

**DÉPARTEMENT DES LETTRES ET COMMUNICATIONS**

**Faculté des lettres et sciences humaines**

**Université de Sherbrooke**

**LA REFORMULATION DANS LES TEXTES SCIENTIFIQUES DE SEMI-VULGARISATION, DE VULGARISATION ET DE TYPE PÉDAGOGIQUE**

**par**

**BRIGITTE BLANCHARD**

**I-1490**

**Bachelière ès arts (études françaises)**

**de l'Université de Sherbrooke**

**MÉMOIRE PRÉSENTÉ**

**pour obtenir**

**LA MAÎTRISE ÈS ARTS (ÉTUDES FRANÇAISES)**

**Sherbrooke**

**JUIN 1997**



**National Library  
of Canada**

**Acquisitions and  
Bibliographic Services**

**395 Wellington Street  
Ottawa ON K1A 0N4  
Canada**

**Bibliothèque nationale  
du Canada**

**Acquisitions et  
services bibliographiques**

**395, rue Wellington  
Ottawa ON K1A 0N4  
Canada**

*Your file Votre référence*

*Our file Notre référence*

**The author has granted a non-exclusive licence allowing the National Library of Canada to reproduce, loan, distribute or sell copies of this thesis in microform, paper or electronic formats.**

**The author retains ownership of the copyright in this thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.**

**L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque nationale du Canada de reproduire, prêter, distribuer ou vendre des copies de cette thèse sous la forme de microfiche/film, de reproduction sur papier ou sur format électronique.**

**L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur qui protège cette thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.**

0-612-35724-4

## RÉSUMÉ

Selon plusieurs auteurs, la **reformulation**, sorte de « traduction » des termes techniques en des termes plus connus, plus accessibles aux lecteurs et aux lectrices, est l'une des tactiques de base nécessaire à la **vulgarisation de la science**.

Nous avons relevé 16 moyens de reformuler un terme technique : **Double dénomination, Coréférence, Dénomination, Équivalence, Définition complète, Définition partielle, Caractérisation, Analyse, Fonction, Reformulation énumérative par liste exhaustive, Reformulation énumérative par exemplification, Analogie, Métaphore, Comparaison, Métonymie et Série superordonnée**.

Notre étude porte sur la **présence et la fréquence d'utilisation des procédés de reformulation** dans trois catégories de discours scientifiques québécois : **semi-vulgarisation** (revue *Interface*), **vulgarisation** (*Québec Science*) ainsi que **pédagogique** (manuel scolaire de niveau collégial *Biologie générale 301*). Nous avons notamment décrit les **procédés de reformulation utilisés par les vulgarisatrices et vulgarisateurs québécois** et établi une **typologie des procédés de reformulation, relateurs et moyens linguistiques** recensés dans notre corpus.

## **REMERCIEMENTS**

Nous tenons à remercier très sincèrement Madame Hélène Cajolet-Laganière, qui nous a dirigée tout au long de notre mémoire, de même que Messieurs André Marquis et Christian-Marie Pons, qui ont accepté d'évaluer notre mémoire en tant que membres du jury.

Notre reconnaissance va également à Monsieur Bruno Arnold, qui nous a aidée dans la préparation et la présentation des tableaux, des figures ainsi que de la grille d'analyse.

Nous exprimons enfin notre gratitude à la *Fondation Reader's Digest du Canada* pour l'octroi d'une bourse d'études, laquelle nous a permis de terminer notre mémoire.

# SOMMAIRE

	Pages
INTRODUCTION .....	1
<b>CHAPITRE 1 : ÉLÉMENTS DE MÉTHODOLOGIE.....</b>	<b>9</b>
1.1 Cadre théorique .....	9
1.1.1 La double dénomination .....	11
1.1.2 La coréférence .....	11
1.1.3 La définition .....	12
1.1.4 La dénomination .....	13
1.1.5 L'équivalence .....	13
1.1.6 La caractérisation .....	14
1.1.7 L'analyse .....	14
1.1.8 La fonction.....	14
1.1.9 Les reformulations énumératives.....	15
1.1.10 Les images.....	16
1.1.11 Les séries superordonnées .....	18
1.1.12 Étude comparative des revues <i>Science et Vie</i> et <i>La Recherche</i> .....	20
1.2 Procédés de reformulation types.....	22
1.3 Élaboration du corpus d'analyse .....	24
1.3.1 Présentation du corpus d'analyse.....	25
1.3.1.1 <i>Interface</i> .....	25
1.3.1.2 <i>Québec Science</i> .....	29
1.3.1.3 Manuel de <i>Biologie générale 301</i> .....	33
1.3.2 Méthode d'analyse .....	36
<b>CHAPITRE 2 : FRÉQUENCE ET VARIÉTÉ DES PROCÉDÉS DE REFORMULATION DANS LES TROIS TYPES DE DISCOURS SPÉCIALISÉS .....</b>	<b>43</b>
2.1 Fréquence et variété des procédés de reformulation dans le discours scientifique semi-vulgarisé ( <i>Interface</i> ) .....	44
2.2 Fréquence et variété des procédés de reformulation dans le discours scientifique vulgarisé ( <i>Québec Science</i> ).....	52
2.3 Fréquence et variété des procédés de reformulation dans le discours scientifique pédagogique ( <i>Biologie générale 301</i> ) .....	60
Conclusion .....	68

<b>CHAPITRE 3 : LES MOYENS LINGUISTIQUES ET LES RELATEURS PROPRES À CHAQUE PROCÉDÉ DE REFORMULATION .....</b>	<b>70</b>
3.1 Double dénomination .....	71
3.1.1 Définition du procédé.....	71
3.1.2 Moyens linguistiques utilisés .....	72
3.1.3 Relateurs .....	73
En résumé .....	73
3.2 Coréférence .....	74
3.2.1 Définition du procédé.....	74
3.2.2 Moyens linguistiques utilisés .....	75
3.2.3 Relateurs .....	77
En résumé .....	77
3.3 Définition complète .....	78
3.3.1 Définition du procédé.....	78
3.3.2 Moyens linguistiques utilisés .....	79
3.3.3 Relateurs .....	82
En résumé .....	83
3.4 Définition partielle .....	84
3.4.1 Définition du procédé.....	85
3.4.2 Moyens linguistiques utilisés .....	85
3.4.3 Relateurs .....	89
En résumé .....	93
3.5 Dénomination.....	95
3.5.1 Définition du procédé.....	95
3.5.2 Moyens linguistiques utilisés .....	95
3.5.3 Relateurs .....	97
En résumé .....	97
3.6 Équivalence .....	98
3.6.1 Définition du procédé.....	98
3.6.2 Moyens linguistiques utilisés .....	99
3.6.3 Relateurs .....	103
En résumé .....	104
3.7 Caractérisation.....	105
3.7.1 Définition du procédé.....	105
3.7.2 Moyens linguistiques utilisés .....	106
3.7.3 Relateurs .....	112
En résumé .....	117
3.8 Analyse .....	119
3.8.1 Définition du procédé.....	119
3.8.2 Moyens linguistiques utilisés .....	119
3.8.3 Relateurs .....	121
En résumé .....	122
3.9 Fonction.....	123
3.9.1 Définition du procédé.....	123
3.9.2 Moyens linguistiques utilisés .....	123
3.9.3 Relateurs .....	125
En résumé .....	126
3.10 Reformulation énumérative par liste exhaustive.....	128
3.10.1 Définition du procédé.....	128
3.10.2 Moyens linguistiques utilisés.....	128
3.10.3 Relateurs .....	129

En résumé .....	129
3.11 Reformulation énumérative par exemplification.....	130
3.11.1 Définition du procédé.....	130
3.11.2 Moyens linguistiques utilisés.....	130
3.11.3 Relateurs.....	133
En résumé .....	135
3.12 Analogie.....	136
3.12.1 Définition du procédé.....	136
3.12.2 Moyens linguistiques utilisés.....	136
3.12.3 Relateurs.....	137
En résumé .....	137
3.13 Métaphore.....	138
3.13.1 Définition du procédé.....	138
3.14 Comparaison.....	138
3.14.1 Définition du procédé.....	139
3.14.2 Moyens linguistiques utilisés.....	139
3.14.3 Relateurs.....	140
En résumé .....	141
3.15 Métonymie .....	142
3.15.1 Définition du procédé.....	143
3.16 Série superordonnée.....	143
3.16.1 Définition du procédé.....	143
3.16.2 Remarques.....	143
3.16.3 <i>Interface</i> .....	145
3.16.4 <i>Québec Science</i> .....	146
3.16.5 <i>Biologie générale</i> .....	147
En résumé .....	148
Conclusion.....	150
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>163</b>
<b>ANNEXE A Textes dactylographiés constituant notre corpus.....</b>	<b>169</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>287</b>

## Liste des tableaux et figures

	Pages
<b>Exemple de fiche écran</b> .....	41
<b>Tableau 2.1</b> Nombre de mots ou sens techniques reformulés dans <i>Interface</i> .....	44
<b>Figure 2.1</b> Histogramme de fréquence des procédés de reformulation utilisés pour le texte 4 et ses encadrés .....	46
<b>Figure 2.2</b> Histogramme de fréquence des procédés de reformulation utilisés pour le texte 5 et ses encadrés .....	47
<b>Figure 2.3</b> Histogramme de fréquence des procédés de reformulation utilisés pour le texte 6 et ses encadrés .....	48
<b>Figure 2.4</b> Histogramme synthèse des procédés de reformulation utilisés dans <i>Interface</i> .....	51
<b>Tableau 2.2</b> Nombre de mots ou sens techniques reformulés dans <i>Québec Science</i> .....	52
<b>Figure 2.5</b> Histogramme de fréquence des procédés de reformulation utilisés pour le texte 1 et ses encadrés .....	54
<b>Figure 2.6</b> Histogramme de fréquence des procédés de reformulation utilisés pour le texte 2 et ses encadrés .....	55
<b>Figure 2.7</b> Histogramme de fréquence des procédés de reformulation utilisés pour le texte 3 et ses encadrés .....	56
<b>Figure 2.8</b> Histogramme synthèse des procédés de reformulation utilisés dans <i>Québec Science</i> .....	59
<b>Tableau 2.3</b> Nombre de mots ou sens techniques reformulés dans <i>Biologie générale 301</i> .....	60
<b>Figure 2.9</b> Histogramme de fréquence des procédés de reformulation utilisés pour le texte 7 .....	62
<b>Figure 2.10</b> Histogramme de fréquence des procédés de reformulation utilisés pour le texte 8 .....	63
<b>Figure 2.11</b> Histogramme de fréquence des procédés de reformulation utilisés pour le texte 9 et ses encadrés .....	64
<b>Figure 2.12</b> Histogramme synthèse des procédés de reformulation utilisés dans <i>Biologie générale 301</i> .....	67
<b>Figure 2.13</b> Histogramme synthèse des procédés de reformulation utilisés dans les trois types de discours .....	69
<b>Tableau 3.1</b> Moyens linguistiques les plus populaires pour chaque procédé .....	152
<b>Typologie des procédés de reformulation et des principaux relateurs</b> .....	153

## INTRODUCTION

La vulgarisation scientifique est un type de communication particulier. Il ne suffit pas de connaître la science ni de savoir rédiger pour vulgariser, du moins pour bien communiquer la science. Selon Pierre Laszlo (1993), le succès de la communication et de la vulgarisation scientifique repose entre les mains du rédacteur ou de la rédactrice. Pour Anne-Marie Loffler-Laurian, « [l]a vulgarisation scientifique est une reformulation par un chercheur ou un enseignant scientifique lui-même, ou par un journaliste dit scientifique (l'adjectif n'a pas la même incidence dans les deux cas). ». (1984 : 124)

L'auteure précise que la reformulation est nécessaire pour permettre au grand public d'accéder à l'information scientifique. Et afin que cette catégorie de lecteurs et de lectrices comprenne facilement les informations diffusées, il revient aux rédacteurs et aux rédactrices de « [...] lever certaines barrières qui sont d'ordre "technique" (intellectuel, barrière des connaissances), ou d'ordre linguistique (langue originale inconnue du lecteur potentiel). La reformulation est une méthode utile pour lever ces barrières : elle adapte le texte au langage ou à la langue connue du lecteur. ». (Loffler-Laurian : 1984 : 124)

Par ailleurs, elle ajoute que l'on peut définir le discours scientifique comme étant « [...] l'ensemble des textes écrits et des productions orales ayant un contenu dit scientifique, c'est-à-dire lié à la recherche, l'enrichissement et la diffusion des connaissances sur la nature et le fonctionnement du monde minéral, végétal, humain, etc. ». Ce contenu scientifique peut être subdivisé en plusieurs matières: « [...] mathématiques, physique, chimie, philosophie, sciences de l'éducation, astronomie, médecine, biologie, etc. ». (Loffler-Laurian : 1983 : 8, 9) Et chacune de ces matières couvre un éventail de types de discours différents. Parmi ceux-ci, à l'écrit, on retrouve des discours s'adressant à divers destinataires, des spécialistes jusqu'au grand public.

Dans son article sur la typologie des discours scientifiques, Loffler-Laurian (1983) distingue six types de discours pour lesquels le message varie en fonction du type de discours et du destinataire. Nous les présentons ci-après.

### **Le discours scientifique spécialisé**

Ce discours est écrit par des spécialistes (chercheurs ou chercheuses scientifiques ou encore techniciens ou techniciennes) et s'adresse à d'autres spécialistes, le plus souvent du même domaine. Le but est de communiquer des informations qui peuvent être utiles au travail des autres spécialistes.

**Le discours de semi-vulgarisation scientifique**

Ce discours est écrit par un « [...] professionnel spécialiste d'un domaine scientifique [...] » (chercheuse ou chercheur scientifique, révisé éventuellement par une ou un journaliste) qui s'adresse à un « [...] public de niveau de formation universitaire [...] ». (Loffler-Laurian : 1983 : 10) Le récepteur ou la réceptrice qui s'intéresse à ce genre de communication le fait dans le but d'approfondir ses connaissances générales en science.

**Le discours de vulgarisation scientifique**

Ce discours est écrit par un journaliste professionnel ou une journaliste professionnelle et s'adresse à un public s'intéressant à des informations faciles d'accès et très compréhensibles pour les gens n'ayant pas de connaissances fondamentales en science. Le but est de communiquer au grand public les découvertes scientifiques afin d'atténuer le fossé entre les scientifiques et le public.

**Le discours scientifique pédagogique**

Ce discours est écrit par un enseignant ou une enseignante (le plus souvent enseignants-chercheurs) de haut niveau et s'adresse à des élèves ou bien à des étudiantes ou étudiants en voie de spécialisation.

### **Les discours de type mémoire, thèse, etc.**

Ces discours sont écrits par une étudiante ou un étudiant devenu spécialiste ou par un ou une spécialiste qui fait le point sur une question particulière et s'adressent à un jury, à un ou une spécialiste ou encore à un enseignant ou une enseignante (éventuellement d'un domaine voisin). Ces discours « [...] manifestent une situation de communication particulière [...] », car « [...] ils sont proches des discours scientifiques pédagogiques, mais participent aussi des discours scientifiques spécialisés. ». (Loffler-Laurian : 1983 : 12)

### **Les discours scientifiques officiels**

Ces discours sont écrits par un chercheur ou une chercheuse spécialiste (ou bien par une équipe) ou par un personnel administratif et s'adressent à une instance officielle non spécialisée. On regroupe sous cette rubrique « [...] les rapports destinés à une administration (par exemple demande d'aide financière) ainsi que les rapports de travail (demandant par exemple reconduction d'une équipe) et tous les textes destinés à une instance "politique". ». Le but de ces discours est « [...] en partie de communiquer une information, mais également de susciter une réponse. ». (Loffler-Laurian : 1983 : 12)

Dans ses écrits touchant la vulgarisation scientifique, Marc Tukiya affirme que lorsqu'un ou une spécialiste s'adresse à d'autres spécialistes du même domaine, il peut employer des termes (un jargon) connus de ces derniers sans les expliquer.

Un article de haut niveau, s'adressant à des spécialistes ne comporte que peu de définitions de vocabulaire incorporés dans la démonstration. Le lexique est supposé connu. Par contre, les manuels contiennent des successions de lexies qui y sont définies. Ils remplissent ainsi leur fonction primordiale qui consiste à conduire leurs lecteurs aux connaissances dont dispose la communauté scientifique. Les manuels remplissent cette tâche pédagogique en alternant les signifiants et les définitions des notions utilisées dans un domaine scientifique délimité. (Tukiya : 1983 : 34-35)

Ainsi, selon Tukia,

L'emploi des définitions est inversement proportionnel à la spécialisation de l'article : les revues hautement techniques s'en servent peu en comparaison des manuels universitaires. Dans les articles spécialisés la consultation des références bibliographiques permet au lecteur d'explicitier la problématique et l'école de référence. [...] Les manuels pour leur part procèdent en fait comme les dictionnaires. Ceci pour remplir leur fonction pédagogique, qui est justement d'apporter à l'étudiant le vocabulaire, donc les notions, dont se sert la communauté scientifique en question. Ainsi ils contiennent des séries de définitions plus ou moins directes [...] (1983 : 39-40)

### **Hypothèse de travail**

Compte tenu de ces affirmations, confirmant la présence de procédés de reformulation ou de définition dans les textes scientifiques, nous posons comme hypothèse que plus le discours est spécialisé, moins le rédacteur ou la rédactrice utilise de procédés de reformulation; au contraire, plus le texte est vulgarisé, notamment les textes à vocation didactique (manuels scolaires), plus le rédacteur ou la rédactrice utilise de procédés de reformulation. De plus, les types de procédés de reformulation ou de définition employés varient selon le type de discours scientifique où ils apparaissent.

## **Objectif de la recherche**

La présente recherche a pour objectif de confirmer, d'infirmer ou de nuancer l'hypothèse émise ci-dessus. Également, nous nous proposons de décrire les procédés de reformulation utilisés par les rédactrices et rédacteurs communicateurs québécois dans trois différents types de discours scientifiques québécois : le discours scientifique de semi-vulgarisation, le discours scientifique vulgarisé et le discours scientifique pédagogique (manuel scolaire). Nous voulons enfin dresser une typologie des procédés de reformulation, relateurs et moyens linguistiques recensés dans notre corpus.

