presenti nel testo di partenza e considerati secondo la loro categoria grammaticale e le caratteristiche specifiche che mostrano nel contesto. Una volta identificata la concordanza tra il termine francese e quello italiano, infatti, è indispensabile strutturare un concordancier, non solo per classificare i termini tecnici e specializzati del settore, ma anche per designare i termini appartenenti alla lingua comune e al registro familiare che presentano degli usi particolari nell'opera *Bonnes nouvelles des étoiles*.

La terza fase verte sull'uso delle operazioni traduttive formulate dagli studiosi Vinay e Darbelnet, che si sono dimostrate indispensabili al fine risolvere le sfide presentate nel testo e le problematiche di traduzione incontrate. Infatti, grazie all'applicazione nella traduzione delle operazioni come il prestito, il calco, la traduzione letterale, la trasposizione, la modulazione, l'equivalenza e l'adattamento, la traduttrice ha potuto formulare in modo coerente i concetti enunciati dall'autore Jean-Pierre Luminet nel testo di partenza.

Nel discorso di divulgazione, l'attività metalinguistica permette alle terminologie specifiche dei discorsi di apparire in co-occorrenza con una parafrasi tipica dell'enunciato di divulgazione. Mentre nel discorso scientifico, la terminologia tende ad

eliminare la sinonimia, nel discorso di divulgazione, si stabilisce un rapporto di sinonimia referenziale che mette in equivalenza i termini scientifici e dei vocaboli caratterizzati da una sfera semantica più vaga, con un significato più povero, ma che corrispondono a dei lessemi in grado di coprire dei referenti più vari rispetto al solo referente del termine scientifico.

Il discorso di divulgazione è caratterizzato dall'uso termini che appartengono ad una terminologia specifica di un determinato settore scientifico, che sono chiariti attraverso l'introduzione dei cosiddetti indicatori di glossa. Infatti, la glossa consiste in un chiarimento di senso che il locutore conferisce alla parola impiegata ed è accompagnata da un commento metalinguistico. Nel suo uso, la glossa svolge numerose funzioni: in primo luogo, precisa un nuovo senso di una parola già nota; in secondo luogo, essa specifica un particolare uso di un termine oppure ne delimita le accezioni; in terzo luogo, definisce anche un termine non conosciuto; infine la glossa può contenere un termine derivante da un prestito linguistico, da un calco, da un adattamento o da una traduzione letterale di un termine in lingua straniera. Tutte le sequenze della glossa suppongono una struttura che dispone di due elementi: il segmento che richiede l'intervento della glossa (*segment glosé*) e il segmento che introduce ed effettua la glossa (*segment glosateur*). In francese, come in italiano, vi sono anche degli indicatori tipografici che introducono la glossa, come le virgole, i trattini, i due punti oppure le parentesi che intervengono nel testo come segno delle tracce scritte che avviano il procedimento della glossa. Inoltre, tra il segmento che richiede la glossa e il segmento che la introduce, è spesso presente un indicatore lessicale che permette di individuare la glossa in francese, come per esempio *c'est-à-dire, autrement dit, bref, en d'autres termes, ou*. In alcuni casi, il segmento che richiede la glossa è più corto rispetto al segmento che la esegue, poiché la glossa è determinata da un bisogno di spiegare e di chiarire il senso del termine sconosciuto e lontano dalla comprensione immediata. La glossa possiede principalmente una finalità didattica, infatti è considerata come uno strumento per la diffusione del sapere, in grado di fornire una spiegazione di uno o più termini, che sono maggiormente accessibili alla comprensione del destinatario. La glossa è in grado di oltrepassare la concezione di essere un semplice mezzo che fornisce definizioni, poiché impiega un sinonimo equivalente al segmento che richiede la glossa e può prestarsi alla correzione di un termine, quando questo si dimostra inadeguato rispetto al contesto. In particolare, gli

indicatori che costituiscono la glossa francese sono sedici, ovvero: *appelé, à savoir, autrement dit, bref, ce qui veut dire, c'est-à-dire, comme, donc, en d'autres termes, en somme, en particulier, je veux dire, ou, ou plutôt, par exemple, tel que*. Questi indicatori si differenziano secondo due tipologie: gli indicatori con meta-termini, ovvero caratterizzati dalla presenza di un termine di supporto e del suo commento, come *appeler, à savoir, autrement dit, ce qui veut dire, c'est-à-dire, je veux dire, en d'autres termes*; gli indicatori senza meta-termini, in grado di riunire due enunciati in un sintagma binario, come *bref, comme, donc, en somme, en particulier, ou, ou plutôt, par exemple, tel que*.

La funzione esplicativa della glossa e le caratteristiche degli indicatori metalinguistici sono il fondamento per l'acquisizione terminologica e per l'attività di divulgazione, che attraverso la glossa rende accessibili al grande pubblico i discorsi scientifici prodotti dagli specialisti del settore. L'applicazione della glossa ricopre il ruolo di intermediario, in grado di presentare al grande pubblico i nuovi nomi e le nuove unità linguistiche riguardanti le teorie e le scoperte nell'ambito scientifico. Il rapporto tra il segmento che richiede la glossa e il segmento che la effettua costituisce il nodo semantico e discorsivo che collega il processo di divulgazione, partendo dai discorsi di specializzazione fino alla loro riformulazione. Infatti, i discorsi di divulgazione studiati nelle loro strutture sintattiche mostrano degli indicatori ricorrenti che sono all'origine della riformulazione come l'apposizione, l'epiteto distaccato e la proposizione relativa, che richiedono a loro volta l'uso alcuni segni di punteggiatura come la virgola e le parentesi, o dei connettori come *c'est-à-dire* e *ou*. In particolare, le glosse vere e proprie e le sequenze che richiedono il loro uso si sviluppano a partire da questi segni distintivi: da un lato, le sequenze richiedenti la glossa appaiono come delle parole chiave che sono alla base del vocabolario specializzato del settore; dall'altro lato, le loro glosse propongono una spiegazione dei termini specializzati impiegati nel discorso, che cerca di definire la parola sconosciuta.

Nel discorso scientifico divulgativo, la glossa nasce dal bisogno di divulgare la scienza per diffondere le conoscenze e di spiegare le terminologie specializzate: infatti, essa permette di stabilire un confronto semantico tra i termini che stabiliscono un rapporto di coreferenza nei discorsi e in questo modo il divulgatore è in grado di formulare una glossa per riflettere sul termine specializzato, al fine di produrre una traduzione della parola chiave, propria del settore specializzato. Alcune glosse possono essere sottoli-

neate tipograficamente dalle virgole, dalle parentesi o dai trattini, esse possono anche liberarsi dalla linearità del discorso, seguendo lo stile tipico della nota. Dunque, le operazioni messe in atto dal divulgatore cercano di unire la glossa esplicativa ripresa dal termine specializzato, oppure la prima presentazione del termine specializzato che poi diventa oggetto della riformulazione. Le glosse appaiono come il luogo di contatto tra due tipologie di discorso: da un lato il discorso scientifico caratterizzato dai termini che appartengono alle terminologie specializzate del settore, dall'altro lato, il discorso del divulgatore che sottolinea la sua conoscenza del discorso di partenza e la sua competenza linguistica in materia di divulgazione attraverso le perifrasi e le glosse di definizione, impiegate per un ritorno sui termini specializzati e sul vocabolario della disciplina specializzata.

La traduzione specializzata è definita scientifica o tecnica quando il campo d'interesse riguarda i testi di natura tecnica, tecnologica oppure scientifica, che dispongono di un contenuto tecnico, di un linguaggio specializzato, differente dalla lingua comune. I testi di partenza di natura scientifica sono prodotti dagli specialisti nelle lingue speciali e il traduttore deve condurre una ricerca non solo a livello terminologico, ma anche nella documentazione, affinché possa reperire delle informazioni sul soggetto trattato e per essere in grado di riconoscere gli usi del linguaggio specializzato. In particolare, il traduttore tecnico impara che la lingua speciale è caratterizzata da un vocabolario tecnico con delle designazioni proprie del settore, delle sfumature particolari nella sintassi, delle collocazioni, delle espressioni fisse e delle nozioni che oggettivamente rappresentano un ostacolo alla comprensione del lettore medio. Infatti, dopo una prima valutazione globale del testo da tradurre e della situazione comunicativa nella quale s'introduce la traduzione, il traduttore tecnico considera quattro tipologie di fattori che caratterizzano il testo di partenza: i fattori extra-testuali, intra-testuali, semantici e sintattici.