Dans le cadre de ce mémoire, la reformulation est vue comme une habileté de la rédactrice ou du rédacteur communicateurs; la recherche est par conséquent centrée sur une description des procédés de reformulation utilisés par l'émetteur ou l'émettrice pour redire différemment les termes ou les concepts scientifiques afin de les adapter au niveau de compréhension du public visé. La reformulation, ici, n'est aucunement centrée sur la réception du message. Par *terme technique* ou *scientifique*, nous entendons l'emploi dans le texte d'un mot ou d'un sens qui ne renvoie pas à la langue commune décrite dans les dictionnaires généraux du français, ou auquel on a apposé une marque d'usage (technique, scientifique ou autre du même genre).

Il importe de souligner que très peu de recherches ont été consacrées à l'étude des discours scientifiques québécois, et moins encore, à la question des procédés de reformulation. Par ailleurs, la reformulation constitue un élément clé parmi les procédés de vulgarisation scientifique. Cela confirme la pertinence et l'originalité de notre recherche.

## **Corpus d'analyse**

Ainsi, nous avons constitué un corpus représentatif des trois types de discours scientifiques ciblés : trois articles de la revue *Interface* (discours de semi-vulgarisation); trois articles de la revue *Québec Science* (discours de vulgarisation); et enfin, trois chapitres du manuel scolaire de niveau collégial *Biologie générale 301* (discours de type pédagogique). Par souci d'homogénéité, les neuf textes choisis traitent de trois domaines communs de la biologie. Nous n'avons retenu que des textes scientifiques québécois, car, comme nous venons d'en faire mention, très peu de recherches ont été consacrées à leur étude. Nous voulons, par le fait même, démythifier cet art et inciter les rédactrices et les rédacteurs scientifiques québécois à l'exploiter au maximum.

Chacun des neuf textes a été rigoureusement analysé à partir d'une grille d'analyse type préalablement établie.

## **Contenu du mémoire**

Le premier chapitre de notre mémoire présente le cadre théorique. Il explicite en outre l'essentiel de notre méthodologie, soit la constitution de notre corpus (présentation des revues et du manuel scolaire choisis ainsi que des résumés succincts des textes retenus) et la méthode d'analyse utilisée.

Le deuxième chapitre présente les données recueillies à la suite de notre analyse en ce qui a trait aux procédés de reformulation. Il présente, à l'aide de tableaux et de figures, le nombre de mots ou de sens techniques reformulés dans chaque texte ainsi que la fréquence et la variété des divers procédés utilisés pour chacun des textes à

**l'étude. Grâce à l'observation attentive de ces résultats, nous serons en mesure de confirmer, d'infirmer ou de nuancer notre hypothèse de départ.**

**Quant au troisième et dernier chapitre, il décrit, pour chacun des procédés, les divers moyens linguistiques de même que les relateurs relevés dans les trois types de discours analysés. Enfin, la synthèse de ces résultats nous permettra de présenter une typologie des procédés, des moyens linguistiques et des relateurs recensés dans notre corpus. Il pourra éventuellement servir de guide à ceux et celles qui veulent ou doivent vulgariser la science.**

**Une annexe complète le mémoire, soit les textes dactylographiés constituant notre corpus.**

# CHAPITRE 1

## ÉLÉMENTS DE MÉTHODOLOGIE

### 1.1 Cadre théorique

Nous avons passé en revue les différentes théories émises par les chercheurs et chercheuses concernant la reformulation dans les textes scientifiques. Nous les résumons brièvement.

L'objectif d'une communication scientifique et technique [selon **André Jean Pétroff**] est de faire passer un type de destinataire d'un niveau donné de connaissances à un niveau supérieur (construction de nouveaux réseaux de connaissances).

L'objectif d'un discours scientifique ou technique est donc de réorganiser, contester, préciser, un réseau de connaissances antérieures pour un type de destinataire donné dont on a implicitement analysé le niveau actuel de connaissances. En effet la présence ou l'absence de telle ou telle connaissance chez le destinataire choisi comme cible modifie le discours dans la mesure précisément où on cherche à faire passer ce destinataire d'un état de connaissances à un autre état de connaissances.

Un état de connaissances se définit comme un réseau de relations entre des éléments d'information. Ce réseau est modifié soit en jouant sur les éléments, soit en ne jouant que sur les relations, soit en jouant à la fois sur les éléments et sur leurs relations. En définitive, il s'agit toujours d'une modification des relations. On peut donc dire que l'objectif d'un discours scientifique ou technique est de construire de nouvelles relations.

C'est la différence entre deux états de connaissances qui permet de définir la valeur informative d'une communication scientifique. Le texte n'apporte rien si la différence est nulle pour un type de destinataire donné, tandis que le même texte fera passer un autre type de destinataire à un niveau supérieur de connaissances. D'où la nécessité d'adapter le discours au destinataire ciblé. (1984 : 55)

Pour Pétroff, la reformulation existe aussi dans les discours scientifiques. Et celle-ci est nécessaire pour diffuser l'information dans un langage adapté au public visé. « La reformulation c'est le résultat du travail sur toute information afin de l'adapter à un type de destinataire précis et en fonction d'une action déterminée. » (1984 : 53)

Ce même auteur ajoute que, parmi les unités textuelles périphériques, les accroches et les encadrés littéraux constituent des reformulations.

Pétroff amène la réflexion suivante :

L'acquisition n'est pas un mouvement linéaire (rectiligne), c'est un mouvement en spirale qui « repasse » sur les acquis anciens, mais chaque fois à un niveau supérieur. Et c'est dans cette spirale de l'acquisition que la reformulation est nécessairement présente. (1984 : 67)

De Daniel Jacobi, nous avons retenu trois des « [...] grandes catégories de procédés de reformulation utilisés dans la vulgarisation [...] » (1987 : 65) : la double dénomination, la coréférence et la définition.

1.1.1 - La **double dénomination** est une forme de traduction, c'est-à-dire qu'on écrit dans le langage courant ce qui est dit dans le langage scientifique en employant des synonymes.

En fait, un certain nombre de termes scientifiques possèdent un synonyme dans la langue commune. Par exemple *Bombyx mori*, nom d'un insecte lépidoptère, peut fort bien être remplacé par ver à soie. Dans ce cas le vulgarisateur substitue au nom savant (ici un emprunt à une langue ancienne, le latin) le nom commun, à la manière d'un traducteur. [...] La vulgarisation peut difficilement être assimilée à une reformulation de la langue savante dans le registre commun puisque la plupart des notions et des concepts scientifiques n'y ont pas d'équivalent linguistique. Seules font exception les disciplines scientifiques les plus anciennes qu'on regroupait sous le nom d'histoire naturelle. (Jacobi : 1987 : 66)

1.1.2 - La **coréférence** consiste à remplacer des termes scientifiques par des expressions équivalentes.

Pour désigner cette opération langagière de la rhétorique de vulgarisation, nous l'avons appelée la reformulation. Dans ce cas, le terme de reformulation représente, dans un sens restreint, l'opération que le spécialiste lui-même effectue, en toute légitimité, pour substituer, à un terme-pivot, un autre terme ou un groupe nominal. On remarquera que cette façon de faire contredit ce que les linguistes ont observé à propos de la langue scientifique. Selon ces derniers, le fonctionnement paradigmatique de cette dernière serait spécifique : la commutation y est impossible. Le terme scientifique ne pourrait idéalement se voir substituer un autre terme ou un synonyme.

Pourtant, volonté d'éviter des répétitions ou souci — même pour des pairs — de mieux faire comprendre sa pensée, le spécialiste n'hésite pas à reformuler les termes scientifiques. On observe alors une coréférence parfaite dans la mesure où plusieurs termes ou syntagmes (mots associés) désignent bien un seul et même référent (le référent étant pour un linguiste ce que l'on cherche à nommer ou désigner).

Par exemple le terme-pivot fièvre sera reformulé par un spécialiste de la façon suivante : élévation de température, augmentation de la température corporelle, augmentation régulée de la température du corps (La Recherche). (Jacobi : 1987 : 67)

1.1.3 - La **définition** « [...] est un des outils privilégiés pour faire comprendre la signification d'un terme-pivot. ». (Jacobi : 1987 : 67)

Une analyse détaillée des contextes de termes-pivots (à fonction définitoire) montre que la définition procède de mouvements logiques différenciés. Nous en citerons quelques-uns sans prétendre à l'exhaustivité. (Jacobi : 1987 : 67)

- Pour définir le terme-pivot, le vulgarisateur peut mettre en œuvre une démarche analytique : « La *fièvre* est ce qu'on appelle un syndrome (c'est-à-dire un ensemble de symptômes) dont les signes les plus évidents sont une augmentation de la température et une accélération des battements du sang dans les artères (pouls) » (*Encyclopédie Larousse des jeunes*).

- Il peut également expliquer en envisageant les causes ou les conséquences :

« Une telle substance chimique, qui est émise par un individu et perçue par un autre individu de la même espèce chez lequel elle déclenche une modification du comportement et de la physiologie, est appelée *phéromone* » (*La Recherche*).

- Enfin le vulgarisateur peut recourir à une définition fondée sur l'analogie : « La *fièvre* est toujours un signal d'alarme qui traduit l'agression dont notre organisme est l'objet » (*Encyclopédie Larousse des jeunes*). (Jacobi : 1987 : 68)

Selon Anne-Marie Loffler-Laurian,

[l]a vulgarisation est un effort pour mettre au maximum en discours ce qui « naturellement » est en chiffres et en symboles. Les encadrés, dans les articles de revues de vulgarisation de haut niveau, rappellent souvent ce fait : ce sont des éléments de textes sources, ou des discours formulés pour ceux qui préfèrent aller droit aux données.

À l'opposé des encadrés, les définitions ou éléments définitionnels contenus dans les textes rappellent que la vulgarisation est aussi dirigée vers un grand public à qui on doit des explications. Celles-ci ne peuvent s'appuyer que sur des notions fondamentales qui ne sont pas toujours connues. Les définitions fournissent cette base indispensable à la lecture et à la compréhension des textes par le public visé. (1984 : 124)

La théorie sur les procédés définitoires élaborée par cette même chercheuse (1983) nous permet de mieux différencier cinq grandes catégories définitoires dans les discours scientifiques : la dénomination, l'équivalence, la caractérisation, l'analyse et la fonction.

#### 1.1.4 - La dénomination :

Dans le cas de la dénomination, l'un des éléments est linguistiquement de grande extension, l'autre apporte un supplément d'information. L'élément qui définit l'autre peut se trouver placé indifféremment avant ou après l'autre, la liaison étant assurée par un verbe spécifique.

Exemples :

- (a) Nous tiendrons compte de ces particularités en dénommant l'axe et son plan normal respectivement axe et plan d'« association ».
  - (b) Cette phase d'initialisation s'appelle le « bootstrap » (ou chausse-pied).
- [...]

Le verbe type de cette catégorie est APPELER. Il groupe l'ensemble constitué par {appeler, nommer, désigner, dire, ...}. (Loffler-Laurian : 1983 : 16)

#### 1.1.5 - L'équivalence :

Pour établir une équivalence, le français utilise largement le verbe-copule « être ». C'est effectivement le verbe le plus employé. Cependant certains signes de ponctuation, comme par exemple les parenthèses, peuvent jouer le même rôle.

Exemples :

- (e) Les macles d'indices faibles sont des bicristaux dont aucun angle de désorientation n'est petit.
- (f) La diffraction est la déviation ou l'étalement d'une onde lumineuse par le bord d'un objet opaque.
- (g) L'enregistrement est la mise en mémoire de ce signal; la reproduction est la lecture de cette mémoire qui restitue le signal électrique.
- (h) [...] l'union au hasard des individus (panmixie), l'union d'individus apparentés (consanguinité), l'union des individus qui se ressemblent (homogamie).

L'équivalence est le seul cas où la définition peut être approximative. C'est une exception à la règle de non modalisation énoncée plus haut.

Exemple :

- (i) Un bicristal peut être considéré comme un ensemble de deux germes orientés.

Si le verbe type de ce groupe est bien ÊTRE, il faudra ajouter à la liste des « copules » des verbes tels que, par exemple, « consister à ».

Exemple :

- (j) Préparer un bicristal orienté consiste à faire croître dans une même matrice métallique, deux germes d'orientations déterminées à l'avance. (Loffler-Laurian : 1983 : 16-17)

### 1.1.6 - La caractérisation :

Les adjectivations nominales sont les plus fréquentes (adjectifs ou propositions dites relatives); les adjectivations verbales (adverbes, modalisateurs, etc.) peuvent en exprimer aussi. Les discours scientifiques, à caractère fortement nominal, font appel abondamment à des définitions de type caractérisation par le moyen d'adjectivations nominales.

Exemples :

(k) Examinons pour le moment le tube-image noir et blanc : il s'agit d'une ampoule de verre scellée dans laquelle on a fait un très bon vide.

(l) Système monoclinique. [...] La maille primitive est un prisme oblique à base rectangle. Il y a deux types possibles de réseau : un réseau P et un réseau C (dit à bases centrées) dont la maille définie précédemment a les faces (a, b) centrées. (Loffler-Laurian : 1983 : 17)

[...]

Les mots types de la caractérisation sont les RELATEURS. Ceux-ci comprennent les pronoms relatifs bien entendu, mais également des signes typographiques ou des relations sémantiques dues à certaines formulations tant sur le plan syntaxique que lexical.

La caractérisation dans les définitions ou pour définir un objet est particulièrement utilisée dans les discours de type vulgarisation ou pédagogie. (Loffler-Laurian : 1983 : 17)

### 1.1.7 - L'analyse :

L'analyse à proprement parler est la décomposition d'un objet en éléments tels que si l'on ajoute tous les éléments les uns aux autres, on obtient l'objet en question. (Loffler-Laurian : 1983 : 17)

Le mot type ici est COMPRENDRE, CONTENIR. Et les expressions les plus fréquentes en sont : être composé de, être constitué de, se composer de,... Une nette dominance des formes non actives se manifeste ici : voix moyennes et inverses. (Loffler-Laurian : 1983 : 18)

### 1.1.8 - La fonction :

Ce type de définition s'appuie sur la finalité de l'objet, sur son usage et ses possibilités, éventuellement sur ses effets. (Loffler-Laurian : 1983 : 18)

Le verbe type est PERMETTRE DE. Il a de nombreuses réalisations : employer pour, utiliser pour, conduire à,...

Ce type de définition semble particulier à la vulgarisation. Si on la trouve dans d'autres types de discours, ce n'est pas d'une façon aussi « pure ». (Loffler-Laurian : 1983 : 18)

D'après les études de Loffler-Laurian (1983), dans le « [d]iscours scientifique spécialisé : les définitions y sont extrêmement rares. Quand il y en a, c'est en début de texte, et elles sont de tous types sauf Fonction. ». Dans le discours de semi-vulgarisation, on retrouve surtout les définitions de type Analyse et Fonction. Quant au « [d]iscours de vulgarisation : les définitions, faites pour éclairer le lecteur tout autant que pour donner une apparence de scientificité (= "objectivité"?) y sont de tous types excepté la Caractérisation. » Enfin, le discours pédagogique contient surtout les définitions de type Dénomination, Caractérisation et Analyse. Selon cette auteure, « [o]n y rencontre peu d'Équivalence et de Fonction. ». (Loffler-Laurian : 1983 : 19-20)

#### 1.1.9 Les reformulations énumératives

Nous avons également puisé dans la théorie de Uzoma Chukwu et Philippe Thoiron (1989) les critères nécessaires à la distinction des deux types de reformulations énumératives suivants :

- **reformulations énumératives par liste exhaustive** (où il s'agit de nommer tous les membres d'une classe quelconque);
- **reformulations énumératives par exemplification** (où il s'agit de donner quelques exemples se rapportant à une classe quelconque, en employant les termes « par exemple », « tel que », etc.).

### 1.1.10 Les images

En outre, nous joignons la comparaison, l'analogie et la métaphore aux reformulations énumératives par exemplification, car elles sont aussi, selon nous, des façons d'introduire des exemples dans les discours scientifiques. Pour ce faire, nous nous sommes basé sur les théories de Carlos López Beltrán (1990), de Bernard Schiele (1983), d'Yves Jeanneret (1992), de Baudouin Jurdant (1969) et de Daniel Jacobi (1984).

Pour Carlos López Beltrán,

[a]lors que la connaissance scientifique proprement dite possède tout un patrimoine de techniques, de méthodologies pratiques et théoriques, et divers types de langage (parfois essentiellement mathématique) pour la soutenir et donner un sens à ses concepts, la vulgarisation doit se passer de tout cela et se contenter des outils du langage naturel (tels que la métaphore, l'analogie, la description, etc.) pour recréer les concepts de la connaissance. [...] Elle doit, en somme, utiliser tous les outils de la pensée et du langage dont elle dispose. Reproduire les images, utiliser les modèles, préserver l'esprit de la connaissance scientifique. Il ne s'agit pas de rendre facile ce qui est difficile, ni de fournir une connaissance toute digérée au paresseux qui ne veut pas faire l'effort nécessaire. Il s'agit plutôt d'affronter le défi qui consiste à raconter, à communiquer à l'autre une partie de l'activité humaine à laquelle il ne participe pas, sans doute parce qu'il participe à une autre. (López Beltrán : 1990 : 22-23)

Pour sa part, Bernard Schiele affirme :

Le message vulgarisateur ne peut [...] coordonner discours scientifique et pratique quotidienne que par un déplacement du point d'appui de la signification. Il doit l'ancrer dans l'expérience usuelle, celle de la vie de tous les jours. Ce qui explique l'emploi généralisé de l'analogie. L'analogie « explique » parce qu'elle rapporte l'inconnu de la science au connu de la pratique quotidienne dont il sera l'équivalent compliqué. (1983 : 164-165)

Le même auteur déclare que l'analogie et la métaphore sont fréquemment utilisées en vulgarisation scientifique, car elles permettent d'expliquer des concepts compliqués en les comparant à des événements de la vie quotidienne qui ont du sens. L'analogie et la métaphore simplifient sans modifier le modèle de pensée.