La prima tipologia riguarda i fattori extra-testuali, che sono: 1) il mittente (chi?), 2) la sua intenzione (per quale motivo?), 3) il destinatario (chi?), 4) il canale o il contatto attraverso cui il testo è trasmesso (come?), 5) il luogo (dove?), 6) il momento (quando?), 7) la ragione della comunicazione (perché?). L'insieme delle informazioni ottenute attraverso questi sette fattori costituisce la risposta alla domanda che riguarda la funzione, che rappresenta l'ottavo fattore extra-testuale.

La seconda tipologia considera i fattori intra-testuali del testo che riguardano il soggetto scientifico o tecnico trattato e il contenuto cognitivo, il vocabolario specializzato della terminologia del settore, il livello presupposto dall'autore specialista del settore a proposito delle conoscenze specifiche. Gli elementi peri-testuali riuniscono gli elementi non linguistici o paralinguistici che accompagnano il testo, come per esempio le tabelle e le figure. Gli elementi propriamente testuali riguardano la struttura del testo, le caratteristiche lessicali del registro linguistico formale e le terminologie specifiche, i calchi e i prestiti, infine la sintassi propria del testo scientifico.

La terza tipologia riguarda i fattori semantici che condizionano la pratica della traduzione e che richiedono particolare attenzione, ovvero: il cambiamento semantico, la polisemia, l'omonimia, l'antinomia, la sinonimia, l'intensità, la collocazione, l'inclusione, la connotazione e le figure retoriche.

La quarta tipologia riguarda i fattori di ordine sintattico, le cui funzioni, interne alla sintassi, riguardano il ruolo che i sintagmi assumono nella struttura di sequenza dell'enunciato. I sintagmi nominali hanno la valenza di soggetto o di complemento oggetto, i sintagmi preposizionali hanno valore di complemento indiretto, i sintagmi verbali hanno valenza di predicato. Le valenze verbali riguardano le posizioni sintattiche che esse implicano come per esempio i verbi monovalenti, bivalenti, trivalenti o a valenza zero. Alla base della nozione di valenza, è possibile definire le funzioni sintattiche: il soggetto è definito come prima valenza, l'oggetto come seconda valenza, l'indiretto come terza valenza.

I circostanziali sono gli elementi che non sono implicati direttamente al significato del verbo, ma appartengono all'insieme degli avvenimenti sui quali si aggiungono le informazioni. Inoltre, i circostanziali non fanno parte della valenza del verbo, ma hanno la funzione di modificatori di tempo, di mezzo e di luogo.

La traduzione specializzata si fonda su uno studio della lingua speciale e della terminologia di settore, una ricerca documentaria e la comprensione del testo acquisita in precedenza. In particolare, la ricerca documentaria è approfondita e orientata in funzione del contenuto del testo scientifico da tradurre per dei destinatari che sono degli specialisti dello stesso settore. Per questa ragione, il traduttore che dispone di una documentazione rigorosa ed enciclopedica è in grado di comprendere il soggetto esposto dall'autore e di trattare con più facilità la lingua speciale afferente al contesto scientifi-

co. Per quanto riguarda la ricerca della terminologia tecnica, il traduttore cerca di individuare il campo semantico del termine della lingua di partenza, per comprendere appieno l'idea che esso trasmette, in più, il legame tra lo specialista e il traduttore costituisce un dialogo costruttivo, grazie al quale il traduttore non solo ricerca le equivalenze linguistiche, ma anche esercita la padronanza della lingua per la comprensione tecnica del settore.

Nella traduzione specializzata, le problematiche che insorgono durante la traduzione possono essere distinte in due categorie: i problemi pragmatici e culturali; i problemi linguistici. I problemi pragmatici e culturali sono legati alle variazioni della situazione comunicativa tra il testo di partenza e il testo di arrivo, come per esempio la diversità dei destinatari, il canale di comunicazione o l'intenzione comunicativa, la differenza tra le norme e le convenzioni accettate nel settore specializzato, i generi discorsivi specifici nella lingua di partenza e nella lingua di arrivo. Tra i problemi culturali, invece, appaiono le difficoltà di traduzione legate ai termini propri degli aspetti e delle istituzioni tipici della cultura di partenza e che richiedono uno specifico adattamento alla lingua di arrivo.

I problemi linguistici sono legati al testo scientifico da tradurre e agli aspetti sistematici delle lingue utilizzate, inoltre essi sono rilevati a livello lessicale e a livello morfo-sintattico. I problemi di ordine lessicale sono i falsi amici, i fenomeni di polisemia e i termini o le espressioni che non trovano corrispondenze nella lingua di arrivo. I problemi linguistici di ordine morfosintattico possono essere l'ordine diverso dei costituenti della frase e il bisogno di specificare le relazioni tra i costituenti di un sintagma nominale complesso.

I problemi cognitivi costituiscono delle difficoltà di traduzione più comuni, legate alla natura del testo e alla comprensione, da parte del traduttore, del soggetto specializzato da tradurre. Nella traduzione dei testi scientifici, le difficoltà riguardanti l'interpretazione sono le più rilevanti, poiché sono dovute non solo all'interpretazione del contenuto concettuale, ma anche del linguaggio che presenta delle problematiche a livello propriamente discorsivo. I problemi cognitivi non si limitano ai segmenti testuali il cui senso risulta sconosciuto e oscuro a partire dal loro contesto, ma si sono estesi an-

che alle parole della lingua comune che hanno un'accezione differente nel contesto specializzato.

La traduzione di divulgazione scientifica è un'attività di mediazione tra il mondo scientifico e il grande pubblico, che cerca di diffondere le conoscenze nelle società attraverso molteplici lingue. Inoltre, la divulgazione scientifica rende accessibili i linguaggi degli specialisti, i contenuti delle teorie e delle scoperte, che altrimenti resterebbero incomprensibili ai lettori profani. Per questo motivo, il traduttore specializzato diffonde le informazioni su temi tecnici usando dei termini che appartengono al registro della lingua comune. Nel genere divulgativo, la lingua è meno formale e l'uso dei termini tecnici risulta più raro, sono presenti molti chiarimenti ed illustrazioni, poiché il destinatario non è esigente dal punto di vista terminologico, ma attende delle informazioni comunicate in modo semplice e comprensibile, non troppo dettagliate. Nei testi di divulgazione scientifica, l'intenzione del traduttore ha l'obiettivo di tradurre il messaggio del mittente specialista al fine di aumentare, confermare o modificare le conoscenze del destinatario profano, interessato al campo scientifico specializzato. In particolare, il punto di partenza è rappresentato inizialmente dalla conoscenza più approfondita che il traduttore possiede sul soggetto da trattare e da tradurre, rispetto a quella del destinatario; in secondo luogo, dall'uso di un codice convenzionale che sia di ausilio al destinatario per favorire la concentrazione sul contenuto del messaggio. Nella traduzione scientifica di divulgazione, il traduttore non è solo uno specialista tecnico che informa, ma soprattutto è colui che deve intrattenere i lettori e persuaderli della veridicità dei risultati proposti.

Il traduttore dei testi di divulgazione scientifica pensa innanzitutto ai suoi destinatari, alle loro conoscenze del settore scientifico e in questo modo, agisce sui termini da usare per diffondere i contenuti scientifici. Gli specialisti e gli eruditi si contrappongono al grande pubblico, ma la presa in considerazione delle categorie che compongono il grande pubblico favorisce la distinzione dei destinatari delle traduzioni, ovvero: bambini, ragazzi, pubblico più o meno colto, studenti universitari. In base alla categoria dei destinatari, il processo di divulgazione può aggiungere o eliminare le referenze matematiche, simboliche e tecniche, favorendo una completa rielaborazione lessicale che si sviluppa su tre livelli: base, intermedio ed elevato. Un altro aspetto da evitare nel genere

divulgativo riguarda la semplificazione a oltranza dei contenuti, infatti la divulgazione non è sinonimo di semplificazione, ma di adattamento della lingua in funzione del livello comunicativo. Il traduttore riconosce, da un lato, il rischio di un'eccessiva semplificazione o banalizzazione del contenuto scientifico; dall'altro lato, è consapevole dell'impossibilità di trasmettere attraverso la divulgazione il contenuto propriamente scientifico presente nel testo di partenza elaborato dagli specialisti del settore.

La nozione di *progetto di traduzione* ricopre un ruolo centrale nella traduttologia, poiché designa principalmente la posizione traduttiva che ricopre il traduttore. Innanzitutto, nel suo progetto di traduzione, il traduttore è in grado di stabilire a priori ciò che rappresenta il procedimento del tradurre in generale, successivamente, la traduzione di un testo in particolare. In questo modo, ogni traduzione è vista come una struttura ed uno sviluppo che risultano da un progetto di traduzione, inoltre, un testo tradotto è da considerare come l'espressione del suo progetto di traduzione, che può essere anche ristabilito a partire da esso stesso. In particolare, le caratteristiche e le valutazioni proprie del progetto di traduzione sono considerate come una parte integrante della traduzione finale e determinano i suoi tratti distintivi e le sue particolarità testuali.

In traduttologia, la nozione di *strategie* propone diverse accezioni: essa designa il metodo scelto dal traduttore, i principi di scelta che guidano le sue decisioni, le operazioni usate nelle soluzioni adottate, infine i processi verbali e non verbali, consapevoli o inconsapevoli, cognitivi o esterni, che riguardano la soluzione dei problemi di traduzione e l'abilità del traduttore. In particolare, la competenza delle strategie è da intendere come la possibilità dell'uso dei meccanismi verbali e non verbali per migliorare il raggiungimento della comunicazione, correggendo gli errori e le carenze che s'incontrano nel discorso. Gli studiosi Pozo et Postigo²³⁸ hanno identificato cinque tipologie di procedimenti in funzione dell'espressione dell'informazione, ovvero: 1) l'acquisizione dell'informazione; 2) l'interpretazione dell'informazione; 3) l'analisi dell'informazione e la realizzazione dell'inferenza; 4) la comprensione e l'organizzazione concettuale dell'informazione; 5) la comunicazione dell'informazione.

²³⁸ Pozo et Postigo (1993) sont cités dans Hurtado Albir A., *Traducción y Traductología: Introducción a la Traductología*, Madrid, Cátedra, 2001.

Accanto alla nozione di strategie, sono state formulate anche delle operazioni traduttive che si manifestano unicamente nella riformulazione del testo originale, durante la fase finale della presa decisionale da parte del traduttore. Le operazioni di traduzione, infatti, si radicano nel fatto di proporre un metalinguaggio ed una classificazione, che identificano e caratterizzano il risultato dell'equivalenza di traduzione rispettando il testo di partenza. In particolare, esse permettono di identificare, classificare e designare le equivalenze scelte dal traduttore nelle micro unità testuali. Inoltre, le operazioni traduttive sono il risultato che risponde alle scelte del traduttore e sono convalidate rispetto alla diversità del contesto, alla finalità della traduzione e alle attese da parte dei lettori. Le operazioni di traduzione mostrano un carattere funzionale e dinamico che dipende: dal genere al quale appartiene il testo, dal genere della traduzione, dalla modalità di traduzione, dalla finalità della traduzione e dalle caratteristiche del destinatario, infine dal metodo scelto. Le operazioni di traduzione sono definite come un processo verbale visibile nel risultato della traduzione e sono utilizzate per realizzare l'equivalenza di traduzione attraverso cinque caratteristiche di base: 1) esse riguardano il risultato della traduzione; 2) si mostrano a confronto con il testo di partenza; 3) fanno riferimento alle micro unità testuali; 4) dispongono di un carattere discorsivo e contestuale; 5) sono funzionali.

Gli studiosi Molina²³⁹ et Hurtado Albir²⁴⁰, a partire dalle operazioni di traduzione formulate da Vinay e Darbelnet (il prestito, il calco, la traduzione letterale, la trasposizione, la modulazione, l'equivalenza e l'adattamento), propongono la classificazione di diciotto operazioni di traduzione a partire dalla loro considerazione rispetto alla funzionalità dell'operazione nel suo contesto e al metodo scelto dal traduttore. Le principali operazioni sono: l'adattamento, l'espansione linguistica, l'amplificazione, il calco, la compensazione, la compressione linguistica, la creazione discorsiva, la descrizione, l'elisione, l'equivalenza, la generalizzazione, la modulazione, la particolarizzazione, il prestito, la sostituzione, la traduzione letterale, la trasposizione e la variazione.

L'autore dell'opera *Bonnes nouvelles des étoiles*, Jean-Pierre Luminet, è nato il 3 giugno a Cavaillon, nel sud della Francia. La sua inclinazione allo studio per le mate-

²³⁹ Molina L., Hurtado Albir A., "Translation techniques revisited: A dynamic and functionalist approach", *Meta journal des traducteurs*, vol. 47, n° 4, décembre 2002, pp. 498-512.

²⁴⁰ Hurtado Albir A., *op. cit.*, 2001.

rie scientifiche si combina all'interesse per l'arte, le lettere e la musica. Infatti, dopo una formazione universitaria all'Università di Aix-Marseille ed a Montpellier, un dottorato all'Università Paris-Diderot, Jean-Pierre Luminet diventa astronomo, astrofisico, specialista di fama mondiale in materia di buchi neri e di cosmologia, è conferenziere, ma anche scrittore e poeta francese. Dal 1979, è astrofisico presso l'Osservatorio di Paris-Meudon, ad oggi è direttore delle ricerche all'interno del *Laboratoire Univers et Théories* (LUTH), è direttore delle ricerche al *Centre National de la Recherche Scientifique* (CNRS) e membro del *Laboratoire d'Astrophysique de Marseille* (LAM).

Jean-Pierre Luminet è conosciuto soprattutto dal grande pubblico francofono per le sue numerose opere di divulgazione, che gli hanno valso numero premi, come il celebre Prix Georges Lemaître nel 1999 ed il Prix Paul Doistau-Émile Blutet nel 2006. Nel 2003, Jean-Pierre Luminet è finito sulle prime pagine delle riviste scientifiche del mondo grazie alla formulazione della sua teoria di un universo “chiffonné” e finito, che presenta una forma dodecaedrica. Inoltre, un asteroide della fascia principale del sistema solare *5523 Luminet*, scoperta il 5 agosto del 1991 dall'astronomo Henry E. Holt, porta il suo nome per omaggiare le sue ricerche ed i suoi studi in cosmologia. Dopo anni dedicati alla ricerca e allo studio intenso, Jean-Pierre Luminet ha cominciato a pubblicare delle opere di divulgazione, un genere letterario che egli stesso preferisce chiamare “cultura scientifica”. Nei suoi saggi, tratta anche di temi poco conosciuti che restano oscuri come i buchi neri e la forma dell'Universo, rivolgendosi ad un pubblico abbastanza grande e non specializzato, infatti, il suo tentativo di diffusione della conoscenza ha implicato l'uso di tecniche narrative prese in prestito dalla letteratura generale, al fine di realizzare delle opere appartenenti al genere divulgativo. Inoltre, le sue opere di divulgazione sono caratterizzate da un linguaggio chiaro e dalla precisione con cui sono esposte le informazioni, che permettono di sintetizzare la conoscenza, attualizzare ed esporre le nozioni, con lo scopo di renderle accessibili al più grande numero di lettori. Nel genere della divulgazione scientifica, Jean-Pierre Luminet afferma che la ricerca scientifica può essere estremamente creativa nei campi della fisica fondamentale e dell'astrofisica, ma si rivela necessaria un'estetica per elaborare dei modelli teorici.

L'opera *Bonnes nouvelles des étoiles* scritta nel 2009 in collaborazione con Éliisa Brune²⁴¹, scrittrice e giornalista belga, possiede questo titolo, perché a differenza della Terra, nelle immensità del cosmo non c'è catastrofismo: i corpi celesti seguono le leggi della fisica e della chimica, non ci sono preoccupazioni legate all'inquinamento, alle guerre, alla salute oppure all'economia. L'Universo svela i suoi segreti grazie alle recenti scoperte in campo astronomico, rappresentando così le *Bonnes nouvelles des étoiles*, che nell'opera vengono presentate in tre parti, a partire dal sistema solare fino alle immensità galattiche: la prima parte è costituita dalle « Nouvelles régionales », la seconda parte è intitolata « Nouvelles nationales » e la terza « Nouvelles internationales ».

L'opera *Bonnes nouvelles des étoiles* appartiene al genere della divulgazione scientifica, caratterizzata dalla sua funzione didattica che cerca di istruire il lettore principiante in materia astrofisica, a proposito di pianeti, sistema solare, galassie, buchi neri e wormhole. La tipologia del testo è esplicativa, infatti, il suo scopo è inizialmente quello di spiegare la tematica astrofisica, poi quello di fornire delle nuove informazioni sui fenomeni e sui dettagli scoperti nell'Universo, che arricchiscono le conoscenze del destinatario che appartiene al grande pubblico. La struttura di quest'opera di divulgazione soddisfa le condizioni di chiarezza, coerenza ed omogeneità, inoltre, presenta un'organizzazione logica e lineare: i contenuti sono trattati secondo una progressione d'informazione e di approfondimento che si sviluppa a partire da un quadro generale e conduce i lettori verso i concetti sempre più specifici. Allo stesso tempo, questa struttura è evidente, non solo grazie allo sviluppo dei concetti, ma anche grazie alla divisione dell'opera secondo la disposizione delle sue diverse sezioni: all'inizio in parti principali, poi in capitoli, infine in paragrafi. La tonalità del discorso è neutra e oggettiva, la funzione che prevale nel testo è referenziale, per questo motivo, le considerazioni personali e i commenti dell'autore non sono previsti all'interno dell'opera. I tempi verbali sono commentativi, il presente, il passato prossimo e i futuri dominano la sintassi e i connettori presenti sostengono il chiarimento, l'esemplificazione e la conclusione. La sintassi presente nel testo predilige l'uso della paratassi rispetto all'ipotassi, impiegando maggiormente la coordinata, invece la subordinata è presente, al fine precisare i concetti sviluppati nel discorso. L'autore tratta in modo sistematico, chiaro e discorsivo le nozioni e

²⁴¹ Éliisa Brune, scrittrice, giornalista, autrice scientifica, disegnatrice e pittrice, è nata il 15 luglio 1966 a Bruxelles, ma sfortunatamente è venuta a mancare nel novembre 2018.

le scoperte che provengono dalle ricerche del campo astrofisico e delle missioni spaziali, presentate attraverso degli esempi semplici che cercano di avvicinare il lettore alla materia scientifica, man mano che le conoscenze sono condivise.