D'après Yves Jeanneret (1992), la présence de la métaphore dans le discours scientifique peut avoir plusieurs fonctions se situant entre l'ornement du discours et le façonnement de l'idéologie du texte. Elle est surtout utile lors des explications du rédacteur ou de la rédactrice, ou lorsque ceux-ci veulent faire une bonne mise en scène des textes scientifiques. Selon ce même auteur, la métaphore peut structurer le texte; elle permet d'établir des correspondances entre la science et les événements quotidiens plus familiers au grand public et favorise la compréhension de la science par le public, en autant qu'elle représente bien la théorie et qu'elle soit significative pour le lecteur ou la lectrice. Il ajoute que la métaphore se différencie de la comparaison, car « [...] elle tait le comparé, le motif de la comparaison et sa marque syntaxique. ». (Jeanneret : 1992 : 102)

En outre, selon Baudouin Jurdant :

[...] ce n'est qu'à partir du moment où la science se structure en savoir que le jeu des équivalences est possible. La compréhension y trouve son compte grâce à la conjonction comme, prélude à tous les exemples et à toutes les digressions. C'est aussi cette conjonction qui permet une réinsertion plausible des résultats scientifiques dans la logique des idées propres à l'idéologie. La métaphore est ainsi à l'origine de la création de paradigmes particuliers destinés à rendre possible l'intégration des signifiants scientifiques à l'intérieur du système de la langue. (1969 : 156-157)

Enfin, Daniel Jacobi a fait état de ce qui suit, lors d'une table ronde consacrée à la reformulation des discours scientifiques et techniques :

On s'aperçoit [...] que des procédures, des types de rhétorique, avec usage des tropes analogie, métaphore, comparaison, si elles marquent la « reformulation vulgarisante », n'en sont pas moins présentes aussi, même si différemment, dans le discours scientifique lui-même, c'est-à-dire au sein de l'œuvre-source. (1984 : 13)

#### 1.1.11 Les séries superordonnées

Parmi les procédés de reformulation associés à la métaphore, à la comparaison et à l'analogie, il importe de noter la place considérable qu'occupent les séries superordonnées dans les divers types de discours scientifiques.

L'article de Jacobi (1990), intitulé *Les séries superordonnées dans les discours de vulgarisation scientifique*, nous a fourni la théorie nécessaire à l'identification des séries superordonnées dans notre corpus.

Selon cet auteur, dans la vulgarisation, on emploie souvent la technique de reformulation, laquelle amène le rédacteur ou la rédactrice à établir des relations d'équivalence entre les termes scientifiques et le vocabulaire courant (reformulants).

Pour ce faire, le communicateur ou la communicatrice utilise « [l']axe dit métaphorique (et qui recouvre aussi bien métaphores, métonymies, comparaisons, analogies...) [...] » ainsi que les « [...] relations d'hyper-/hyponymie. » (Jacobi : 1990 : 104), c'est-à-dire « [...] la relation entre un terme spécifique et son générique (lymphocyte et globule blanc). ». (Mortureux : 1988 : 99)

Une série superordonnée est constituée d'une suite de termes et d'unités lexicales hiérarchisés selon un gradient de spécificité. Les lexicologues s'efforcent de fixer le rapport logique d'inclusion d'une unité lexicale par rapport à une autre à laquelle son sens est apparenté. L'une est classiquement considérée comme ayant une plus grande extension que l'autre qui, par contre, gagne en compréhension. Quand on peut de proche en proche apparier une unité à une nouvelle avec laquelle elle entretient à nouveau un rapport d'inclusion, on constitue une suite d'emboîtements, à laquelle on donne le nom de série superordonnée.

La principale propriété de cette série, soulignent certains logiciens, provient de ce que l'extension et la compréhension de chacune des unités variant de façon inversement proportionnelle l'une à l'autre, l'implication est unilatérale : un *macrophage* est une cellule *phagocytaire* mais toutes les *cellules phagocytaires* ne sont pas des macrophages. Une série superordonnée est en quelque sorte orientée, par les inclusions successives qui ont permis de la constituer, du terme le plus générique, au terme le plus spécifique.

Pourtant cette orientation logique ne règle pas la direction de la reformulation. Si l'on se place en dehors des deux pôles de la série (pôles qui sont constitués à une extrémité du terme le plus spécifique et à l'autre du plus générique), le scripteur peut rapprocher ou faire apparaître une relation d'équivalence entre deux membres en orientant la reformulation dans l'une ou l'autre direction. Il peut rapprocher le terme cible soit d'une lexie plus spécifique (qui a la valeur d'exemple ou d'illustration de la classe générique), soit d'une expression moins spécifique (qui permet de rattacher le terme particulier à une classe de valeur générique). (Jacobi : 1990 : 107)

L'exemple qui suit, présenté par Jacobi (1990), illustre une série superordonnée et la façon de s'y prendre pour la constituer.

*Au-delà (...) interviennent les nombreux effecteurs anti-infectieux... / ...ce sont les cellules dites phagocytaires (capables de manger)... / ...qui ont été reconnues comme des agents anti-bactériens... / Les cellules phagocytaires comprennent les macrophages et les polynucléaires [sic]. / Ces deux types d'effecteurs proviennent de cellules du sang... / ...les cellules sont spécialisées mais très myopes... / Les molécules (...) sont produites par les macrophages locaux et en partie par le foie (cellules du foie et cellules de Küpffer, c'est-à-dire macrophages particuliers propres au foie). / La Recherche, 177, p. 656-655.]*

On peut, à partir de cet extrait, souligner les rapports successifs d'inclusion que les scripteurs ont établis entre certaines unités lexicales.

*effecteurs > effecteurs anti-infectieux; cellules > cellules phagocytaires; effecteurs anti-infectieux > cellules phagocytaires; cellules phagocytaires > macrophages et polynucléaires; macrophages > cellules de Küpffer.*

Puis écrire une mini série superordonnée en disposant ces emboîtements successifs du terme le plus générique au terme le plus spécifique :

*effecteurs anti-infectieux > cellules phagocytaires > macrophages > cellules de Küpffer. (Jacobi : 1990 : 105)*

Enfin, selon Jacobi,

[L]es séries superordonnées constituent un réservoir potentiel dont disposent les scripteurs aux prises avec la reformulation de termes scientifiques. Une ou plusieurs des lexies de cette liste peuvent donc être substituées au terme cible ou apparaître dans des paraphrases définitives ou explicatives associées à ce dernier. Cependant, en reconstituant, à l'aide de différents corpus, la liste des termes et lexies qui les composent, on ne peut manquer de relever que les séries superordonnées possèdent différentes propriétés qui compliquent leur maniement. Chacun des termes et syntagmes lexicalisés de cette liste est potentiellement mobilisable par les scripteurs pour les différentes tournures de reformulation qu'ils créent. Mais leur usage obéit à un système de contraintes qui réduit considérablement le nombre des constructions effectivement réalisables. (Jacobi : 1990 : 107)

#### 1.1.12 Étude comparative des revues *Science et Vie* et *La Recherche*

Enfin, une étude comparative des revues *Science et Vie* (corpus de vulgarisation scientifique) et *La Recherche* (corpus de discours de semi-vulgarisation scientifique) réalisée par Daniel Jacobi (1983) complète notre recherche en vue de l'établissement de notre cadre théorique. L'auteur tire un certain nombre de conclusions intéressantes et pertinentes à notre propos, notamment en ce qui concerne l'emploi des métaphores, des analogies, des comparaisons, des métonymies ainsi que des paraphrases et procédés métalinguistiques.

## **Métaphore et métonymies**

[...] on s'aperçoit que le souci de convaincre et de persuader ne disparaît pas. Au contraire, la vulgarisation est une occasion propice pour certains soit de se parer du pouvoir de la science pour argumenter des positions militantes, soit pour faire valoir habilement son travail, soit encore, sous prétexte d'exposer une méthodologie, de souligner combien les autres procédés (ceux des rivaux) sont médiocres et peu opérants.

Bien plus, on se trouve alors placé dans une situation plus permissive pour oser des métaphores, des raccourcis, des images fortes ou encore des sortes de slogans qui contribueront utilement à la popularisation et à la socio-diffusion linguistique. (Jacobi: 1983 : 117-118)

À propos de la dimension métaphorique explorée précisément puisque le discours le plus fréquent tenu à propos de la V.S. [vulgarisation scientifique] fait jouer à la première des deux dimensions du langage identifiées par Jakobson un rôle prépondérant (les écrits de V.S. seraient marqués par l'abondance des métaphores — mot entendu au sens large d'images, analogies et comparaison), la surprise vient de ce que les articles de notre corpus en sont très pauvres. Au contraire la dominante de tous ces textes est leur caractère métonymique. Les principaux cas de métonymie (la désignation de l'effet par la cause, du tout par la partie...), c'est-à-dire du glissement de références, se retrouvent dans tous les articles étudiés. (Jacobi: 1983: 118)

En outre, les tournures métonymiques présentent l'avantage de renforcer la tendance au raccourci, à l'ellipse. Elles économisent en quelque sorte du discours et donnent au texte la plus grande énergie possible. (Jacobi : 1983 : 118)

## **Paraphrases et procédés métalinguistiques**

Enfin on dira un mot des tournures qui sont le plus explicitement proches de la rhétorique de V.S.. Il s'agit d'une part des usages de la paraphrase et d'autre part des procédés métalinguistiques. En effet la capacité du langage à parler du langage, objet qu'on désigne comme le métalangage, se marque dans le texte par un certain nombre de tournures métalinguistiques que l'on peut repérer et décrire. (Jacobi : 1983 : 119)

L'originalité de notre analyse, par ailleurs assez convergente avec les mécanismes langagiers repérés par les autres linguistes, tient à ce que nous avons pu montrer que s'il existe d'assez profondes différences entre le discours source et le discours vulgarisé on ne peut affirmer que des mécanismes soient spécifiques de ce dernier. Le souci de paraphraser, l'utilisation des différentes couches de noms sont des procédés transversaux de l'intertexte. Par exemple le goût pour ces brefs rappels historiques qui permettent au scripteur d'évoquer, dans des segments longs d'environ 200 mots, les différents termes qui correspondent aux différentes étapes de la conceptualisation d'une chose. (Jacobi : 1983 : 119-120)

Ce procédé n'est donc nullement spécifique de la V.S. Il correspond au souci du chercheur de fournir, même à ses pairs, des indications référentielles nouvelles qui, par différence et comparaison avec les concepts précédents, aideront à construire la signification du concept nouveau qu'il cherche à imposer. (Jacobi: 1983 : 120)

## 1.2 Procédés de reformulation types

De l'ensemble des théories exposées ci-dessus (soit celle de Pétroff sur la reformulation dans les discours scientifiques, celles de Jacobi sur les grandes catégories de procédés de reformulation, les séries superordonnées ainsi que l'étude comparative des revues *Science et Vie* et *La Recherche*, celle de Loffler-Laurian sur les cinq grandes catégories définitoires ainsi que celles de López Beltrán, Schiele, Jeanneret et Jurdant sur la métaphore, l'analogie et la comparaison), nous avons, aux fins précises de notre recherche, mis au point une liste des procédés de reformulation types dans le but d'en décrire l'utilisation par des rédacteurs, rédactrices et journalistes scientifiques dans un corpus de textes scientifiques québécois.

Voici les procédés de reformulation retenus et la définition propre à chacun.

<b>Procédé</b>	<b>Reformulation du terme technique pivot par :</b>
<b>1. Double dénomination</b>	- l'utilisation d'un synonyme d'un niveau de langue plus courant.
<b>2. Coréférence</b>	- l'emploi d'un autre terme coréférent (mot ou expression équivalente), pour éviter une répétition ou pour mieux faire comprendre.
<b>3. Définition complète</b>	- une expression ou une phrase qui permet de comprendre précisément ce que signifie la notion que recouvre le terme.
<b>4. Définition partielle</b>	- une expression ou une phrase qui renseigne le lecteur ou la lectrice sur l'un ou l'autre aspect que recouvre la notion: une conséquence, un effet, une cause, un but, une finalité, une éventualité (possibilité), un lieu (localisation), etc.
<b>5. Dénomination</b>	- l'utilisation d'un élément qui est linguistiquement de plus grande extension ou qui apporte un supplément d'information.
<b>6. Équivalence</b>	- un autre terme équivalent (ou une expression équivalente) qui peut être plus connu, plus concret.
<b>7. Caractérisation</b>	- la présentation d'une ou de plusieurs caractéristiques (une qualité par exemple) de l'objet.
<b>8. Analyse</b>	- la décomposition de l'objet en ses éléments ou en ses propriétés.
<b>9. Fonction</b>	- une définition s'appuyant sur la finalité de l'objet, sur son usage et ses possibilités, éventuellement sur ses effets.
<b>10. Reformulation énumérative par liste exhaustive</b>	- l'énumération de tous les membres d'une classe quelconque.
<b>11. Reformulation énumérative par exemplification</b>	- l'emploi d'exemples se rapportant à une classe quelconque.
<b>12. Analogie</b>	- l'utilisation d'un exemple se rapportant au quotidien, au concret.
<b>13. Métaphore</b>	- un exemple qui contient une expression imagée, un jeu d'équivalences
<b>14. Comparaison</b>	- l'emploi d'un exemple qui apporte une comparaison par l'emploi de conjonctions (comme, tel que, etc.).
<b>15. Métonymie</b>	- un glissement de références.
<b>16. Série superordonnée</b>	- l'emploi, tout au cours d'un texte, de termes plus génériques (de plus grande extension) et plus spécifiques comportant un rapport d'emboîtement ou d'inclusion entre eux.

### 1.3 Élaboration du corpus d'analyse

Comme nous voulons décrire les procédés de reformulation employés par les rédactrices et rédacteurs communicateurs scientifiques québécois, nous avons opté pour l'analyse de discours de semi-vulgarisation scientifique, de vulgarisation scientifique et de discours scientifique pédagogique, qui sont plus directement reliés à la vulgarisation scientifique. C'est ainsi que nous avons laissé de côté le discours scientifique spécialisé, les discours de type mémoire ou thèse ainsi que les discours scientifiques officiels, qui s'adressent plutôt à des spécialistes et dont le but n'est pas la vulgarisation scientifique du contenu.

Pour vérifier notre hypothèse et ainsi atteindre notre objectif, tels qu'ils ont été décrits plus haut, nous avons, par conséquent, constitué et exploité un corpus d'analyse représentatif des trois types de discours de vulgarisation scientifique énumérés ci-dessus :

- trois textes scientifiques semi-vulgarisés tirés de la revue *Interface*;
- trois textes scientifiques vulgarisés tirés de la revue *Québec Science*;
- trois textes scientifiques pédagogiques, sous la forme de trois chapitres tirés de fascicules constituant le manuel scolaire de niveau collégial *Biologie générale 301*.

De plus, par souci d'homogénéité du corpus et dans le but d'avoir des données comparables, les neuf textes proviennent des sciences de la nature, plus particulièrement du domaine de la biologie, sont contemporains et ont été rédigés par des rédactrices et rédacteurs communicateurs québécois.

Pour les neuf articles et chapitres, nous avons analysé à la fois les textes et les encadrés. Nous avons laissé de côté les titres et sous-titres, car, la plupart du temps, ils ne sont pas du ressort des auteurs et auteures des articles.

Enfin, nous avons choisi d'analyser trois chapitres tirés d'un même manuel scolaire plutôt que de trois manuels différents afin de tenir compte de la continuité qui existe entre les chapitres d'un manuel scolaire. En effet, certains termes scientifiques qui sont reformulés dans un chapitre ne le sont pas dans le chapitre suivant. Le fait d'avoir choisi trois chapitres extraits de trois manuels différents aurait pu fausser nos résultats.

### **1.3.1 Présentation du corpus d'analyse**

#### **1.3.1.1 *Interface***

*Interface* est une revue bimestrielle de vulgarisation scientifique publiée par l'Association canadienne-française pour l'avancement des sciences (ACFAS). Elle s'adresse principalement à un public universitaire.

Ce sont souvent les chercheurs, les chercheuses ou les spécialistes qui rédigent eux-mêmes les articles, qui sont révisés par le comité de rédaction.

Les articles d'*Interface* contiennent peu ou pas de citations et on retrouve à la fin de chacun la liste des références.

Les articles choisis sont les suivants :

- BERGERON, Michel G. « Le sida : une épidémie comme les autres? », *Interface*, vol. 16, n° 3, mai-juin 1995, p. 30-39.

L'objectif de cet article est d'informer les lecteurs et les lectrices sur les divers aspects du sida ainsi que sur l'état actuel de la recherche.

En introduction, l'auteur présente un exemple de succès en matière d'éradication de maladie infectieuse : celui de la variole. Puis, après avoir souligné que l'article est consacré aux infections contagieuses qui sont épidémiques, l'auteur se concentre plus particulièrement sur le sida.

D'un point de vue philosophique, l'auteur mentionne que le sida a provoqué une remise en question des valeurs propres à notre société. Il établit les différences entre l'épidémie du sida et les autres épidémies. Il informe les lecteurs des raisons pour lesquelles il est difficile de produire un vaccin contre le sida ainsi que des moyens préventifs mis de l'avant pour contrer cette maladie.

L'auteur présente ensuite la recherche sur le développement de microbicides vaginaux et de spermicides pour combattre la transmission du sida ainsi que la recherche visant à mettre au point des méthodes de ciblage spécifique des cellules infectées à l'aide de nanoparticules ou de liposomes.

Enfin, l'auteur énumère les médicaments actuels pour lutter contre l'apparition du sida chez les personnes atteintes du VIH.

Quant aux encadrés, ils présentent l'histoire des épidémies et nous informent de la transmission possible du sida par voie sanguine, par voie génitale ou anorectale. Un troisième encadré explique les techniques (varioloisation et vaccination) utilisées depuis mille ans qui ont permis l'éradication de la variole. L'encadré n° 4 énumère les étapes du processus de transmission du VIH au cours des relations sexuelles. Enfin, le dernier encadré nous informe sur les développements en matière de moyens de prévention pour contrer la transmission du VIH (barrières physiques et chimiques).

- CHARTRAND, Pierre. « La médecine des gènes », *Interface*, vol. 13, n° 2, mars-avril 1992, p. 12-15.

Cet article vise à informer les lecteurs et les lectrices sur les diverses applications de la thérapie génique pour traiter les maladies génétiques.

L'auteur définit ce qu'est la thérapie génique et ce qu'est un défaut génétique. Il énumère les critères nécessaires à l'application de cette thérapie. L'article fait état des maladies candidates à cette thérapie ainsi que des techniques employées pour corriger un gène défectueux. L'auteur nous renseigne sur le processus d'introduction d'un gène correcteur dans le matériel génétique de la cellule cible; sur l'impact que peut avoir cette technique ainsi que sur les perspectives actuelles en thérapie génique.

Quant aux encadrés, ils présentent le projet Hugo (cartographie du génome humain), décrivent les techniques utilisées pour l'introduction d'un vecteur porteur d'un gène correcteur dans une cellule porteuse du même gène, mais défectueux. Ils nous renseignent aussi sur le succès de cette technique.

Un troisième encadré est consacré à la description des trois volets de recherche du Service de recherche et de développement de la Croix-Rouge de Montréal : l'étude des mécanismes de recombinaison permettant le réarrangement du matériel génétique; l'étude de la réponse immunitaire maternelle aux antigènes sanguins du fœtus ainsi que l'étude de la production par la moelle osseuse des cellules telles que les globules rouges et les plaquettes.

- MARCHAND, Mario. « Les réseaux de neurones », *Interface*, vol. 11, n° 6, novembre-décembre 1990, p. 10-19.

Comme le dit l'auteur :

[L'objectif de cet] article est d'explorer divers mécanismes d'apprentissage de réseaux neuronaux qui ont pour objet non pas une simple mémorisation de l'information, mais aussi la généralisation : comment, après avoir mémorisé un certain nombre d'exemples, un réseau peut-il arriver à reconnaître et à bien classifier des objets qu'il n'a jamais explicitement observés? (p. 11)



Dans cet article, l'auteur établit une comparaison entre le cerveau humain et les capacités actuelles d'une machine neuronale. Il fournit de l'information sur trois aspects importants : le perceptron; la rétropropagation des erreurs ainsi que les algorithmes de croissance pour l'apprentissage de réseaux neuronaux. À travers cela, l'auteur nous informe sur la possibilité d'apprentissage des réseaux de neurones ainsi que sur leur capacité de généralisation, de modélisation et de mémorisation.

Quant aux encadrés, ils diffusent des informations techniques sur la fréquence d'émission d'impulsions électriques d'un neurone biologique, sur la réaction des neurones du préprocesseur face à un objet présenté ainsi que sur la réaction du perceptron. Ils font aussi état des limites du perceptron. La figure n° 4 nous informe sur le modèle de Hopfield, la figure n° 5, sur la règle d'apprentissage par rétropropagation des erreurs. L'encadré n° 2 présente le réseau NETTALK (qui apprend à lire), l'encadré n° 3 présente le réseau ALVINN (qui apprend à conduire une voiture). La figure n° 6 présente un réseau en couches où les neurones sont du type Mc Culloch et Pitts, la figure n° 7, l'apprentissage par construction d'un arbre neuronal, la figure n° 8, la fonction parité et la figure n° 9, enfin, les tests que l'on fait subir au réseau.

#### 1.3.1.2 *Québec Science*

*Québec Science* est un magazine de vulgarisation scientifique à but non lucratif publié dix fois l'an par la revue *Québec Science*. Il s'adresse au grand public et est distribué dans les stands à journaux.

Les rédacteurs et les rédactrices sont soit membres du comité de rédaction soit collaborateurs et collaboratrices. Ce sont des journalistes professionnels, parfois aidés par une recherchiste particulière ou un recherchiste particulier.

On dénote dans les articles beaucoup de citations provenant de chercheurs ou chercheuses et de scientifiques. À l'occasion, les articles contiennent des renvois à des numéros antérieurs.

Les trois articles sélectionnés sont :

- GROULX, Michel. « Virus et bactéries : pourquoi ils nous menacent », *Québec Science*, vol. 34, n° 1, septembre 1995, p. 16-20.

Cet article vise à informer les lecteurs et les lectrices sur la recherche de traitements pour contrer les nouveaux fléaux microbiens. Aussi, il explique les différences entre les virus et les bactéries pour une meilleure compréhension du sujet de la part du lecteur ou de la lectrice.

À partir d'un exemple concret de maladie infectieuse récente, l'auteur présente divers types de maladies infectieuses connues et décrit les recherches réalisées ou en cours qui permettent de lutter contre les différents microbes. Il y explique ce qui rend difficile la recherche pour trouver des traitements appropriés à chacune de ces maladies.

Quant aux encadrés, le premier informe sur les maladies émergentes exotiques et sur les possibilités de propagation de ces maladies au Canada. Le deuxième encadré présente une description physique des virus, des bactéries, des parasites et des prions : quatre agents pathogènes responsables des maladies infectieuses.

- FLEURY, Jean-Marc. « Apoptose : le suicide des cellules enfin compris », *Québec Science*, vol. 34, n° 6, mars 1996, p. 35-39.

Cet article a pour but d'informer les lecteurs et les lectrices sur l'existence chez l'humain d'un mécanisme d'autodestruction des cellules appelé apoptose qui, lorsqu'il est dérégulé, est responsable d'une foule de maladies.

L'auteur fait état du rôle de l'apoptose dans tout organisme humain. Il présente les avantages d'une apoptose normale. Il décrit les étapes de la mort de la cellule ainsi que les trois grandes étapes du processus apoptotique. L'auteur présente aussi les conséquences d'une apoptose dérégulée. On parle en outre des recherches qui visent éventuellement à activer l'apoptose dans certains cas (par exemple, pour ralentir le vieillissement) et à l'inhiber dans d'autres cas (par exemple, lors des chirurgies cardiaques).

Quant aux encadrés, ils présentent quatre situations, accompagnées d'exemples concrets, où la stimulation de l'apoptose serait bénéfique : pour ralentir le vieillissement; pour combattre les maladies infectieuses; pour empêcher le cancer ainsi que pour rajeunir le système immunitaire. Un cinquième encadré informe les lecteurs sur la façon dont se déclenche le processus de mort cellulaire, de manière très détaillée.

- LEMIEUX, Raymond. « Comment le cerveau fabrique des images » et « On peut sauver des vues », *Québec Science*, vol. 34, n° 9, juin 1996, p. 69-73.

Dans le but d'obtenir un nombre de pages comparable aux autres articles, nous avons choisi ici de grouper deux textes traitant du même sujet, provenant du même auteur, et qui se suivent dans la revue.

Le premier article, qui vise à informer les lecteurs et les lectrices sur la mécanique de la vision, fait état des recherches en cours sur le cerveau : l'identification des neurotransmetteurs impliqués dans la vision; l'étude des signaux électriques produits par le cerveau ainsi que la recherche sur l'angiotensine.

En outre, l'auteur informe les lecteurs et les lectrices sur les photorécepteurs ainsi que sur le rôle des diverses aires du cerveau dans la perception de l'image et des conséquences des lésions dans certaines aires.

Le deuxième article a pour but d'informer les lecteurs et les lectrices sur les maladies de l'œil et sur les recherches en cours pour traiter ces maladies.

L'auteur présente les maladies de l'œil : il explique les symptômes de chacune et le traitement actuel prescrit. Entre autres, il fait état de la greffe de la cornée, qui permet de traiter les cataractes et fournit des informations détaillées à propos de cette greffe. Il nous informe enfin sur les recherches en cours dans ce domaine.

Quant aux encadrés, le premier énumère les types de réaction à la lumière chez les algues et les plantes ainsi que dans le règne animal. Il informe aussi sur l'existence, dans la nature, de plusieurs systèmes oculaires différents; sur l'influence de la pression environnementale sur la « façon de voir » de certains êtres vivants ainsi que sur ce qu'apportera la recherche sur les biomatériaux.

Le deuxième encadré explique en détail le processus de la vision depuis l'image captée jusqu'à l'image analysée et identifiée.

Quant au troisième encadré, il présente des informations sur la chirurgie réfractive.

### **1.3.1.3 Manuel de *Biologie générale* 301**

Ce manuel a été rédigé par trois professeurs (deux hommes et une femme) membres de l'Équipe Regain du Collège de Bois-de-Boulogne et a été publié par ce même collège en 1989. Ce manuel est constitué de six fascicules et s'adresse à des élèves de niveau collégial.

Les chapitres de ce manuel scolaire ne contiennent ni citations ni renvois.

**Les chapitres choisis sont les suivants :**

- **DENIS, Christiane *et al.* « La cellule », chapitre 3, fascicule 1, *Biologie générale 301*, Montréal, Équipe Regain, Collège de Bois-de-Boulogne, 1989, p. 31-56.**

**Ce chapitre vise à informer les lecteurs et les lectrices de tous les aspects de la cellule. Les auteurs font d'abord l'historique de la cellule pour ensuite informer le lecteur ou la lectrice sur le rôle de la cellule, sur ses composantes et sur leurs caractéristiques respectives. Ils traitent aussi des effets de la diffusion et de l'osmose sur les cellules animales et les cellules végétales.**

- **DENIS, Christiane *et al.* « Les Monères », chapitre 6, fascicule 2, *Biologie générale 301*, Montréal, Équipe Regain, Collège de Bois-de-Boulogne, 1989, p. 31-39.**

**L'objectif visé par les auteurs est de traiter de tous les aspects des Monères d'une manière détaillée et compréhensible par les élèves.**

Les auteurs traitent des Monères, notamment des deux embranchements de Monères (Bactéries et Cyanophytes), de la structure et de la composition de chacun d'eux ainsi que de leurs rôles respectifs. L'accent est mis sur les quatre espèces de Cyanophytes : *Anabæna*, *Oscillatoria*, *Stigonema* et *Glœocapsa*, que l'on définit de façon détaillée.

Il importe de noter que nous n'avons pas analysé, dans ce chapitre du manuel scolaire, les parties descriptives des expériences, car elles sont constituées seulement de phrases impératives. Par exemple : « Observe d'abord à l'œil nu cette préparation permanente et remarque que les organismes ont été colorés en rouge ou bleu pour une meilleure visibilité. » (p. 34) Ce type de phrase n'apporte pas de reformulation.

- DENIS, Christiane *et al.* « La génétique », chapitre 16, fascicule 5, *Biologie générale* 301, Montréal, Équipe Regain, Collège de Bois-de-Boulogne, 1989, p. 1-18.

L'objectif de ce chapitre est de bien informer les élèves de tous les aspects de la génétique.

Les auteurs définissent la génétique, l'hérédité et traitent des règles de transmission des caractères héréditaires. Puis, à l'aide des résultats des recherches faites par Mendel, ils démontrent la méthode des croisements et les résultats obtenus. Ils présentent aussi les lois de Mendel : loi de la ségrégation et loi de la disjonction indépendante, puis démontrent celles-ci de façon concrète par des exemples de croisements. C'est à l'aide d'exemples que la majeure partie de la matière est présentée.

Quant aux encadrés, ils définissent l'absence de dominance dans les croisements puis donnent l'exemple d'un cas de croisements de mufliers. Ils traitent aussi de la codominance et ajoutent à cette information l'exemple des groupes sanguins.

L'annexe A présente les textes dactylographiés des neuf articles étudiés.

### **1.3.2 Méthode d'analyse**

Pour chacun des neufs textes choisis, représentant les trois types de discours scientifiques, soit de semi-vulgarisation, de vulgarisation et pédagogique, nous avons appliqué la grille d'analyse regroupant les principaux procédés de reformulation retenus à la suite de l'élaboration de notre cadre théorique.

Ainsi, dans chacun des textes choisis, nous avons repéré tous les mots reformulés et noté pour chacun d'eux le type de procédé utilisé, les moyens linguistiques, les relateurs, le contexte d'utilisation, la source ou référence et, au besoin, un commentaire ou une remarque. Ces données ont par la suite été stockées dans une banque de données informatisée à l'aide d'une fiche standardisée dont un exemple d'écran est présenté ci-après. Nous avons aussi relevé les séries superordonnées de chacun des textes. Nous avons fait de même pour les coréférences dans le cas où celles-ci n'étaient pas accolées au mot coréférent dans un contexte immédiat. Les chapitres qui suivent font état de la compilation de nos données ainsi que de l'analyse que nous en avons faite.

En tout temps, nous avons analysé chacun des termes en nous reportant le plus fidèlement possible à la définition originale de chacun des procédés décrite par les auteurs et auteures. Il était essentiel que nous conservions tels quels les différents procédés, afin de comparer nos résultats avec ceux d'études européennes. Il importe de souligner que la frontière entre certains procédés de reformulation n'est pas totalement étanche. Nous présentons donc, ci-dessous, certains indices qui nous ont éclairée et qui pourront sûrement aider le lecteur ou la lectrice du présent mémoire.

### **Distinctions**

La **double dénomination** se traduit par l'emploi d'un synonyme d'un niveau de langue plus courant, comparativement à l'**équivalence**, qui reformule en employant un autre terme ou groupe de mots équivalent qui peut être plus connu, plus concret.

Par exemple, le terme « infarctus », issu du langage médical et fréquemment employé par le grand public, est un terme d'un niveau de langue technique, tandis que « crise cardiaque » est une expression d'un niveau de langue courant (cas de **double dénomination**).

Par contre, le terme « plasma » fait partie de la langue usuelle, mais il n'est pas nécessairement connu de tous. En y apposant l'expression plus concrète « liquide sanguin », le rédacteur ou la rédactrice s'assure de bien se faire comprendre (cas d'**équivalence**).

Quant à la **coréférence**, c'est la reformulation du terme-pivot par l'utilisation d'un autre coréférent (mot ou expression équivalente) pour éviter les répétitions ou pour mieux faire comprendre.

La différence, avec l'**équivalence**, provient du fait qu'on vise d'abord à éviter les répétitions d'un même terme, tout en conservant le même sens.

### **Verbes types présents dans d'autres catégories**

D'après Loffler-Laurian (1983 : 16), le verbe type de la catégorie **dénomination** est APPELER. Or nous avons trouvé ce verbe non seulement dans cette catégorie mais aussi dans la **caractérisation**, l'**équivalence** et la **définition complète**. Toutefois, il est possible de les distinguer.

Pour la **dénomination**, le verbe appeler sert à dénommer une réalité particulière : « [...] une sorte de poste de relais, **appelé** le corps genouillé, [...] » (« Comment le cerveau fabrique des images » et « On peut sauver des vues », *Québec Science*, p. 2). Ainsi, le corps genouillé = une sorte de poste de relais, mais tous les postes de relais ≠ corps genouillé.

Pour la **caractérisation**, ce verbe peut introduire un ou plusieurs caractères du terme technique : « [...] un processus particulier de la membrane **appelé** transport actif [...] » (« La cellule », *Biologie générale 301*, p. 4). Ainsi, le transport actif = un processus particulier de la membrane.

Pour l'**équivalence**, ce verbe permet, à l'occasion, de donner un autre mot ou terme équivalent : « [...] son milieu interne **appelé** cytoplasme. » (« La cellule », *Biologie générale 301*, p. 4). Ainsi, milieu interne = cytoplasme, et cytoplasme = milieu interne.

Enfin, pour la **définition complète**, le verbe appeler peut être utilisé pour définir le terme ou l'objet : « On **appelle** allèles les informations d'un couple de facteurs qui déterminent les deux aspects possibles d'un trait héréditaire donné. » (« La génétique », *Biologie générale 301*). Ainsi, on présente ici la définition du terme **allèles**.

Toujours selon cette auteure, le verbe « être » est fréquemment utilisé pour établir une **équivalence**. Nous avons, pour notre part, noté l'emploi de ce verbe non seulement dans cette catégorie, mais aussi dans celles de type **définition partielle**, **définition complète** et **caractérisation**.

Pour l'**équivalence**, le verbe être est employé pour donner un autre mot ou terme équivalent : « [...] la cornée **est** cette mince couche de tissus qui couvre le globe oculaire. » (« Comment le cerveau fabrique des images » et « On peut sauver des vues », *Québec Science*). Ainsi, cornée = mince couche de tissus qui couvre le globe oculaire, et mince couche de tissus qui couvre le globe oculaire = cornée.

Pour la **définition partielle**, ce verbe peut servir à définir l'un ou l'autre aspect de l'objet ou du terme : « **PARP est** l'une de ces molécules dotées "de doigts de zinc". » (« Apoptose : le suicide des cellules enfin compris », *Québec Science*, p. 5 [encadrés]).

Pour la **définition complète**, le verbe être est employé, occasionnellement, pour définir le terme ou l'objet afin de le faire comprendre précisément : « Le **gamète est** une cellule sexuelle, reproductrice, mâle ou femelle. » (« La cellule », *Biologie générale 301*, p. 13).

Enfin, pour la **caractérisation**, ce verbe peut fournir un ou plusieurs caractères du terme technique : « [...] chacune des efficacités synaptiques **est symétrique**, [...] » (« Les réseaux de neurones », *Interface*, p. 7).

Il importe de mentionner que la colonne **Réf.** (pour références) de la fiche écran renvoie à notre numérotation des articles : **texte 1 et encadrés 1a** : « Virus et bactéries : pourquoi ils nous menacent », *Québec Science*; **texte 2 et encadrés 2a** : « Apoptose : le suicide des cellules enfin compris », *Québec Science*; **texte 3 et encadrés 3a** : « Comment le cerveau fabrique des images » et « On peut sauver des vues », *Québec Science*; **texte 4 et encadrés 4a** : « Le sida : une épidémie comme les autres? », *Interface*; **texte 5 et encadrés 5a** : « La médecine des gènes », *Interface*; **texte 6 et encadrés 6a** : « Les réseaux de neurones », *Interface*; **texte 7** : « La cellule », *Biologie générale 301*; **texte 8** : « Les Monères », *Biologie générale 301*; **texte 9 et encadrés 9a** : « La génétique », *Biologie générale 301*.