Il tema astrofisico trattato da Jean-Pierre Luminet è elevato e specializzato, ma grazie al registro della lingua corrente e alla semplificazione dei contenuti attraverso l'uso di glosse e di esempi concreti, che spiegano i termini tecnici appartenenti alla terminologia specifica di settore, l'autore rende le nozioni più accessibili, vicine e alla portata di tutti i suoi lettori curiosi. Inoltre, per facilitare l'accesso alle informazioni presenti, quando l'autore impiega un termine appartenente alla terminologia propria del settore, inizialmente, essa è spiegata attraverso delle definizioni che chiariscono i termini e i concetti, in un secondo momento, viene assimilata dal lettore attraverso l'uso di un vocabolario tipico della sfera del quotidiano, conosciuto maggiormente dal lettore.

Al linguaggio tecnico e specializzato proprio della scienza, l'autore sceglie il linguaggio di condivisione, che cerca di spiegare le terminologie complesse attraverso il chiarimento del senso, caratterizzato da delle analogie comprensibili dal grande pubblico. In questo modo, la relazione semantica tra i termini scientifici e i segmenti della parafrasi di divulgazione è stabilita, adattando le nozioni scientifiche da trasmettere ai nuovi destinatari.

Il metalinguaggio diventa la lingua che è in grado di avvicinare le terminologie specifiche alle parafrasi tipiche del genere della divulgazione. In primo luogo, attraverso l'uso di una sinonimia referenziale, Jean-Pierre Luminet riesce a creare un rapporto di equivalenza tra i termini scientifici e dei vocaboli che hanno una semantica più vaga; in secondo luogo, l'uso degli indicatori delle glosse esplicita le nozioni e i concetti; in terzo luogo, l'operazione metalinguistica della riformulazione intra-discorsiva permette di raggiungere la comprensione del termine sconosciuto, grazie al legame di similarità instaurato con una parola più comune; infine, il termine scientifico è ripreso nello sviluppo del discorso, per favorire l'assimilazione del nuovo termine.

Le espressioni fisse che Jean-Pierre Luminet impiega nell'opera *Bonnes nouvelles des étoiles* rendono le nozioni e gli esempi più vicini ai lettori, grazie alla loro appartenenza al registro familiare. Esse rappresentano lo stile tipico del genere della divulgazione, che avvicina le nozioni tecniche ai lettori non specialisti, inoltre, esse tra-

smettono il senso globale dei concetti presenti nelle specifiche nozioni scientifiche. Le espressioni fisse rendono appropriato il ritmo degli enunciati al registro medio dell'opera di divulgazione a cui appartengono.

Durante il processo di traduzione delle sezioni dell'opera *Bonnes nouvelles des étoiles* che sono state oggetto di studio, la traduttrice ha incontrato delle vere e proprie sfide non solo a livello lessicale, ma anche a livello sintattico. Soltanto attraverso l'uso di alcune operazioni traduttive, si sono potuti risolvere questi problemi di traduzione. Il processo di traduzione, infatti, presenta numerose sfide riguardanti gli enunciati che non possono essere tradotti da delle strutture equivalenti, per questo motivo, il traduttore impiega delle strategie e delle operazioni affinché possa mantenere la fedeltà al testo originale.

Il compito del traduttore è quello di occuparsi del messaggio che l'autore del testo originale vuole trasmettere e sul senso. Per questa ragione, dev'essere in grado di privilegiare il contenuto del termine da trasmettere rispetto alla sua forma e al suo senso primario. In particolare, i termini che appartengono alla terminologia dell'astrofisica, le espressioni fisse, le diverse sfere semantiche dei termini impiegati dall'autore Jean-Pierre Luminet hanno rappresentato per la traduttrice non solo una sfida, ma anche un'opportunità per impiegare personalmente le operazioni di traduzione definite dagli studiosi Vinay e Darbelnet, Hurtado e Molina.

Gli obiettivi di quest'analisi sono stati, innanzitutto, il considerare qualche esempio nel suo contesto in francese; successivamente, il constatare come applicare i processi tecnici della traduzione definiti e classificati non solo da Vinay e Darbelnet, ma anche da Hurtado e Molina; infine il mostrare il risultato dell'operazione di traduzione in italiano. Inoltre, per risolvere i problemi di traduzione, la traduttrice è ricorsa a diversi mezzi durante le numerose fasi di studio, dal momento che la competenza linguistica non è da considerare come un'entità isolata, al fine di realizzare il processo di traduzione. In particolare, sono stati determinanti lo studio e l'analisi che riguardano gli elementi culturali della lingua di partenza e della lingua di arrivo, la terminologia specifica del settore dell'astrofisica, le espressioni fisse presenti nel testo originale, poi trasposte e adattate in italiano.

In materia di traduzione, possiamo affermare che essa non si compone solo di parole, né di una comprensione del testo originale, ma che produce una trasmissione di senso che è ricreata dal traduttore attraverso l'uso di strategie e di operazioni di traduzione per comunicare le espressioni, i termini e le strutture sintattiche, permettendo al lettore della lingua di arrivo di avere accesso alle nozioni espresse dall'autore nel testo originale.

In particolare, le operazioni impiegate durante il processo di traduzione delle sezioni dell'opera *Bonnes nouvelles des étoiles* sono state: il prestito linguistico, come nell'esempio *trou de ver / wormhole*; il calco, come negli esempi *hyperamas / iperammaso*, *terrocentrique / terrocentrico*, *crêpe stellaire flambée / crêpe stellare infuocata*; la trasposizione, come negli esempi di *déguster en brochettes / gustare come degli spiedini* e *solarien / del Sole*; l'amplificazione, come negli esempi di *endogé / degli ambienti endogei* e *spiraler / seguire un moto a spirale*, l'equivalenza, come negli esempi di *biscornu / arzigogolato*, *fontaine blanche / buco bianco*, *flonflons / motivetti*, *module d'exploration / modulo di atterraggio*, *pied de nez / fare marameo*, *se tenir les côtes de rire / tenersi la pancia dalle risate*, *soupe primitive / brodo primordiale*, *titanesque / titaniano*, *trou noir supergéant / buco nero supermassiccio*; la generalizzazione come nell'esempio di *lueur / lucina*; la particolarizzazione, come negli esempi di *rabougri / rinsecchito*, *réservoir de la vie / serbatoio di vita* e *réservoir de glaces / giacimento di ghiaccio*.

Le operazioni traduttive hanno rappresentato una modalità di soluzione ai problemi di traduzione incontrati nel testo originale, che altrimenti sarebbero rimasti irrisolti. Infatti, la traduttrice ha valutato le difficoltà a livello lessicale, pragmatico, culturale e linguistico durante la ricerca e la traduzione dei termini e delle espressioni fisse, la classificazione delle operazioni di traduzione proposta da Vinay e Darbelnet, e da Hurtado Albir e Molina, che ha rappresentato il punto di partenza dei principi fondamentali e che hanno permesso la trasposizione degli elementi linguistici da una lingua all'altra. Inoltre, le sfide di traduzione più difficili hanno riguardato i neologismi e i termini che non presentavano delle soluzioni dirette in italiano, ma che richiedevano una rielaborazione del termine presente nel testo originale attraverso l'uso del prestito, del calco, della trasposizione, l'amplificazione, l'equivalenza, la generalizzazione e la particolarizzazione. In particolare, per quanto riguarda la traduzione della metafora terminologica

crêpe stellaire flambée, l'operazione del calco morfologico ha permesso di creare un neologismo nella terminologia dell'astrofisica in italiano e grazie alla sua potenza, la metafora è stata in grado di superare le barriere linguistiche.