Quant à la pagination, elle se rapporte à chacun des textes dactylographiés, présentés à l'annexe A, et non à l'article ou au chapitre original.

## Exemple de fiche écran

Mot ou sens technique reformulé	Procédé utilisé	Moyen linguistique et relateur utilisés	Contexte	Réf.	P.	Remarques, commentaires
infection invasive à streptocoque A	double dénomination	terme familier (placé entre guillemets) mis en apposition	[...] infection invasive à streptocoque A, la bactérie « dévoreuse de chair », [...]	1	2	terme reformulé de niveau de langue familier, mis entre guillemets
hémophilie	coréférence	terme coréférent placé dans une phrase juxtaposée	(...) l'hémophilie offre des perspectives intéressantes. La maladie (...)	5	7	Reprise du terme technique par un terme coréférent, placé dans une autre phrase, dans un contexte immédiat.
apoptose	définition complète	désignant (placé dans une paraphrase en apposition)	[...] apoptose, d'un mot grec désignant le processus par lequel un arbre se sépare de ses feuilles.	2	1	définition complète du terme technique, élément d'étymologie
atrophie spinale infantile	définition partielle	définition faisant l'objet d'une paraphrase en apposition	[...] l'atrophie spinale infantile, la cause la plus fréquente de mortalité héritée chez les nourrissons.	2	4	définition partielle du terme technique en mettant l'accent sur une cause
« gardienne du génome »	dénomination	appelée	[...] une protéine appelée « gardienne du génome ».	2a	4	emploi du verbe appeler suivi de la reformulation placée entre guillemets
ALVINN	équivalence	expression équivalente placée entre parenthèses	ALVINN (pour Autonomous Land Vehicule in a Neural Network) [...]	6a	5	ALVINN est un sigle
foie	caractérisation	caractère inséré dans une paraphrase en apposition	[...] dans le foie, un tissu qui ne se prête pas bien à la thérapie génique.	5	3	reprise du terme foie par « un tissu »
organoïdes artificiels	analyse	composés de	[...] organoïdes artificiels composés de matériel inerte et de cellules contenant le gène correcteur.	5	3	La reformulation fournit les deux composantes des organoïdes artificiels.

## Exemple de fiche écran

Mot ou sens technique reformulé	Procédé utilisé	Moyen linguistique et relateur utilisés	Contexte	Réf.	P.	Remarques, commentaires
supercalculatrice	fonction	capable d'	[...] qu'une supercalculatrice capable seulement d'exécuter un programme déterminé par l'utilisateur.	6	2	La reformulation met l'accent sur la fonction limitée (possibilité) du terme technique.
réseau à trois couches	reformulation énumérative de type liste exhaustive	liste exhaustive placée entre parenthèses	[...] réseau à trois couches (l'entrée, la sortie et une couche d'unités cachées) [...]	6a	3	La reformulation fournit une liste exhaustive des 3 éléments fondamentaux se rapportant au terme technique.
infections classiques	reformulation énumérative de type exemplification	comme	[...] infections classiques comme la peste et le choléra [...]	4	5	La reformulation présente 2 exemples connus
masse d'ADN circulaire	exemple (analogie)	sorte de (placé en apposition)	[...] masse d'ADN circulaire, sorte de chromosome primitif, [...]	7	10	La reformulation offre un exemple plus concret
matériel génétique ou les gènes	exemple (comparaison)	c'est un peu comme	Le matériel génétique ou les gènes, c'est un peu comme les plans et devis d'un organisme vivant [...]	5	1	La reformulation offre un exemple concret

## CHAPITRE 2

### FRÉQUENCE ET VARIÉTÉ DES PROCÉDÉS DE REFORMULATION DANS LES TROIS TYPES DE DISCOURS SPÉCIALISÉS

Selon l'hypothèse retenue, plus le texte scientifique est vulgarisé, plus l'auteur ou l'auteure fait appel à la reformulation et varie les procédés qu'il utilise. Dans le but de confirmer, d'infirmer ou de nuancer cette hypothèse, nous avons analysé les neuf textes de notre corpus selon la méthodologie exposée ci-dessus. Les données recueillies ont été regroupées en tenant compte des deux variables suivantes :

- le nombre de mots ou sens techniques reformulés et non reformulés par texte;
- la fréquence et la variété des divers procédés utilisés pour chacun des textes étudiés.

Dans un premier temps, nous présentons la compilation des résultats obtenus pour le discours scientifique semi-vulgarisé (trois articles d'*Interface*); puis pour le discours scientifique vulgarisé (trois articles de *Québec Science*) et, enfin, pour le discours scientifique pédagogique (trois chapitres tirés de trois fascicules constituant le manuel scolaire *Biologie générale 301*). Nous avons en outre fait une analyse distincte pour le texte et les encadrés.

## 2.1 Fréquence et variété des procédés de reformulation dans le discours scientifique semi-vulgarisé (*Interface*)

Selon notre hypothèse, le discours scientifique semi-vulgarisé devrait être celui qui contient le moins de reformulations et la plus faible variété de procédés parmi les trois types de discours que nous avons analysés.

Comme suite au repérage et à l'analyse des termes techniques utilisés dans les trois textes de la revue *Interface*, nous obtenons les données suivantes.

**Tableau 2.1**

Nombre de mots ou sens techniques reformulés dans <i>Interface</i>								
Description	Texte 4		Texte 5		Texte 6		Totaux	
	nombre	%	nombre	%	nombre	%	nombre	%
Nombre de mots ou sens techniques reformulés	65	76%	56	88%	99	93%	220	86%
Nombre de mots ou sens techniques non reformulés	20	24%	8	13%	7	7%	35	14%
<b>Totaux</b>	<b>85</b>	<b>100%</b>	<b>64</b>	<b>100%</b>	<b>106</b>	<b>100%</b>	<b>255</b>	<b>100%</b>
Description	Encadrés 4a		Encadrés 5a		Encadrés 6a		Totaux	
	nombre	%	nombre	%	nombre	%	nombre	%
Nombre de mots ou sens techniques reformulés	30	75%	7	88%	26	93%	63	83%
Nombre de mots ou sens techniques non reformulés	10	25%	1	13%	2	7%	13	17%
<b>Totaux</b>	<b>40</b>	<b>100%</b>	<b>8</b>	<b>100%</b>	<b>28</b>	<b>100%</b>	<b>76</b>	<b>100%</b>
Texte 4 et encadrés 4a = « Le sida : une épidémie comme les autres ? » Texte 5 et encadrés 5a = « La médecine des gènes » Texte 6 et encadrés 6a = « Les réseaux de neurones »								

Selon le tableau 2.1, on remarque, pour l'ensemble des trois textes, l'emploi par les rédacteurs de 331 termes techniques (255 pour les textes et 76 pour les encadrés). De ces 331 termes, 283 ont fait l'objet d'une reformulation, soit 85,5 % des termes. L'observation des statistiques pour chacun des trois textes et des trois encadrés d'*Interface* nous permet de constater un taux de reformulation qui varie de 75 % à 93 % entre les textes. En observant les données de plus près, nous remarquons une certaine distorsion pour ce qui est du premier texte, où seulement 76 % des termes du texte ont été reformulés, comparativement à 88 % et 93 % pour les deux autres textes ainsi que pour leurs encadrés. Quant au pourcentage de reformulation pour chacun des textes et de leurs encadrés respectifs, il ne diffère au plus que de 1 %. Nous pouvons donc souligner le fait que l'activité de reformulation est constante tout au long d'un même article.

Par ailleurs, les figures 2.1, 2.2 et 2.3 présentent des histogrammes illustrant la fréquence et la variété des procédés de reformulation employés dans chacun des textes d'*Interface*.

Figure 2.1

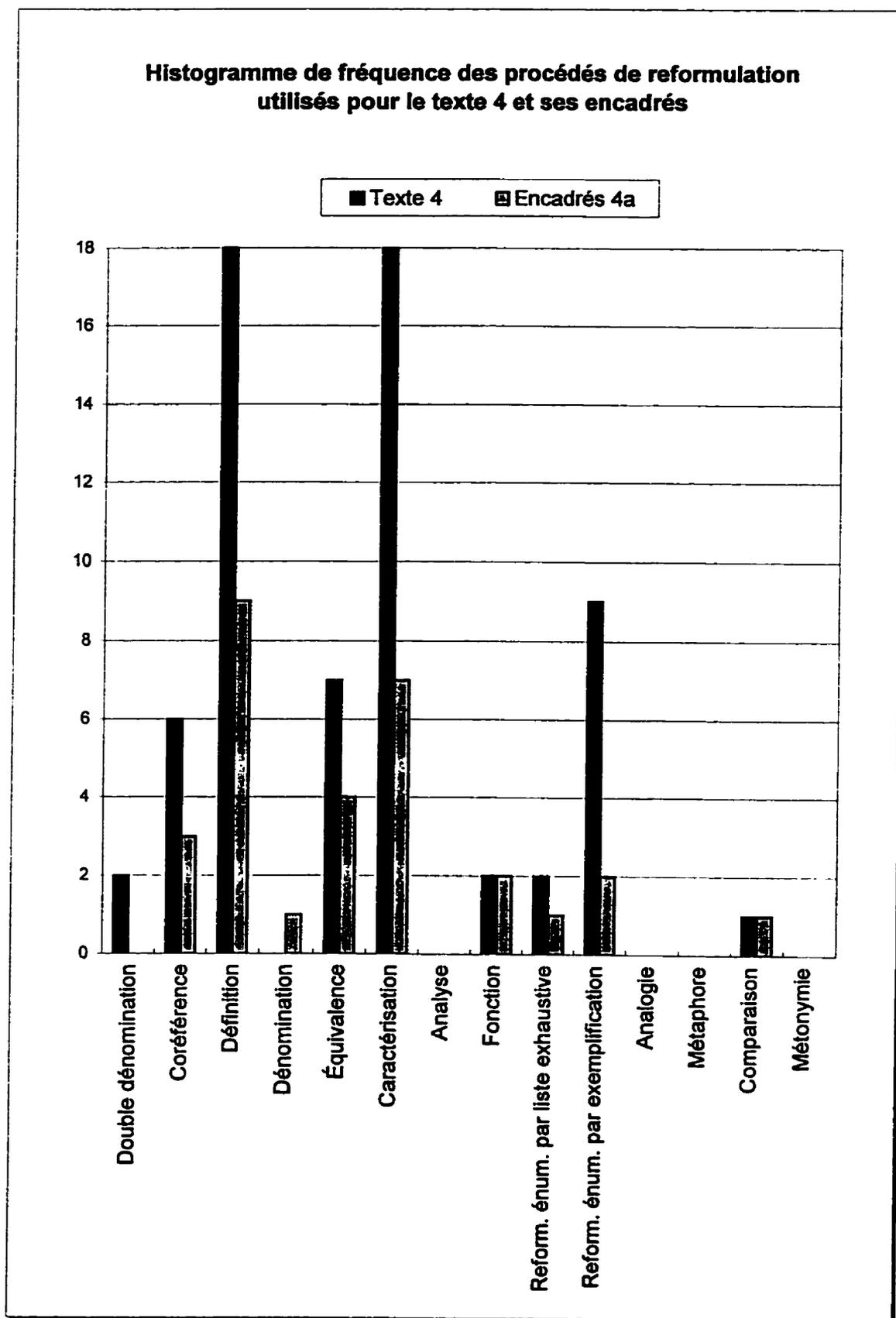


Figure 2.2

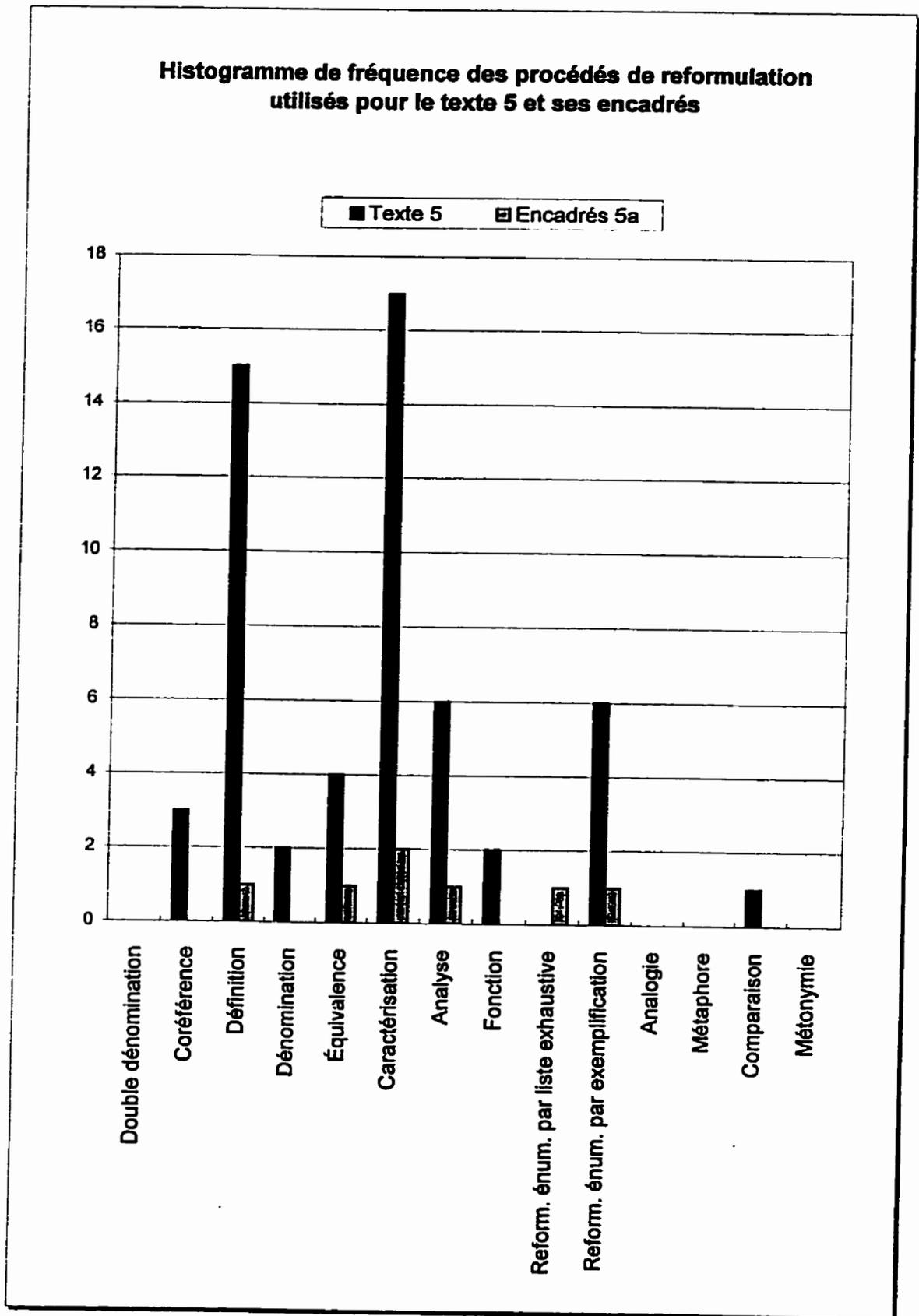
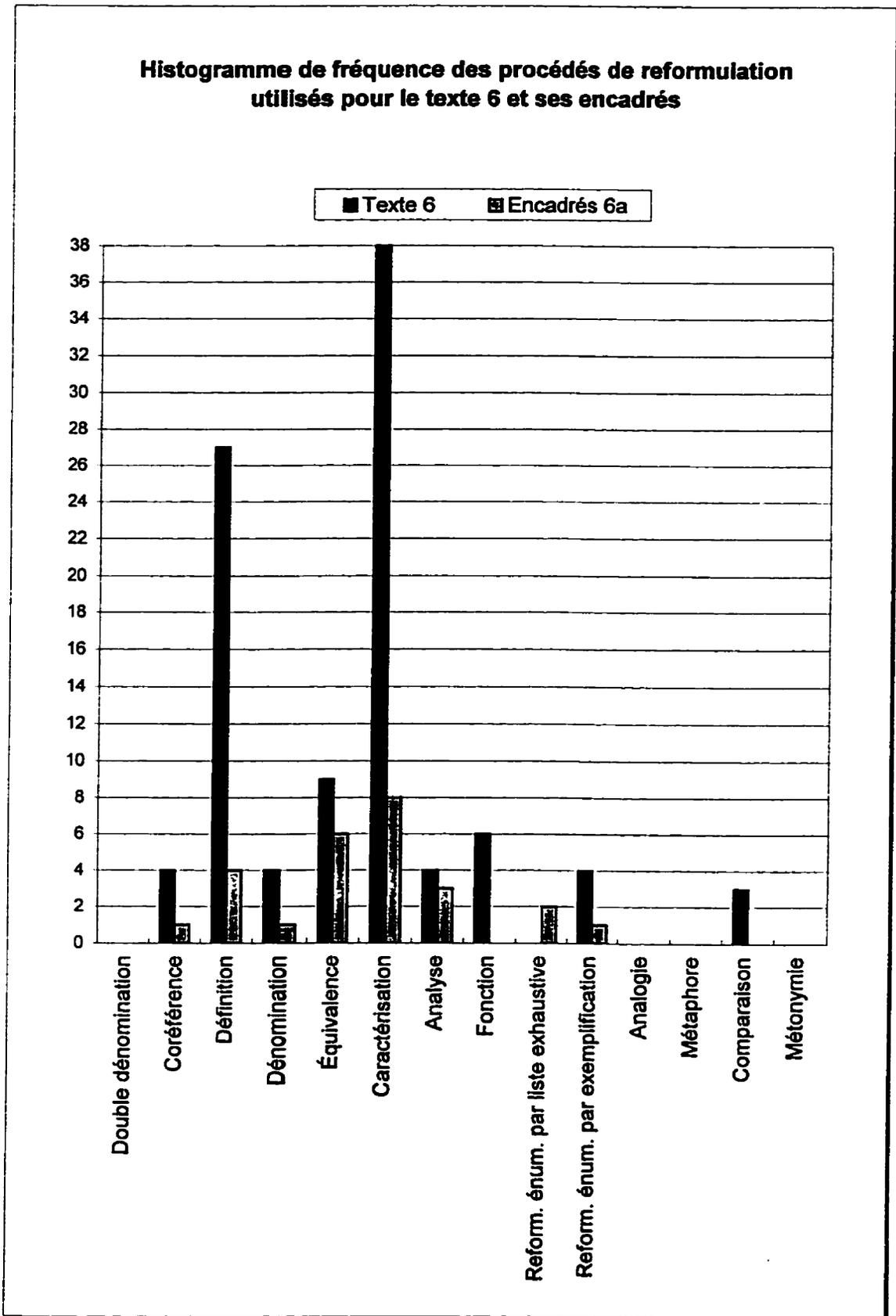


Figure 2.3



L'auteur de l'article numéro 4 a reformulé au total 95 termes techniques. Parmi tous les procédés de reformulation employés, deux de ceux-ci totalisent à eux seuls 52 de ces 95 reformulations. Il s'agit de la **définition** (27) et de la **caractérisation** (25). Le rédacteur a aussi utilisé les reformulations de type énumérative par exemplification (11), équivalence (11), coréférence (9), fonction (4), énumérative par liste exhaustive (3), comparaison (2), double dénomination (2) et dénomination (1). L'auteur n'a fait usage d'aucune reformulation de type analogie, analyse, métaphore ou métonymie.