Queste operazioni traduttive non solo hanno permesso alla traduttrice di mantenere la coerenza e la coesione testuale negli enunciati che trasmettono le nozioni più complesse da esprimere nella lingua di arrivo, ma anche hanno rappresentato la possibilità di dimostrare la capacità traduttiva e traduttologica, durante il processo di traduzione nel genere della divulgazione, inoltre, esse hanno svolto un ruolo principale nella comunicazione e hanno determinato la trasmissione del senso e del contenuto presenti nel testo originale.

Avvicinandosi allo studio del genere divulgativo e alla traduzione dell'opera *Bonnes nouvelles des étoiles*, le prime fasi hanno riguardato le ricerche sul genere testuale al quale appartiene l'opera, che presenta delle anomalie: in primo luogo, a differenza di altri testi di divulgazione, questo testo non presenta caratteristiche ipertestuali; in secondo luogo, l'opera non è accompagnata da immagini e grafici; infine, non vi sono presenti citazioni, note esplicative a fondo pagina. A partire da queste caratteristiche generali tipiche dei testi divulgativi che sono determinati da due stratificazioni, una a carattere "orizzontale" relativa ai diversi gradi di specializzazione possibili dei destinatari professionisti del settore; l'altra a carattere "verticale", che considera i fattori di variabilità socio-pragmatica diafasica all'interno di ogni settore, dunque la complessità delle conoscenze da trasmettere e i diversi livelli di preparazione dei destinatari, è possibile affermare che l'opera di divulgazione *Bonnes nouvelles des étoiles* privilegia la dimensione verticale e la funzione didattica del testo per trasmettere il sapere ai destinatari che appartengono al grande pubblico.

Inoltre, la funzione didattica mostra una tendenza alla semplificazione ed alla trasparenza del lessico e della sintassi testuale, infatti l'opera di divulgazione *Bonnes nouvelles des étoiles* è un testo che tratta temi specifici dell'astrofisica, ma che si distacca dalle caratteristiche più o meno marcate proprie del testo scientifico, al fine pratico di istruire ed informare in modo sempre più specifico i lettori che dimostrano interesse per la materia, ma che non sono degli specialisti del settore.

La terminologia del settore astrofisico rappresenta un interesse di tipo lessicologico, determinato da diversi fattori: in primo luogo, la stratificazione diacronica caratterizzata dalla coesistenza di termini ridefiniti da Galileo Galilei come per esempio *momento*, *forza*, *resistenza*, *attrito*, *pendolo*, *azione*, *reazione*, *insieme*, *funzione* e di termini molto recenti, nati dopo le ultime scoperte come *crêpe stellaire flambée*; in secondo luogo, la ricchezza dei processi di derivazione come per esempio i termini *galassia spirale* e *bracci a spirale*; in terzo luogo, la varietà di tipologia dei termini tecnici a carattere monorematico come *stella* e a carattere polirematico come *buco nero*, gli eponimi come *ponte di Einstein-Rosen*, gli acronimi come *LHC* (Large Hadron Collider) e *CERN* (Consiglio europeo per la ricerca nucleare); infine, il carattere internazionale dei termini tecnici specializzati come i termini *wormhole* (cunicolo spazio-temporale), *cluster* (ammasso stellare), *quasar* (galassia a nucleo attivo) che derivano dall'inglese, ma che sono impiegati in altre lingue attraverso l'operazione traduttiva del prestito linguistico.

Successivamente, la distinzione fondamentale è stata effettuata tra la lingua speciale del campo dell'astrofisica e la lingua comune nella redazione del concordancier, sul piano lessicale per analizzare le corrispondenze linguistiche e sul piano morfosintattico per riscontrare le regolarità e le occorrenze più frequenti. Infatti, prima di iniziare il processo di traduzione, la traduttrice ha il dovere di assicurare la conformità che riguarda la terminologia e la fraseologia rispetto alle condizioni dell'opera attraverso il concordancier, impiegato come strumento di raccolta terminologica e fraseologica. Infatti, la ricerca sistematica è stata focalizzata sull'elaborazione di una sezione terminologica che considera gli aspetti tecnici ed enciclopedici dei termini, e di una sezione fraseologica che considera i cambiamenti delle espressioni, affinché si potesse redigere un inventario terminologico e fraseologico che rappresentasse un punto di riferimento e grazie al quale i problemi di traduzione che all'inizio apparivano come opachi e ambigui, potessero trovare una soluzione.

In particolare, i fattori di specificazione e di discriminazione di un termine o di un'unità fraseologica da considerare durante la redazione del concordancier sono: 1) la categoria grammaticale; 2) la "circoscrizione" della designazione data dalla delimitazione del campo di applicazione; 3) il contesto del discorso; 4) i caratteri significativi dell'elemento designato. Sul piano pratico, attraverso cinque fasi di ricerca, il fattore di-

scriminante o separatore permette di: 1) determinare il quadro di concezione, stabilire l'identificazione del termine designato e dunque specificare il valore della designazione considerata; 2) considerare e fissare il valore della designazione che meglio si applica al caso particolare considerato; 3) selezionare il dizionario pertinente individuando quello che copre lo stesso campo, e per la traduzione delle sezioni dell'opera *Bonnes nouvelles des étoiles*, la scelta si è focalizzata sul dizionario on line *Trésor de la Langue française informatisé* (TLFi) per la ricerca terminologica in francese e su l'*Enciclopedia Treccani* on line per cercare le corrispondenze in italiano; 4) scegliere la corrispondenza più appropriata rispetto ai criteri di circoscrizione della designazione corrispondente, tra quelle proposte da una o più risorse; 5) confermare la validità della concordanza rispetto alle condizioni di designazione. Per quanto riguarda la sezione fraseologica del concordancier dell'opera *Bonnes nouvelles des étoiles*, la traduttrice ha il dovere di assicurarsi una buona padronanza della fraseologia del settore astrofisico e della genere divulgativo del testo, affinché si possano trovare le concordanze tra la lingua di partenza e la lingua di arrivo, ma dove le concordanze non sono possibili, la traduttrice può riformulare le parti poco chiare attraverso l'impiego di strategie e di operazioni di traduzione.

Durante la redazione della sezione fraseologica del concordancier, la traduttrice si è focalizzata all'inizio sulle restrizioni che riguardano la combinazione sintattica considerando i fenomeni particolare di restrizione o i fenomeni di valenza sintattica nella lingua di partenza e poi nella lingua di arrivo; successivamente, sulle collocazione secondo il fattore di affinità di combinazione che sono dei termini che rinviano alle specializzazioni dei campi di applicazione.

Sul piano lessicale, il testo mostra la presenza di elementi lessicali d'uso comune o più generico, come per esempio degli iperonimi al posto di iponimi, o delle locuzioni equivalenti ai termini tecnici, l'uso delle glosse, delle perifrasi, delle parafrasi o delle esemplificazioni che attraverso le analogie o i confronti creano dei legami con i concetti più conosciuti dal grande pubblico. Inoltre, nel testo di partenza, una predominanza di vocaboli sinonimici d'uso comune è evidente rispetto ai tecnicismi, ma laddove la sinonimia non è possibile, i termini specifici del settore astrofisico sono contestualizzati, combinati con altri vocaboli appartenenti alla lingua comune e sono spesso associati a delle glosse esplicative, introdotte dall'uso degli indicatori di glossa.

Il compito più complesso svolto dalla traduttrice ha avuto lo scopo non solo di tradurre il testo dal francese all'italiano, anche quello di trasmettere e di adattare ai lettori di un'altra lingua i contenuti di un'opera scritta in lingua straniera. Inoltre, l'intenzione di svolgere correttamente una traduzione suppone l'assimilazione non solo del discorso in lingua francese, ma anche di quello in italiano, poiché il bagaglio cognitivo crea la struttura del messaggio nelle due lingue e fornisce alla traduttrice gli strumenti adatti all'espressione della traduzione. In particolare, la traduttrice dev'essere in grado di trattare le caratteristiche grammaticali e testuali in vista dell'intenzione comunicativa del testo, poiché nel genere della divulgazione coesistono le nozioni del discorso specializzato e la funzione didattica che trasmette i concetti scientifici e più complessi ad un contesto linguistico di registro medio per i lettori del grande pubblico.

Infatti, per quanto riguarda la traduzione dell'opera del genere di divulgazione, essa è il risultato delle tecniche e delle strategie che trattano questa tipologia testuale che da un lato si presenta specializzata per la sua appartenenza al campo astrofisico, ma dall'altro lato è alla portata di ogni categoria di pubblico. Per questa ragione, la traduzione di un testo divulgativo dev'essere in grado di trovare la via intermedia per trasmettere le nozioni scientifiche anche nella lingua di arrivo, chiarendo la terminologia presente nel testo originale, attraverso l'uso della glossa e di esempi pratici più vicini alle conoscenze del grande pubblico. Inoltre, l'avvicinamento al settore molto specializzato dell'astrofisica è stato svolto in diverse tappe: in primo luogo, uno studio molto approfondito della materia, in particolare per le nozioni presenti nelle sezioni oggetto di traduzione e di analisi; in secondo luogo, una ricerca terminologica in francese e successivamente una ricerca delle concordanze in italiano; infine la redazione completo del tessuto sintattico del testo di arrivo.