Dans le texte numéro 5, on note 63 termes reformulés. Les principaux procédés utilisés sont, dans l'ordre, la **caractérisation** (19), la **définition** (16), l'analyse (7), la reformulation énumérative par exemplification (7) et l'équivalence (5). Les autres procédés qui ont été peu utilisés sont les suivants : coréférence (3), dénomination (2), fonction (2), comparaison (1) et reformulation énumérative par liste exhaustive (1). Enfin, l'auteur n'a employé aucune reformulation de type analogie, double dénomination, métaphore et métonymie.

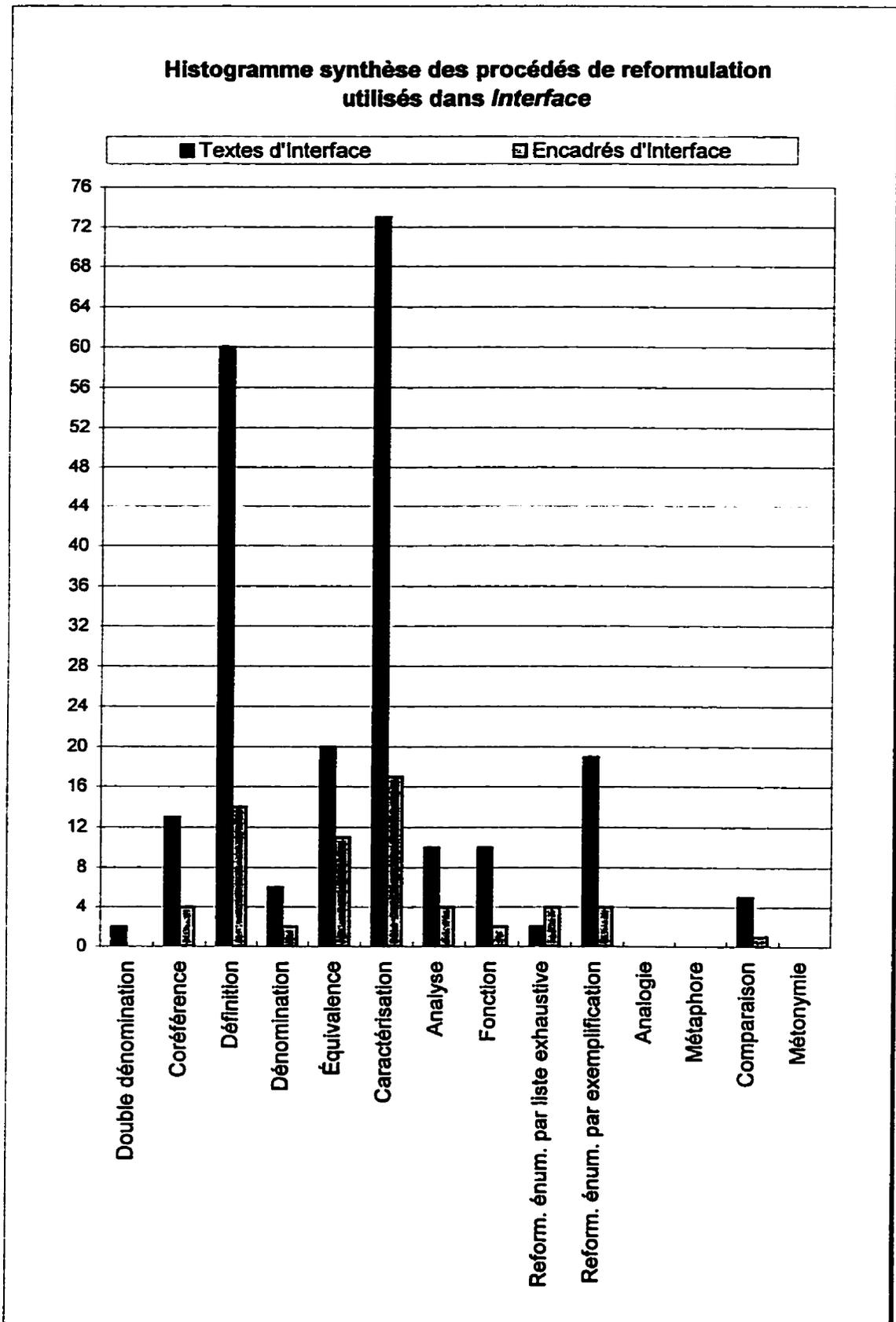
On observe sensiblement les mêmes procédés dans le texte numéro 6; en effet, la **caractérisation** (46), la **définition** (31), l'équivalence (15), l'analyse (7), la fonction (6), la coréférence (5), la dénomination (5) et la reformulation énumérative par exemplification (5) sont les procédés les plus fréquemment employés par les rédacteurs pour reformuler quelque 125 termes techniques. Les autres procédés qui sont peu employés par l'auteur sont les reformulations de type comparaison (3) et énumérative par liste exhaustive (2). L'analogie, la double dénomination, la métaphore et la métonymie n'ont été aucunement utilisées par l'auteur.

En somme, comme l'illustre la figure 2.4, dans l'ensemble des trois textes analysés, les procédés de reformulation privilégiés par les rédacteurs d'*Interface* sont la

**caractérisation (90) et la définition (74). Ces procédés totalisent à eux seuls 164 (soit 58 %) des 283 reformulations relevées dans les trois textes.**

Parmi les autres procédés utilisés avec une certaine fréquence, mentionnons l'équivalence (31), la reformulation énumérative par exemplification (23), la coréférence (17), l'analyse (14) et la fonction (12). Les autres procédés qui ont été les moins utilisés sont la dénomination (8), la comparaison (6), la reformulation énumérative par liste exhaustive (6) et la double dénomination (2). Nous observons enfin que les auteurs d'*Interface* n'ont pas fait usage de l'analogie, de la métaphore, ni de la métonymie.

Figure 2.4



## 2.2 Fréquence et variété des procédés de reformulation dans le discours scientifique vulgarisé (*Québec Science*)

L'observation des analyses des trois articles de *Québec Science* nous permet déjà de cerner un certain nombre de différences entre nos deux premiers types de discours scientifiques.

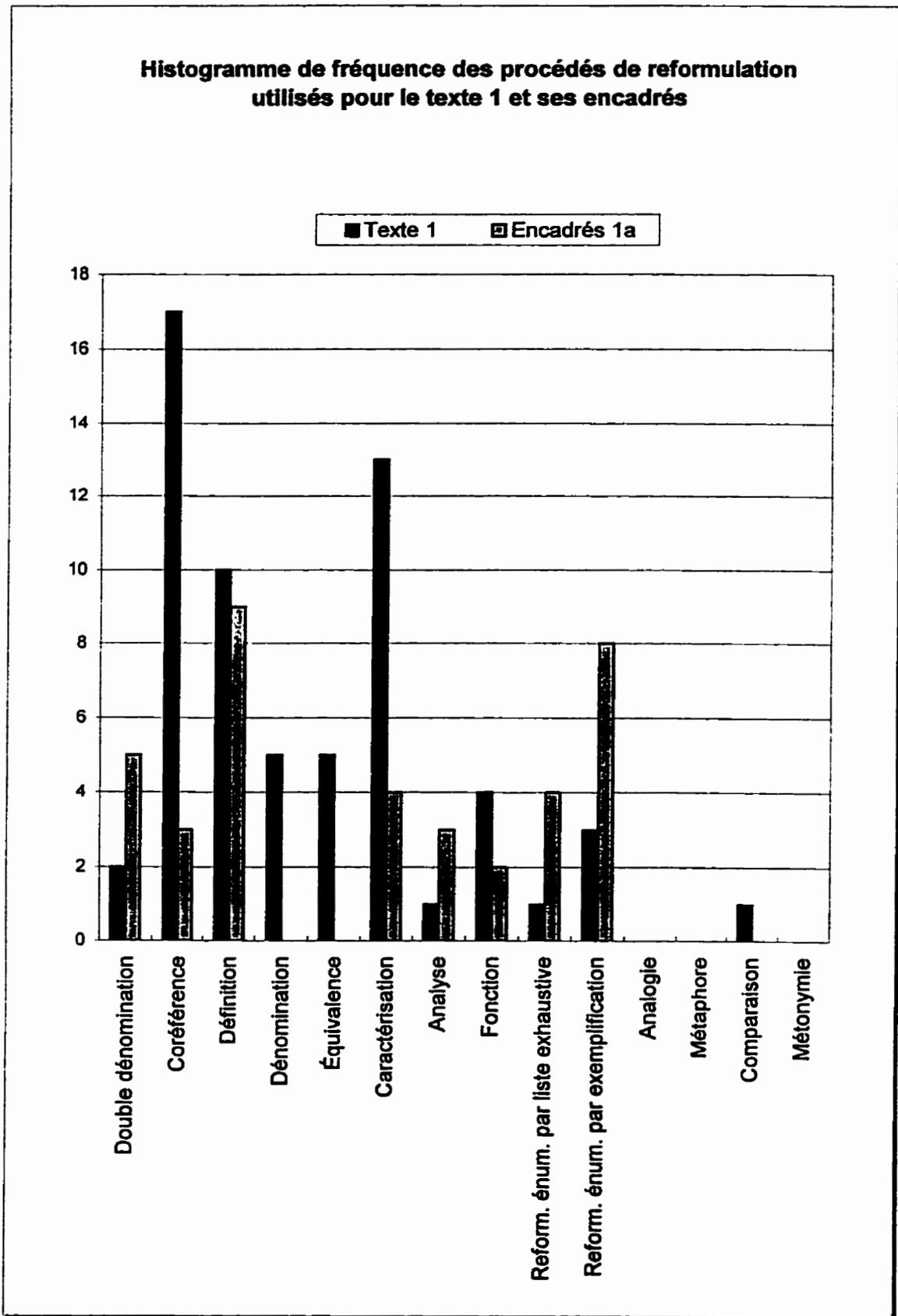
Le tableau 2.2 ainsi que les figures 2.5, 2.6, 2.7 et 2.8 présentent une synthèse des données recueillies.

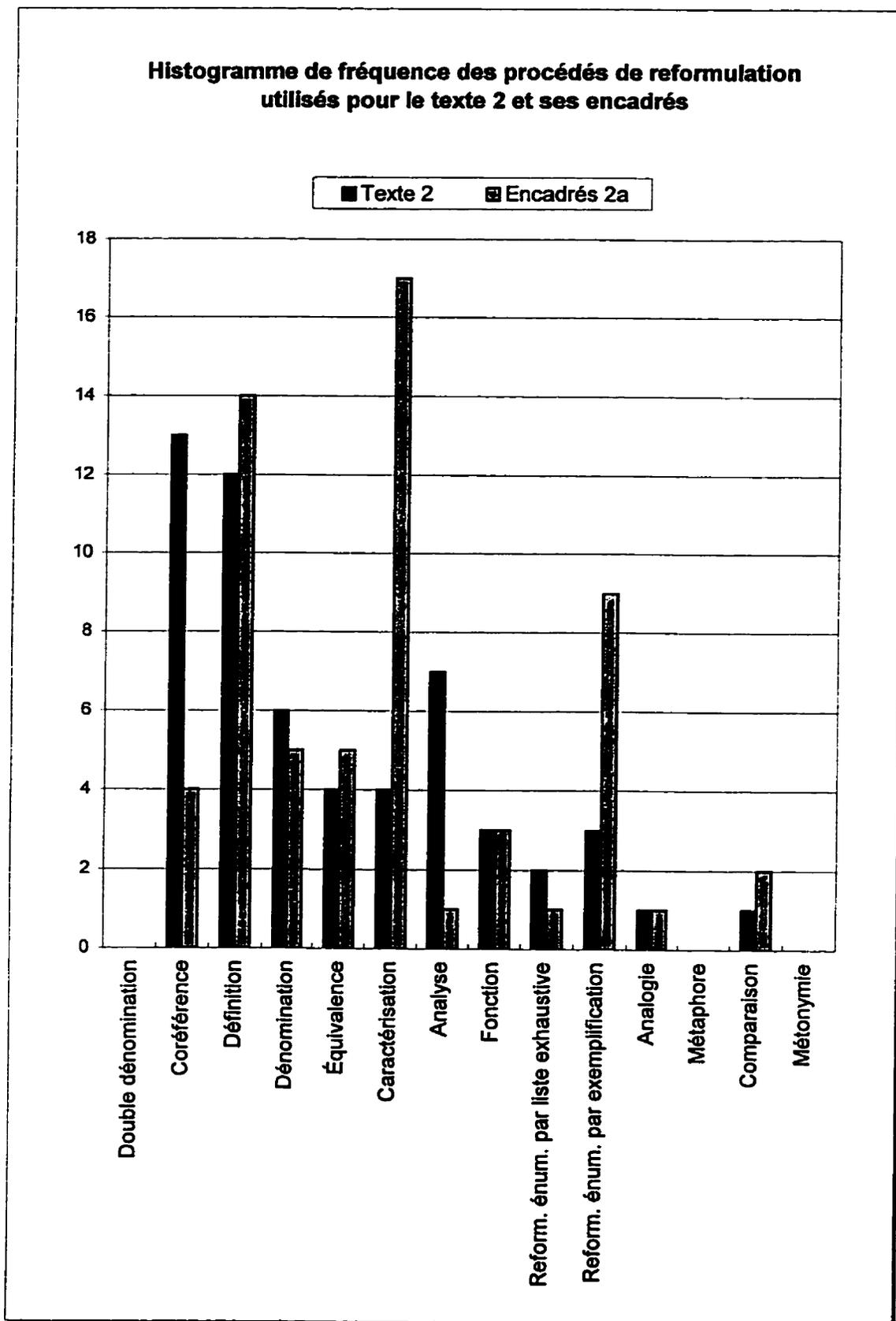
**Tableau 2.2**

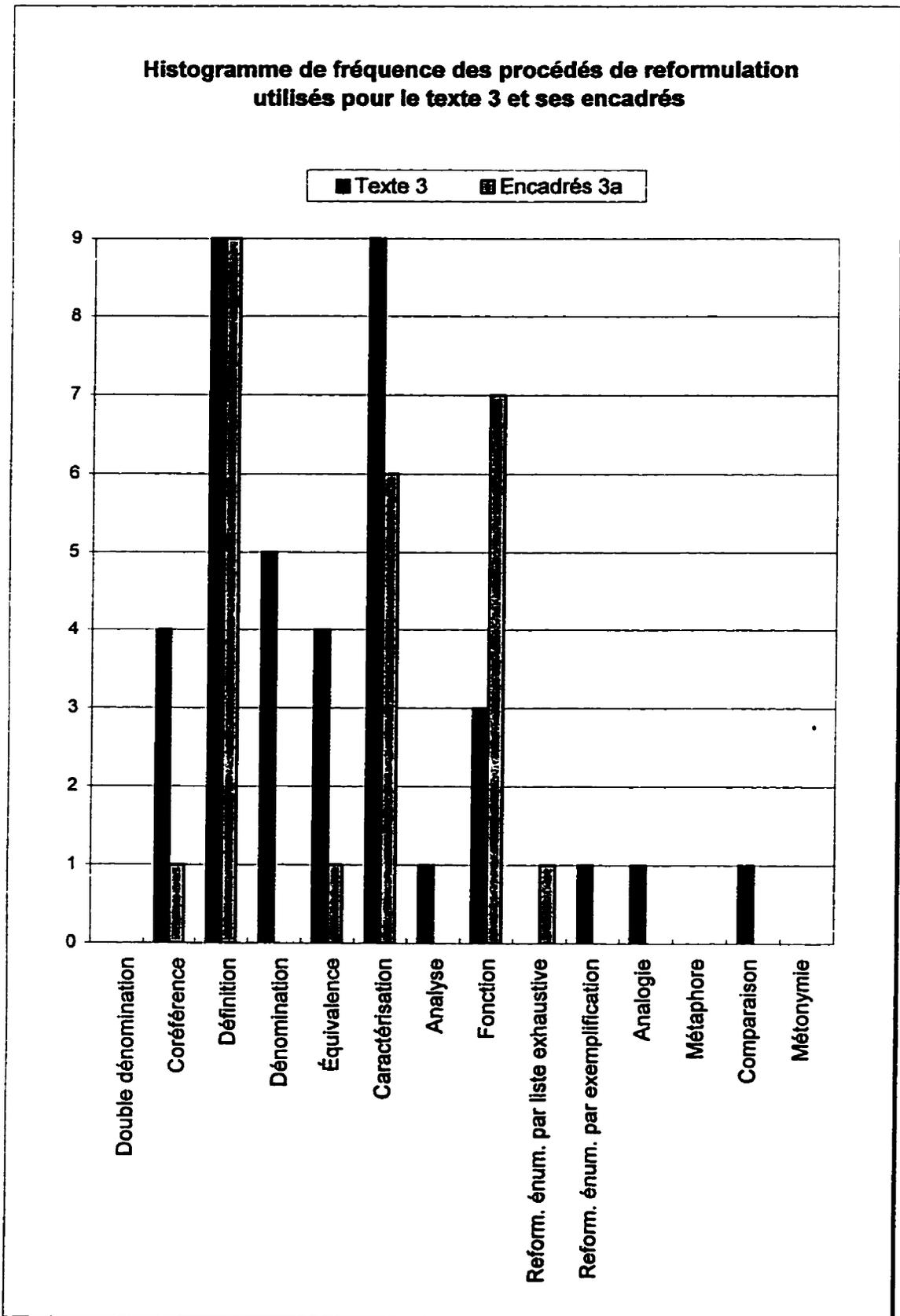
<b>Nombre de mots ou sens techniques reformulés dans <i>Québec Science</i></b>								
<b>Description</b>	<b>Texte 1</b>		<b>Texte 2</b>		<b>Texte 3</b>		<b>Totaux</b>	
	<b>nombre</b>	<b>%</b>	<b>nombre</b>	<b>%</b>	<b>nombre</b>	<b>%</b>	<b>nombre</b>	<b>%</b>
<b>Nombre de mots ou sens techniques reformulés</b>	62	87%	56	92%	38	93%	156	90%
<b>Nombre de mots ou sens techniques non reformulés</b>	9	13%	5	8%	3	7%	17	10%
<b>Totaux</b>	71	100%	61	100%	41	100%	173	100%
<b>Description</b>	<b>Encadrés 1a</b>		<b>Encadrés 2a</b>		<b>Encadrés 3a</b>		<b>Totaux</b>	
	<b>nombre</b>	<b>%</b>	<b>nombre</b>	<b>%</b>	<b>nombre</b>	<b>%</b>	<b>nombre</b>	<b>%</b>
<b>Nombre de mots ou sens techniques reformulés</b>	38	93%	62	98%	25	93%	125	95%
<b>Nombre de mots ou sens techniques non reformulés</b>	3	7%	1	2%	2	7%	6	5%
<b>Totaux</b>	41	100%	63	100%	27	100%	131	100%
<p><b>Texte 1 et encadrés 1a = « Virus et bactéries : pourquoi ils nous menacent »</b>  <b>Texte 2 et encadrés 2a = « Apoptose : le suicide des cellules enfin compris »</b>  <b>Texte 3 et encadrés 3a = « Comment le cerveau fabrique des images » et « On peut sauver des vies »</b></p>								

D'après le tableau 2.2, les auteurs des trois articles de *Québec Science* ont reformulé au total 281 des 304 termes techniques utilisés dans les textes, soit 92,4 %. Les statistiques concernant cette revue révèlent un taux de reformulation variant de 87 % à 98 % entre les trois textes et les trois encadrés. Ceci dénote une grande homogénéité quant au nombre de termes reformulés, à la fois dans les textes et les encadrés. En observant d'un peu plus près chacun des textes, on ne remarque pas de distorsion : l'auteur du texte numéro 1 a reformulé 89,3 % des termes, celui du deuxième texte, 95,2 % et enfin, celui du troisième texte, 92,6 %. La comparaison des pourcentages entre les textes et leurs encadrés respectifs nous permet de constater un meilleur taux de reformulation dans les encadrés dans les deux premiers cas, et un taux de reformulation constant dans le troisième cas. Nous pouvons donc penser que le meilleur taux de reformulation des encadrés contribue à rendre plus efficace la vulgarisation des textes eux-mêmes.

Pour connaître les procédés les plus populaires auprès des rédacteurs de *Québec Science*, reportons-nous aux figures 2.5, 2.6, 2.7 (pour chacun des textes) et 2.8 (pour la synthèse des trois textes).







Parmi tous les procédés de reformulation utilisés pour reformuler les 100 termes techniques du texte numéro 1, nous observons quelques procédés privilégiés par le rédacteur, ce sont : la **coréférence** (20), suivie de la **définition** (19), de la **caractérisation** (17) et de la **reformulation énumérative par exemplification** (11). Les autres procédés les moins courants sont les reformulations de type double dénomination (7), fonction (6), dénomination (5), équivalence (5), énumérative par liste exhaustive (5), analyse (4) et comparaison (1). L'auteur ne fait pas usage d'analogie, de métaphore ni de métonymie.

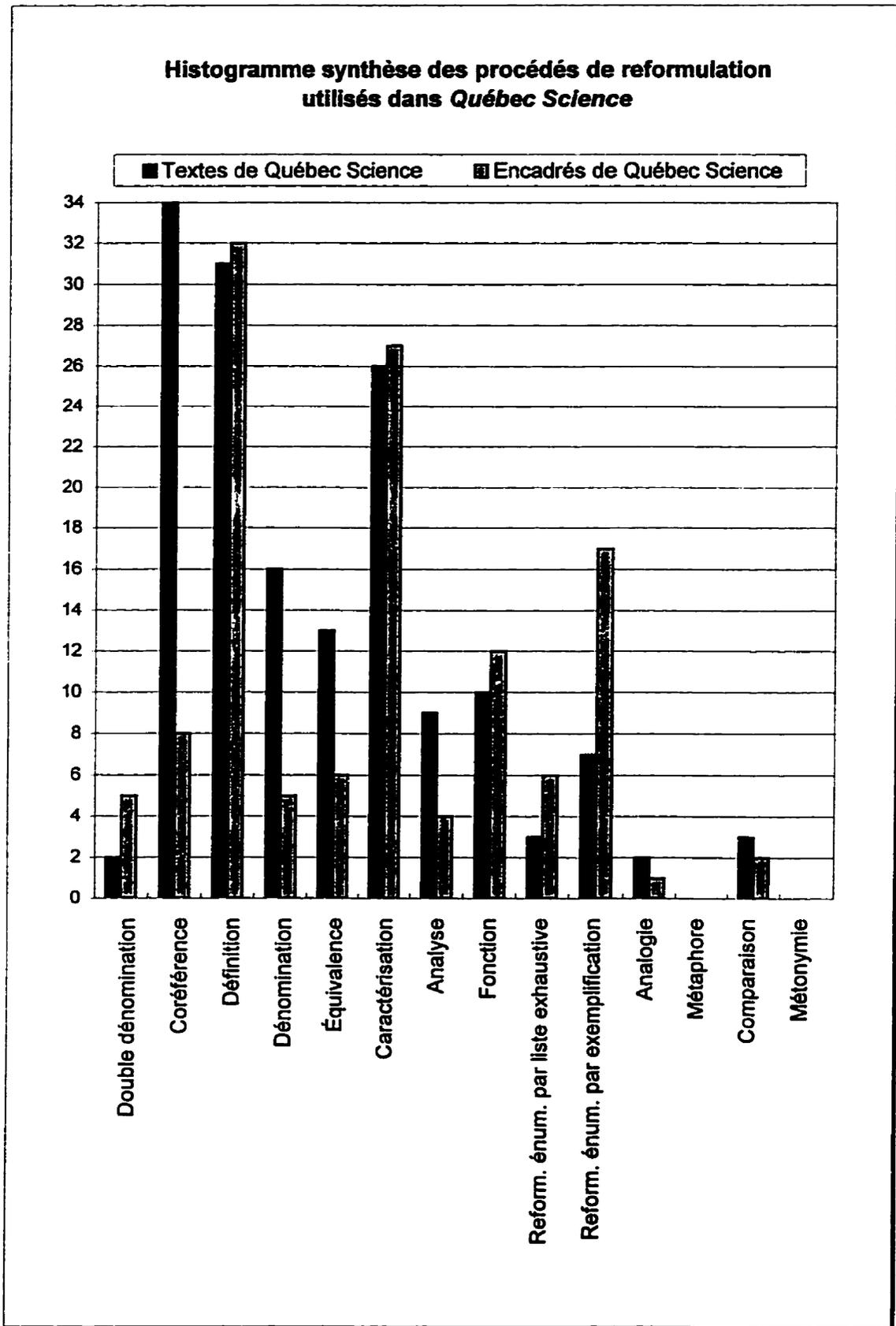
Pour le texte numéro 2, les procédés privilégiés sont sensiblement les mêmes. Nous retrouvons, dans l'ordre : la **définition** (26), la **caractérisation** (21), la **coréférence** (17), la **reformulation énumérative par exemplification** (12) et la dénomination (11), qui reformulent 87 des 118 termes techniques. Les procédés les moins courants sont : l'équivalence (9), l'analyse (8), la fonction (6), la comparaison (3) et l'analogie (2). Le rédacteur n'a pas employé la double dénomination, la métaphore ni la métonymie.

Quant au texte numéro 3, on observe une petite disparité : outre la **définition** (18) et la **caractérisation** (15), l'auteur a privilégié l'utilisation de la **fonction** (10) et emploie moins la reformulation énumérative par exemplification (1). Les autres procédés qui sont les moins utilisés sont : la coréférence (5), la dénomination (5), l'équivalence (5), l'analogie (1), l'analyse (1), la comparaison (1) et la reformulation énumérative par liste exhaustive (1). Enfin, la double dénomination, la métaphore et la métonymie n'ont pas été employées pour reformuler l'un ou l'autre des 63 termes techniques.

Dans l'ensemble des textes de *Québec Science* (voir la figure 2.8), nous observons trois principaux procédés qui caractérisent le discours de vulgarisation et qui représentent 158 des 281 termes reformulés (soit 56,2 %) : la **définition** (63), la **caractérisation** (53) et la **coréférence** (42). Quatre autres procédés ressortent, bien qu'ils soient nettement moins fréquents : la reformulation énumérative par exemplification (24), la fonction (22), la dénomination (21) et l'équivalence (19). Les procédés les moins utilisés sont, dans l'ordre : l'analyse (13), la reformulation énumérative par liste exhaustive (9), la double dénomination (7), la comparaison (5), l'analogie (3), la métaphore (aucune) et la métonymie (aucune).

En comparant ces données avec celles recueillies pour *Interface*, nous remarquons que les rédacteurs privilégient sensiblement les mêmes procédés. On note néanmoins une plus grande activité de reformulation dans *Québec Science* ainsi que des procédés plus variés.

Figure 2.8



### 2.3 Fréquence et variété des procédés de reformulation dans le discours scientifique pédagogique (*Biologie générale 301*)

En théorie, le discours scientifique pédagogique est celui qui doit enseigner à l'élève le vocabulaire et les notions scientifiques de son domaine d'étude. Il doit par conséquent accorder une importance toute particulière à la vulgarisation des mots et sens techniques qu'il renferme. Le tableau 2.3, de même que les figures 2.9, 2.10, 2.11 et 2.12, mettent en perspective les données que nous avons recueillies.

**Tableau 2.3**

<b>Nombre de mots ou sens techniques reformulés dans <i>Biologie générale 301</i></b>								
Description	Texte 7		Texte 8		Texte 9		Totaux	
	nombre	%	nombre	%	nombre	%	nombre	%
Nombre de mots ou sens techniques reformulés	155	75%	32	50%	39	93%	226	72%
Nombre de mots ou sens techniques non reformulés	53	25%	32	50%	3	7%	88	28%
<b>Totaux</b>	<b>208</b>	<b>100%</b>	<b>64</b>	<b>100%</b>	<b>42</b>	<b>100%</b>	<b>314</b>	<b>100%</b>
Description					Encadrés 9a		Totaux	
					nombre	%	nombre	%
Nombre de mots ou sens techniques reformulés					6	67%	6	67%
Nombre de mots ou sens techniques non reformulés					3	33%	3	33%
<b>Totaux</b>					<b>9</b>	<b>100%</b>	<b>9</b>	<b>100%</b>
<p>Texte 7 = « La cellule »            Texte 8 = « Les Monères »            Texte 9 et encadrés 9a = « La génétique »</p>								

Contrairement à ce que nous avons noté pour *Québec Science*, et dans une moindre mesure pour *Interface*, les trois chapitres analysés présentent une grande distorsion quant au nombre de termes reformulés. Les données varient de manière considérable d'un chapitre à l'autre. De fait, les taux de reformulation des trois textes et des encadrés de *Biologie générale 301* varient de 50 % à 93 %. Dans le texte numéro 7, les rédacteurs et la rédactrice ont reformulé 75 % des termes techniques utilisés; dans le texte numéro 8, la proportion est de 50 %, tandis que 88,2 % des termes ont été reformulés dans le texte numéro 9. Ainsi, des 323 termes techniques présents dans ces trois articles, 232 termes (soit 71,8 %) ont été reformulés. Ce pourcentage est étonnant si on le compare à ceux déjà recueillis pour *Québec Science* (92,4 %) et *Interface* (85,5 %). Cependant, l'une des raisons qui pourraient expliquer le faible taux de reformulation du texte 8 est que la matière qui y est traitée reprend en partie celle du texte numéro 7. Ainsi, les mots qui ont été reformulés dans le texte numéro 7 n'ont pas été reformulés dans le texte numéro 8, ce qui a pu affecter les statistiques dans ce dernier cas. Il est possible que le taux de reformulation du texte numéro 7 (75 %) soit, lui aussi, le signe que certains termes non reformulés l'ont été dans les chapitres précédents.

Le résultat de l'analyse des procédés de reformulation, que synthétisent les figures 2.9, 2.10, 2.11 (pour chacun des textes) et 2.12 (pour l'ensemble des trois textes), vient confirmer la présence de certaines disparités de ce discours par rapport aux deux précédents.