Come l'autore che redige i testi di divulgazione, il traduttore può essere uno specialista del settore al quale appartiene il testo, ma se non è un traduttore specializzato della materia, deve dimostrare le competenze di ricerca e le capacità di informarsi in modo efficace riguardo alla tematica del testo. Infatti, la complessità del compito del traduttore non richiede soltanto un'eccellente padronanza dei concetti tecnici e della terminologia scientifica presenti nel testo, ma anche le competenze culturale in senso lato, che permettono di decifrare le espressioni fisse e i termini metaforici lessicalizzati cosicché i loro usi insoliti con scopi più espressivi e creativi danno la possibilità di ap-

propriarsi del contenuto testuale per renderlo accessibile in tutto il suo arricchimento potenziale per i lettori nella lingua di arrivo. Di conseguenza, la scelta di traduzione non si stabilisce tra una traduzione letterale e una traduzione libera, ma tra una traduzione esatta e una traduzione inesatta. Da un lato, la corrispondenza letterale è scartata per soddisfare delle esigenze particolari della lingua di arrivo e la traduzione obliqua dev'essere utilizzata entro dei limiti nettamente definiti, dall'altro lato, la corrispondenza letterale è mantenuta quando non rappresenta un problema per la comprensione nella lingua di arrivo e quando la traduzione obliqua assicura il senso, essa avviene per delle ragioni di struttura o di metalinguistica.

A questo proposito, le strategie e le operazioni di traduzione si sono dimostrate i mezzi adatti che hanno permesso di risolvere le sfide del testo e le problematiche della traduzione che riguardano un termine o un enunciato complesso e le classificazioni proposte da Vinay e Darbelnet, e da Hurtado Albir e Molina formulano le procedure da impiegare in funzione della traduzione che appartengono a due tipologie di traduzione: diretta e obliqua.

In particolare, le operazioni di traduzione impiegate durante il processo di traduzione dell'opera *Bonnes nouvelles des étoiles* sono stati: il prestito, il calco, la trasposizione, l'amplificazione, l'equivalenza, la generalizzazione, la particolarizzazione e grazie a queste operazioni di traduzione, la traduttrice è stata in grado di trasmettere in italiano i concetti enunciati nel testo di partenza francese, che altrimenti non avrebbero trovato soluzione, rimanendo così incompleti. Alcuni esempi risultanti dalle operazioni di traduzione sono presi in considerazione nelle riflessioni metatraduttologiche, nelle quali vengono sottolineate le fasi del ragionamento della traduttrice, l'applicazione e il risultato delle procedure durante la traduzione.

Infine, l'opera *Bonnes nouvelles des étoiles* non risulta essere soltanto un manuale d'informazioni che trasmette le ultime scoperte dell'astrofisica, ma costituisce un esempio del tessuto narrativo in cui l'autore Jean-Pierre Luminet dimostra, da un lato, la sua abilità di alternare momenti di narrazione a spiegazioni scientifiche delle teorie, dall'altro lato, la divulgazione erudita e divertente, caratterizzata da una tendenza creativa particolare conferita dall'uso metaforico delle espressioni fisse che appartengono al registro familiare.

Bibliographie

- Assal A., « La métaphorisation terminologique », *Terminologie et traduction*, 2, 1994, pp. 235-242.
- Authier J., « La mise en scène de la communication dans des discours de vulgarisation scientifique », *Langue française*, n°53, 1982, pp. 34-47.
- Authier-Revuz J., « L'auto-représentation du dire dans certaines formes de « couplage » », *DRLAV* 36-37, Université Paris VIII, 1987, pp. 55-103.
- Authier-Revuz J., « Deux mots pour une chose : trajets de non-coïncidence », *Répétition, altération, reformulation*, Besançon, Presses Universitaires Franc-Comtoises, 2000, pp. 37-61.
- Baker M. et Saldanha G., *Routledge Encyclopedia of Translation Studies*, deuxième édition, London, New York, Routledge, Taylor & Francis Group, 2009.
- Baker M., Malmkjær K., *Routledge Encyclopedia of Translation Studies*, première édition, London, Routledge, 1998.
- Balzac (Guez de), *Le prince*, Paris, 1631, p. 193.
- Balzac (Honoré de), *Les Chouans ou la Bretagne en 1799*, Furne édition de la *Comédie Humaine*, 1845, I, pp. 955-995.
- Berman A., Jacques Amyot, traducteur français. Essai sur les origines de la traduction en France, Éditions Berlin, 2012, p. 48.
- Berruto G., *La sociolinguistica*, Bologna, Zanichelli, 1974.
- Boule M., *Conférences de géologie*, Paris, Masson, 1907, p.115.
- Boyd R., “Metaphor and theory change: What is “metaphor” a metaphor for?”, *Metaphor and Thought*, in Ortony A. éd., Cambridge, Cambridge University Press, 1979, pp. 481-532.
- Cabré M. T., *La terminologie, Théorie, méthode et applications*, Paris, A. Colin, 1998.
- Camefort H. et Gama A., *Sciences naturelles*, édition Hachette, 1960, p. 248, p. 267.
- Canale M., « From communicative competence to language pedagogy », *Language and communication*, éd. Richards J. et Schmidt R., London, Longman, 1983, pp. 2-27, cité dans *Routledge Encyclopedia of Translation Studies*, Baker M., Malmkjær K., première édition, London, Routledge, 1998, Mason I., section « Communicative/functional approaches », p. 31.
- Casagrande J. B., « The ends of translation », *International Journal of American Linguistics*, 1954, vol. 20, n°4, pp.335-340, cité dans *Routledge Encyclopedia of Translation Studies*, deuxième édition éditée par Baker M. et Saldanha G., 2009, Olohan M., section « Scientific and technical translation », p. 246.
- Cassou J., *Panorama des arts plastiques contemporains*, Paris, Gallimard, 1960.
- Castelli M., *Generi testuali e comunicazione scientifica, Un'indagine sulla scrittura formativa e divulgativa*, Perugia, Guerra Edizioni, 2012.

- Céline L.-F., *Voyage au bout de la nuit*, Paris, Denöel et Steele, 1932, p. 336.
- Charaudeau P., Maingueneau D., *Dictionnaire d'analyse du discours*, Paris, éd. du Seuil, 2002, p. 417.
- Charolles M. et Coltier D., « Le contrôle de la compréhension dans une activité rédactionnelle : éléments pour l'analyse des reformulations paraphrastiques », *Pratiques* 49, Les activités rédactionnelles, Metz, 1986, p. 51-66.
- Chesterman A., *Memes of Translation : the spread of ideas in translation theory*, Amsterdam, Benjamin J., 1997, pp. 92-112.
- Chesterman A., « Problems with strategies », dans *New trends in TS. In honour of Kinga Klaudy*, Károly A. et Ágota F. (éd.), Budapest, Akadémiai Kiadó, 2005, pp. 17-28, cité dans *Routledge Encyclopedia of Translation Studies*, deuxième éd., Kearns J., section « Strategies ».
- Clavel B., *Le Cœur des vivants*, éditions Robert Laffont, 1999, p. 207.
- Collectif, *L'Univers économique et social*, ouvrage collectif dirigé par F. Perroux, Paris, Larousse, 1960, p.3804.
- Cortelazzo M. A., *Lingue speciali. La dimensione verticale*, Padova, Unipress, 1994.
- Cortès C., « La métaphore. Du discours général aux discours spécialisés », *Cahier du C.I.E.L.*, Cortès C. éd., Université Paris 7 Denis Diderot, 2000-2003.
- Cortese G., «Comunicazione scientifica e problemi di apprendimento: dalla L1 alla L2», in *Atti del convegno Lingue straniere per scopi speciali* (Roma, 20-21 ottobre 1986), I. Gutia (a cura di), Istituto di Lingue Straniere, Facoltà di Scienze Politiche, Università degli studi di Roma "La Sapienza", Roma, 1987, pp.122-123.
- Cortese G., «Intervento del traduttore, tra la realtà e le virtualità del testo», *Tradurre i linguaggi settoriali*, Turin, Cortina, 1996, pp. 237-263, cité dans Scarpa F., *La traduzione specializzata: lingue speciali e mediazione linguistica*, Milano, Hoepli, 2001, p.196.
- Darbelnet J., *Actes du Congrès*, Congrès de Varsovie, « La mission du traducteur aujourd'hui et demain, 1981, p. 264, cité dans l'article de Cammaert G., « Traducteur-spécialiste ou spécialiste-traducteur ? », *Équivalences*, 23e année n°2, 1993.
- Daudet L., *Les Universaux*, Paris, Grasset, 1935, p. 208.
- Défert P., *Pour une politique du tourisme en France*, Éditions Ouvrières, 1960.
- Delavigne V., « Quand le terme entre en vulgarisation », *Coférence TIA-2003, 31 mars et 1^{er} avril*, Strasbourg, 2003.
- Diki Kidiri M., « Une approche culturelle de la terminologie », *Terminologies nouvelles*, n° 21, 2000, pp. 27-31.
- Dubois J. et al., *Dictionnaire de linguistique*, Paris, Larousse, 1973.
- Duhamel G., *Chronique des Pasquier*, édité par *Mercur de France*, 1934, 3, p. 15.
- Duhamel G., *Chronique des Pasquier, Le désert de Bièvres*, publié dans la revue *Mercur de France*, 1937, p.218.

- Duhem, P. M. M. *La théorie physique, son objet, sa structure*, Paris, Chevalier et Rivière, 1906.
- Durieux C., *Fondement didactique de la traduction technique*, Collection “Traductologie”, n° 3, Didier érudition, 1988.
- Ebel H.F., Blifert C., Russey W., *The art of scientific writing*, Weinheim, Wiley-VCH Verlag, 2004, in Castelli M., 2012, *op.cit.*, p. 9.
- Erckmann-Chatrion, *Histoire d'un paysan*, t. 2, Paris, Bibliothèque populaire d'éducation et de récréation, J. Hetzel et C., 18, Rue Jacob, 1870, p. 299.
- Fanon F., *Les damnés de la terre*, Éditions Maspero, 1961, p. 242.
- Faraday M., *Annales de chimie et de physique*, t. 30, Crochard, 1825, p. 272.
- Faulstisch E., « Principes formels et fonctionnels de la variation en terminologie », *Terminology*, vol 5, 1998/1999, p. 95.
- Febvre L., *Combats pour l'histoire*, Colin, 1952, p. 433.
- Finch C. A., *An Approach to Technical Translation: An Introductory Guide for Scientific Readers*, Oxford, Pergamon Press, 1969, cité dans *Routledge Encyclopedia of Translation Studies*, deuxième éd., Olohan M., section « Scientific and technical translation », pp. 247-248.
- Flaubert G., *Bouvard et Pécuchet*, L. Conard, 1910, chapitre II.
- Foigny G., *La terre australe connue*, J. Verneuil, Genève, 1676, p. 72.
- Folena G., *Volgarizzare e tradurre*, Torino, PBE, 1991 et 1994.
- Foucault M., *Dits et écrits I*, 1954-1975, Paris, Gallimard, 1994, p. 96.
- Fradin B., *Nouvelles approches en morphologie*, Paris, Presses universitaires de France, 2003, chapitre 5 Morphologie et lexicque, pp.181-234.
- France A., *Vie de Jeanne d'Arc*, Paris, Calmann-Lévy, 1908, p. 524.
- Gardin B. *et al.*, « À propos du ‘sentiment néologique’ », *Langages*, 36, Larousse, 1974, pp. 42-45.
- Gaudin F., *Socioterminologie. Une approche sociolinguistique de la terminologie*, Bruxelles, De Boeck/Duculot, 2003.
- Genet J., *Notre-Dame-des-fleurs*, Paris, Gallimard, 1976, p.215.
- Gentilhomme Y., « Les faces cachées du discours scientifique », *Langue française*, 64, Larousse, 1984, pp. 29-37.
- Goffin R., « La science terminologique », *Terminologie et traduction*, n° 2, 1985, pp.9-29.
- Guilbert H., *À l'ami qui ne m'a pas sauvé la vie*, Paris, Gallimard, 1990, p. 171.
- Gurvitch G., *Traité de sociologie*, t. 2, PUF, Paris, 1960.
- Halimi G., *La Cause des femmes*, éd. Grasset, 1975, p. 6.

- Hatim B. et Mason I., *The Translator as Communicator*, Routledge, London/New York, 1997, p. 205, cité dans Scarpa F., *La traduzione specializzata: lingue speciali e mediazione linguistica*, Milano, Hoepli, 2001, p.189.
- Hermans A., « La définition des termes scientifiques », *Meta, Journal des traducteurs*, vol. 34 (3), Montréal, Presses de l'Université de Montréal, 1989, pp. 529-532.
- Hicks T.G. et Valorie SR. C.M., *Handbook of Effective Technical Communications*, McGraw-Hill, New York, 1989, p. 1.7, cité dans Scarpa F., *La traduzione specializzata: lingue speciali e mediazione linguistica*, Milano, Hoepli, 2001, p.189.
- Holz-Mänttari, section « Functionalist approaches », dans *Routledge Encyclopedia of Translation Studies*, deuxième éd., Schäffn C.
- Hönig et Kussmaul, *Strategie der Übersetzung*, Tübingen, Guter Narr,1982.
- Humbley J., « Retour aux origines de la terminologie : l'acte de dénomination », *Langue française*, n° 174/2, 2012, pp. 111-125.
- Hurtado Albir A., *Traducción y Traductología: Introducción a la Traductología*, Madrid, Cátedra, 2001.
- Jacobi D., « Lexique et reformulation intradiscursive dans les documents de vulgarisation scientifique », CNRS, Inalf, *Vocabulaires technoscientifiques et dictionnaire de langue*, 1993.
- Jacobi D., *La communication scientifique : discours, figures, modèles*, Grenoble, Presses universitaires de Grenoble, 1999, pp. 132-133.
- Jacobi D., Schiele B., *Vulgariser la science : le procès de l'ignorance*, éd. Champs Val-lon, 1988.
- Jakobson R., *Essais de linguistique générale*, Paris, Éditions de Minuit, 1963.
- Jankélévitch V., *Le Je-ne-sais-quoi et le presque-rien*, Paris, Presses universitaires de France, 1957, p. 44.
- Jouy É., *L'Hermite de la Chaussée- d'Antin*, Paris, Pillet et Michaud ,1813, p. 96, p. 147.
- Jumpelt R. W., *Die Übersetzung naturwissenschaftlicher und technischer Literatur*, Berlin, Langenscheidt, 1961, p. 171, in *Routledge Encyclopedia of Translation Studies*, second ed., Olohan M., section "Scientific and technical translation", pp. 247-248.
- Kocourek R., *La langue française de la technique et de la science. Vers une linguistique de la langue savante*, Wiesbaden Oscar Brandstetter, 1991, p.156.
- Kocourek R., « Ouverture définitionnelle et métaphorique », *ALFA*, vol. V, 1992, p. 49.
- Kuhn Th. S., "Metaphor in science", *Metaphor and Thought*, in Ortony A. éd., Cambridge, Cambridge University Press, 1979, pp. 409-419.
- Lakoff G., Johnson M., *Les métaphores dans la vie quotidienne*, Paris, Minuit, 1985.
- Lakoff G., *Women, Fire and Dangerous Things: What Categories Reveal About the Mind*, The Chicago/London, University of Chicago Press,1987, p. 322.

- Laugier R. I. A., « Rendons à Marianne ... ou les emprunts de retour », *Interculturel*, 2011, Vol. 15, pp. 35-47.
- Lavoisier A. L., *Traité élémentaire de chimie*, Paris, Cuchet, 1789, p. 42. Exemple fabriqué à partir de l'original : [...] cloche d'air pur, autrement dit de la partie [...].
- Lebaud D., Ploog K., « Paraphrases, reformulations et gloses : points de vue linguistiques », Hal archives ouvertes, 2013.
- Lörscher W., Translation performance, translation process and translation strategies, Tübingen, Guter Narr, 1991, p.76, cité dans Routledge Encyclopedia of Translation Studies, deuxième éd., Kearns J., section « Strategies ».
- Loti P., *Suprêmes vision d'Orient : fragments de journal intime*, Paris, Calmann-Lévy, 1921, XII, p. 1392.
- Luminet J.-P., Brune É., *Bonnes nouvelles des étoiles*, Paris, Édition de poche Odile Jacob, 2011.
- Mac Orlan P., *Sous la lumière froide*, « La Pension Mary Stuart », Paris, Gallimard, 1961, 4, p. 43.
- Mauriac F., *Genitrix*, Éditions Grasset, 1923, p. 381.
- Mela A., Roche M., « Des gloses de mot aux types de textes : un bilan différencié », LIRMM, Université Montpellier III et Université Montpellier II.
- Molina L., Hurtado Albir A., “Translation techniques revisited: A dynamic and functionalist approach”, *Meta journal des traducteurs*, vol. 47, n° 4, décembre 2002, pp. 498-512.
- Molino J., « Métaphores, modèles et analogies dans les sciences », *Langages*, Paris, Éditions Larousse, n° 54, 1979, p. 87.
- Montesquieu, *Correspondance*, T 1, François Gebelin, Bordeaux, Imprimeries Gounouilhou, 1914.
- Mortureux M.-F., « Paraphrase et métalangage dans le dialogue de vulgarisation », *Langue française*, n° 53, Paris, Larousse, 1982, pp. 48-61.
- Mortureux M.-F., « Les vocabulaires scientifiques et techniques », *Les Carnets du Cediscor*, n°3, 2009.
- Mortureux M.-F., « Paradigmes désignationnels », *Semen*, 8, 1993.
- Mounin G., *Traductions et traducteurs*, traduit en italien par Morganti S., *Teoria e storia della traduzione*, Torino, Einaudi, 1965, p. 65.
- Newmark P., « Paragraphs on Translation - 34 », *The Linguist*, XXXIII, 6, pp. 214-218.
- Newmark P., *A Textbook of Translation*, London, Prentice Hall, 1988, p. 21.
- Nida E. A., « Principles of translation exemplified by Bible translating » dans *On translation*, Cambridge, Mass., Harvard University Press, 1959, pp. 11-31, cité dans Mounin G., *Les problèmes théoriques de la traduction*, Paris, Gallimard, 1963, p. 278.
- Niklas-Salminen A., « La définition dans le cadre de la glose spontanée », Autour de la définition, *Publiforum*, n°11, 2010.

- Oliveira I., *Nature et fonctions de la métaphore en science. L'exemple de la cardiologie*, Paris, L'Harmattan, 2009.
- Oliveira I., Ploux S., « Pour un traitement automatique de la métaphore », *La métaphore en langues de spécialité*, Grenoble, Presses universitaires de Grenoble, 2009, pp. 185-197.
- Oliveira I., « La métaphore terminologique sous un angle cognitif », *Meta, Journal des traducteurs*, vol. 50 (4), Montréal, Presses de l'Université de Montréal, 2005, pp. 83-104.
- Ponson du Terrail P. A., *Rocamboles, les drames de Paris*, La Patrie, 1859, t. 2, p. 399.
- Pradal J., *La vulgarisation des sciences par l'écrit*, Strasbourg, Conseil de l'Europe, 1968, p. 16.
- Prandi M., Rossi M., « Les métaphores dans la création de terminologie : quelques perspectives ouvertes », dans *Terminologie : textes, discours et accès aux savoirs spécialisés*, Brest, Éd. du GLAT, Télécom Bretagne, 2012, pp.7-18.
- Proust, *Du côté de chez Swann*, éd. B. Grasset, 1913, p. 243.
- Queneau R., *Le Vol d'Icare*, Paris, Gallimard, 1968, LII, p. 224.
- Reber H., *Traité d'harmonie*, Paris, Heugel, 1949, p. 117.
- Reiss K., Vermeer H. J., *Towards a General Theory of Translational Action: Skopos Theory Explained*, Routledge, 2014, cité dans *Routledge Encyclopedia of Translation Studies*, première ed., 1998, Schäffn C., section « Skopos theory ».
- Rolin J., *L'Organisation*, Paris, Gallimard, 1996, p. 18.
- Sand G., *Correspondance*, Paris, Calmann-Lévy, 1836, p. 575.
- Saussure F., *Cours de linguistique générale*, Paris, Payot, 1916, p. 159.
- Scarpa F., *La traduzione specializzata: lingue speciali e mediazione linguistica*, Milano, Hoepli, 2001.
- Schuhl J.-J., *Ingrid Caven*, Gallimard, 2000, p. 14.
- Seleskovitch D., *Actes du Congrès, XII Congrès de la F.I.T. à Belgrade en août 1990*, p. 19, cité dans l'article de Cammaert G., « Traducteur-spécialiste ou spécialiste-traducteur ? », *Équivalences*, 23e année n°2, 1993, pp. 49-54.
- Serres M., *Le Tiers-Instruit*, Paris, Gallimard, 1991, p. 214.
- Simon C., *Le Palace*, Éditions de Minuit, 1962.
- Simon C., *L'Acacia*, Minuit, 1989.
- Stendhal, *De l'Amour*, Paris, Librairie universelle de P. Mongie l'aîné, 1822, p. 9.
- Stendhal, *Le Rouge et le noir*, Paris, Levasseur, 1830, chapitre 17.
- Steuckardt A., Niklas-Salminen A., « Le mot et sa glose », *Langues et langage* n°9, Aix-en-Provence, Publications de l'Université de Provence, 2003.
- Steuckardt A., « Du discours au lexique : la glose », Séminaire ATILF, Nancy, Hal archives ouvertes, 2006.

- Steuckardt A., Niklas-Salminen A., « Les marqueurs de glose », *Langues et langage* n°12, Aix-en-Provence, Publications de l'Université de Provence, 2005.
- T'Serstevens A., *L'Itinéraire espagnol*, Arthaud, 1963, p. 127.
- Taber C. R., Nida E. A., *La traduction : théorie et méthode*, London, Alliance biblique universelle, 1971, p. 11, in Taber C. R., « Traduire le sens, traduire le style », *Langages*, n°28, 1972, pp. 55-63.
- Tamba I., « « Ou » dans les tours du type : « un bienfaiteur public ou évergète » », *Langue française* n°73, 1987.
- Taylor Torsello C., « Grammatica e traduzione », *Tradurre i linguaggi settoriali*, Cortese G. (a cura di), Cortina, Torino, pp. 87-119, cité dans Scarpa F., *La traduzione specializzata: lingue speciali e mediazione linguistica*, Milano, Hoepli, 2001, p.189.
- Temmerman R., « Les métaphores dans les sciences de la vie et le situé socioculturel », *Cahiers du RIFAL*, 26, 2007, pp. 72-81.
- Temmerman R., *Toward new ways of terminology description. The sociocognitive approach*, Amsterdam/Philadelphia, John Benjamin, 2000.
- Thiry P., Didier J.-J., Moreau P., Seron M., *Vocabulaire français*, Bruxelles, De Boeck/Duculot, 2005.
- Tournier M., *Vendredi ou les Limbes du Pacifique*, Paris, Gallimard, 1967, p. 51.
- Tournier M., *Le Roi des Aulnes*, Paris, Gallimard, 1970.
- Urfé H., *L'Astrée*, Paris, 1610, t. 2, livre 6, p. 270.
- Vanoye F., *Expression Communication*, Paris, Armand Colin, 1990, p. 53.
- Venuti L., « Strategies of translation », *Routledge Encyclopedia of Translation Studies*, première éd., Venuti L., section « Strategies of translation ».
- Vermeer H. J., 1989, p. 187, présente dans *Routledge Encyclopedia of Translation Studies*, deuxième éd., Schäffn C., section « Functionalist approaches ».
- Vinay J.-P., Darbelnet J., *Stylistique comparée du français et de l'anglais*, Paris, Didier, Londres, Harrap, Montréal, Beauchemin, 1958.

Sitographie

<https://blogs.futura-sciences.com/luminet/>

<https://bubbl.us/>

<https://www.cnrtl.fr/definition/>

www.elisabrune.com.

<https://hubblesite.org/>

https://www.lexpress.fr/culture/livre/entretien-avec-jean-pierre-luminet_810358.html

<https://www.nasa.gov/>

<https://www.obspm.fr/>

<http://www.treccani.it/enciclopedia/>

<https://web.archive.org/web/20160602073431/http://www.asi-proc.it/titan-it>

https://www.youtube.com/watch?v=2E5K_88a-zo

Remerciements

En premier lieu, je voudrais remercier mon professeur Madame Henrot pour l'intérêt et la professionnalité qu'elle a démontrés pendant la recherche, l'étude et la rédaction de mon mémoire. Mon professeur m'a initiée à la recherche terminologique dans le domaine de l'astrophysique, à l'analyse linguistique, à la traduction spécialisée du français vers l'italien, aux stratégies et aux opérations traductionnelles, à la réflexion métatraductologique. En deuxième lieu, j'exprime ma gratitude à ma mère Lauretta pour son grand soutien et pour sa forte personnalité qui ont été déterminants pour mes études. Je remercie ma sœur Tiziana, Tiberio, Gabriele et Adele pour leur appui inconditionnel et pour leur présence constante dans ma vie. Je me souviens toujours avec estime et affection de mon père Gianfranco qui m'a transmis son amour pour l'étude, le savoir et la connaissance scientifique. Enfin, je remercie tous mes parents et mes amis de m'être restés proches pendant ma formation et mes études universitaires.