Figure 2.9

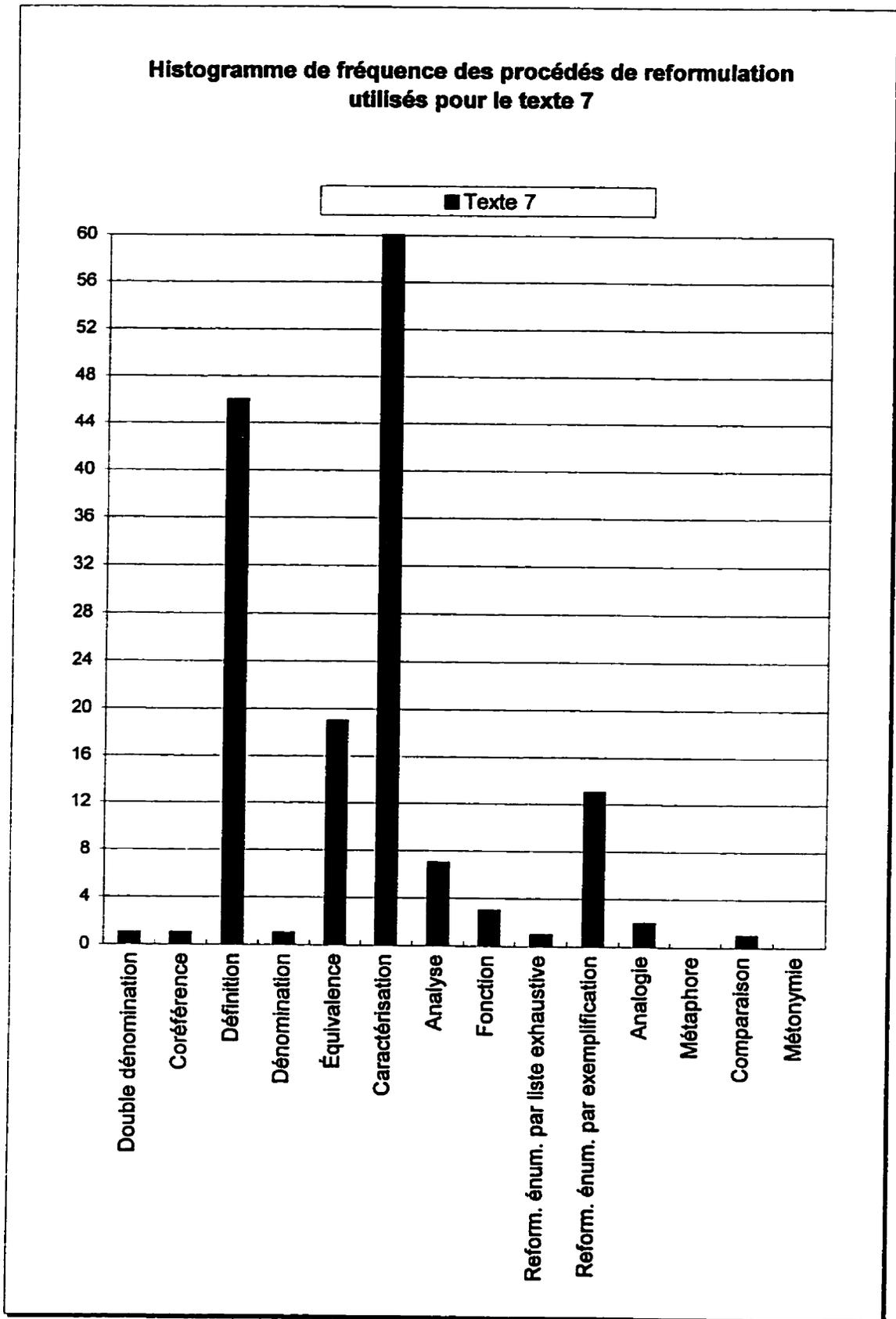


Figure 2.10

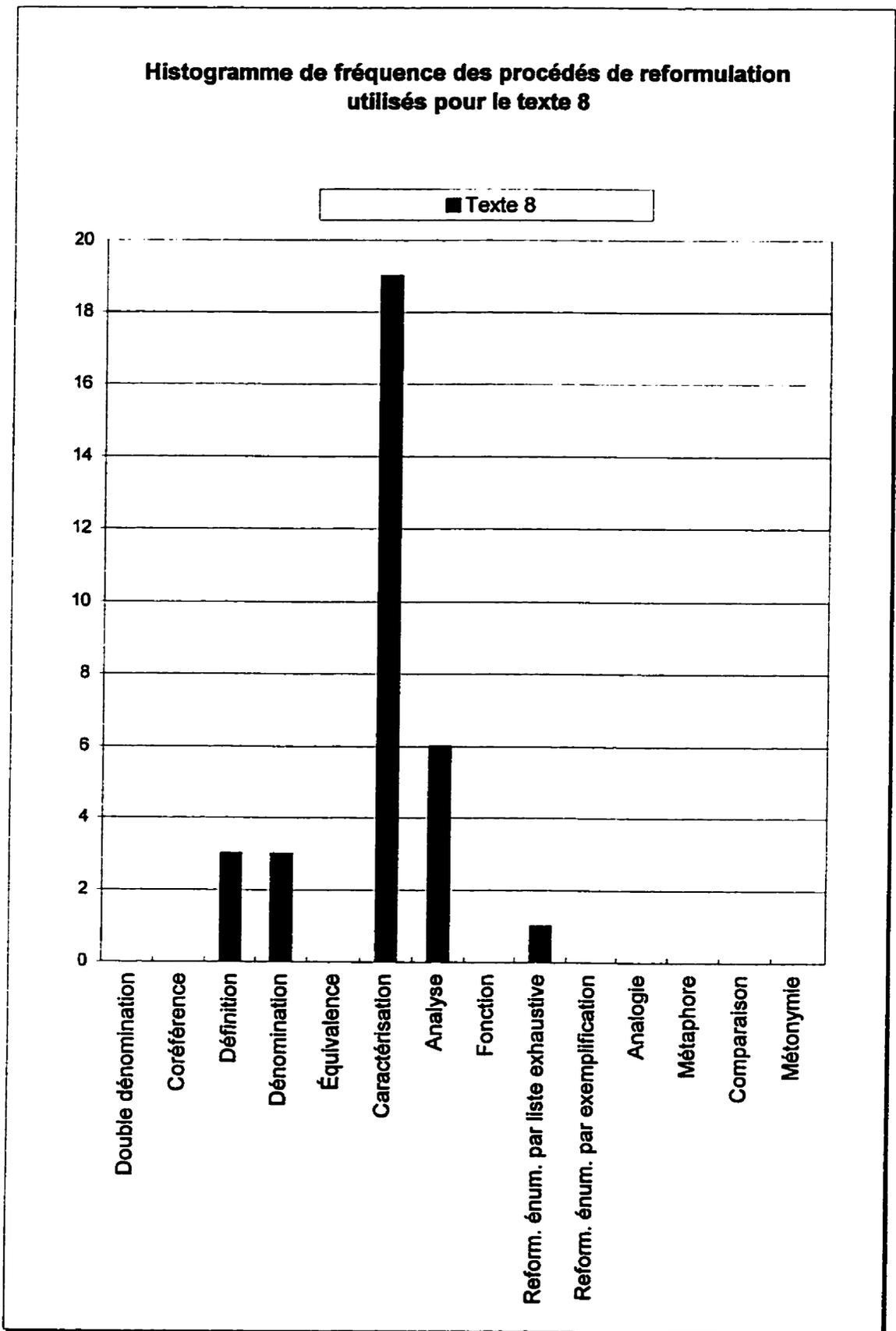
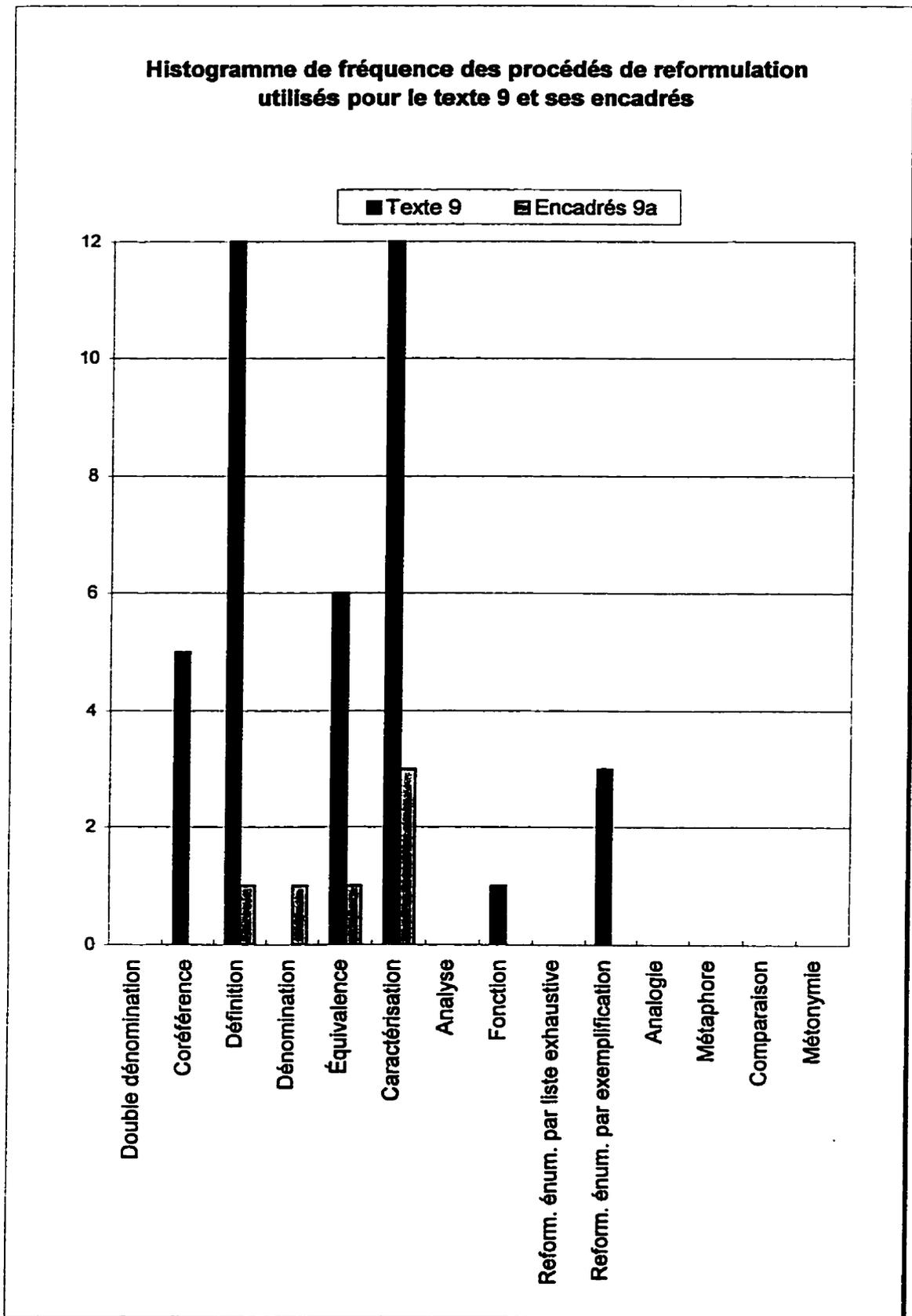


Figure 2.11



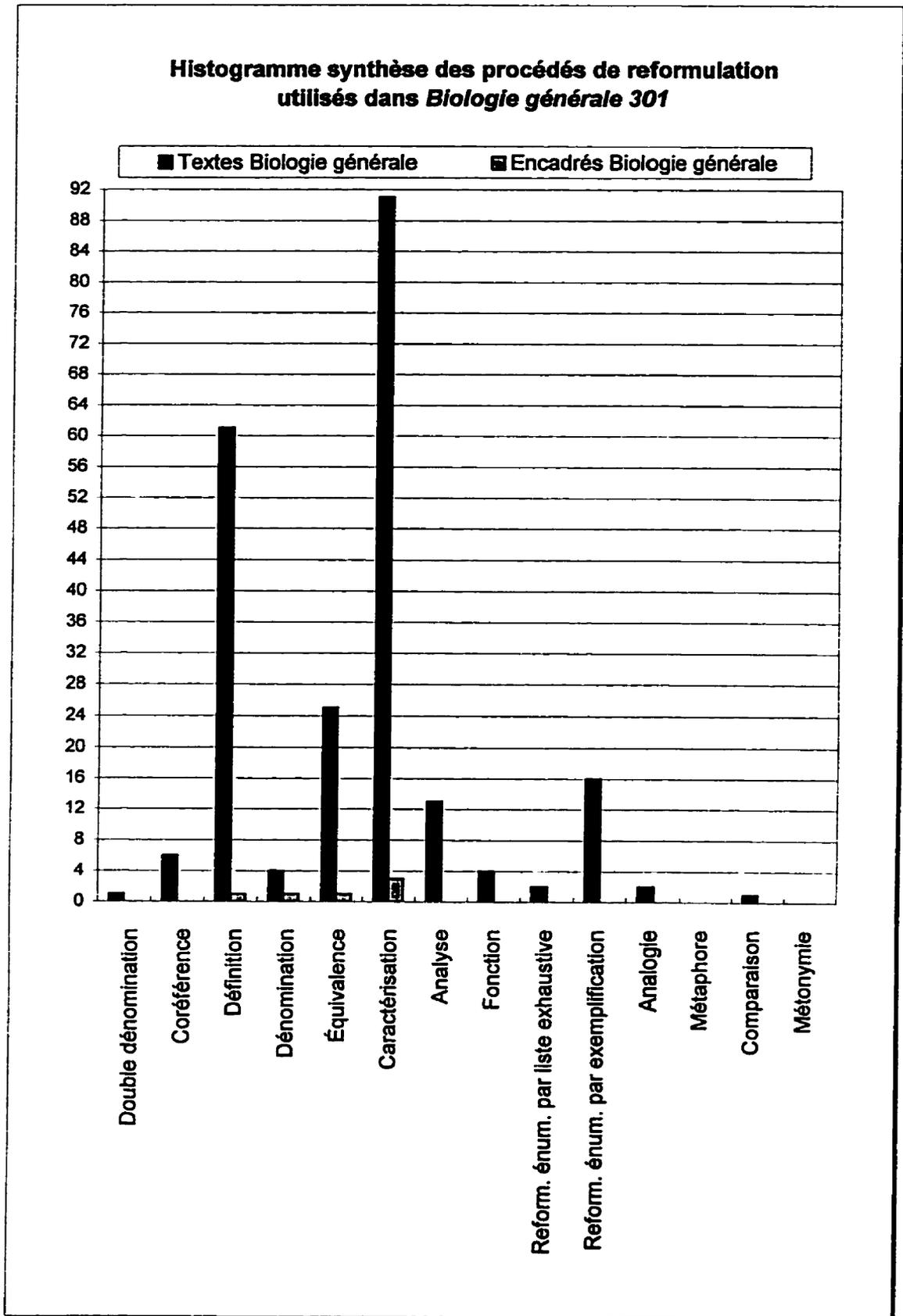
Parmi toutes les reformulations du texte numéro 7, celles de type **caractérisation** (60) et **définition** (46) sont nettement privilégiées; puis, dans une moindre mesure, les rédacteurs et la rédactrice emploient aussi l'équivalence (19), la reformulation énumérative par exemplification (13), l'analyse (7), la fonction (3), l'analogie (2), la comparaison (1), la coréférence (1), la dénomination (1), la double dénomination (1) et la reformulation énumérative par liste exhaustive (1) pour reformuler les 155 termes techniques. La métaphore et la métonymie n'ont pas été utilisées.

Le texte numéro 8 ne contient que 32 termes techniques reformulés, et ce, essentiellement par l'emploi de la **caractérisation** (19). Seulement quatre autres procédés sont utilisés par les rédacteurs et la rédactrice : l'analyse (6), la **définition** (3), la **dénomination** (3) et la reformulation énumérative par liste exhaustive (1). La double dénomination, la coréférence, l'équivalence, la fonction, la reformulation énumérative par exemplification, l'analogie, la métaphore, la comparaison et la métonymie ne sont pas employées dans ce texte.

On note enfin, dans le texte numéro 9, une prédominance pour les procédés de **caractérisation** (15) et de **définition** (13), qui servent à reformuler 28 des 45 termes techniques. Les autres procédés relevés dans ce texte sont : l'équivalence (7), la coréférence (5), la reformulation énumérative par exemplification (3), la **dénomination** (1) et la fonction (1). Les rédacteurs et la rédactrice n'emploient pas la double dénomination, l'analyse, la reformulation énumérative par liste exhaustive, l'analogie, la métaphore, la comparaison ni la métonymie.

Dans l'ensemble des trois chapitres de *Biologie générale*, selon la figure 2.12, deux procédés majeurs ressortent : la **caractérisation** (94) et la **définition** (62), et dans une proportion beaucoup moins grande, l'équivalence (26), la reformulation énumérative par exemplification (16) et l'analyse (13). Les procédés les moins utilisés sont, dans l'ordre, la coréférence (6), la dénomination (5), la fonction (4), l'analogie (2), la reformulation énumérative par liste exhaustive (2), la comparaison (1), la double dénomination (1), la métaphore (aucune) et la métonymie (aucune).

Figure 2.12



## Conclusion

En conclusion, disons d'abord que notre corpus d'analyse (neuf textes scientifiques tirés de trois types de discours scientifiques différents) est marqué par la présence d'un nombre à peu près équivalent de termes techniques, soit 331 dans le premier bloc (*Interface*), 304 dans le deuxième (*Québec Science*) et 323 dans le troisième (*Biologie générale 301*). Cela révèle que notre corpus d'analyse est relativement homogène.

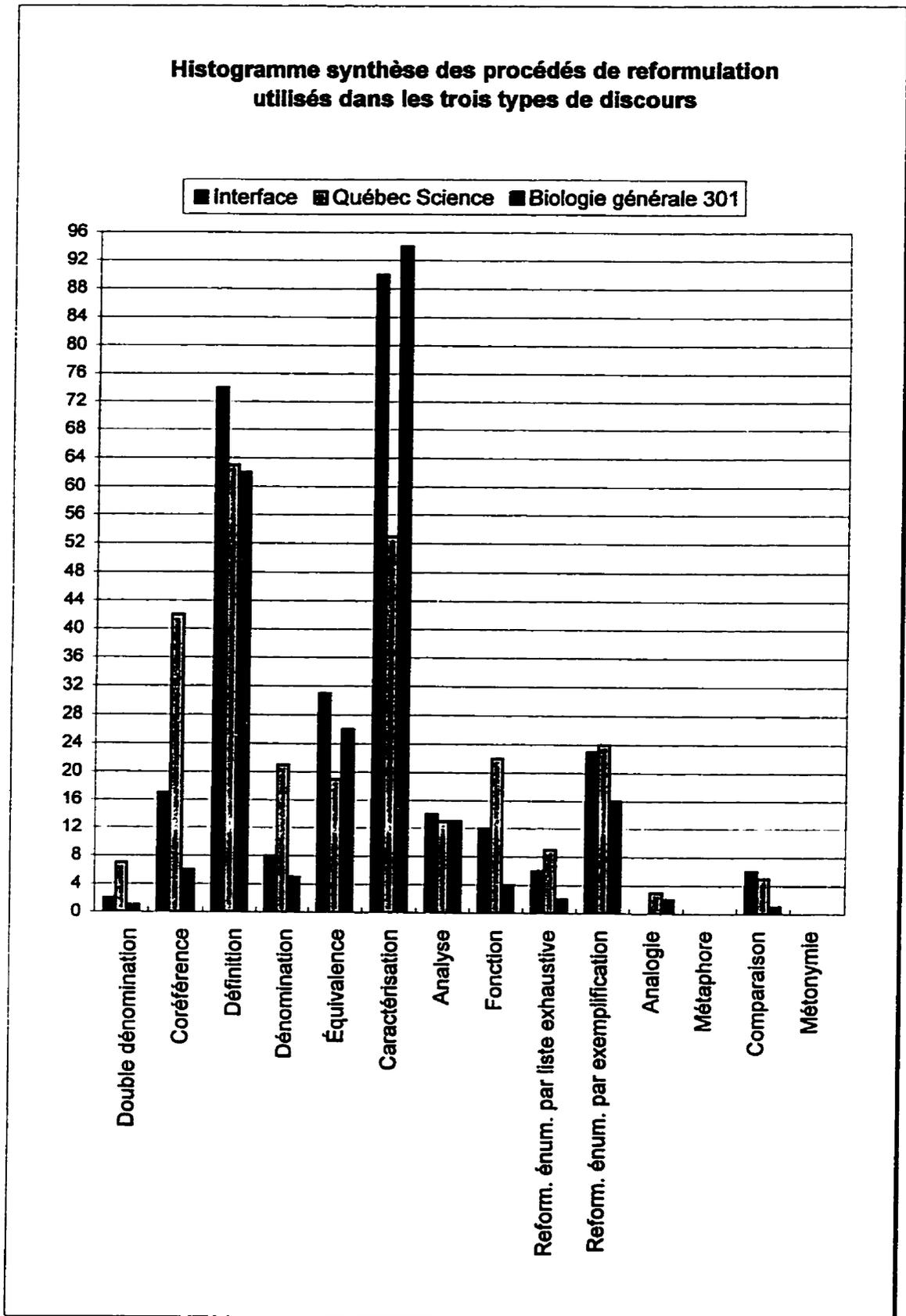
Selon l'hypothèse retenue, plus le texte scientifique est vulgarisé, plus l'auteur fait appel à la reformulation et varie les procédés qu'il utilise. Les résultats de l'analyse de notre corpus ne nous permettent pas de confirmer cette hypothèse.

De fait, nous constatons que le discours semi-vulgarisé (*Interface*, dans ce cas-ci) renferme 85,5 % des termes reformulés, comparativement à 92,4 % dans le discours vulgarisé (*Québec Science*, le cas échéant), et 71,8 % dans le discours scientifique pédagogique (*Biologie générale*, dans le cas présent). Selon notre hypothèse, les chapitres du manuel scolaire devraient être la partie de notre corpus qui renferme le plus grand nombre de reformulations.

Pour ce qui est de la fréquence et de la variété des divers procédés utilisés dans les trois types de discours (voir la figure 2.13), on note des points communs : l'importance accordée aux procédés propres à la caractérisation et à la définition, et dans une mesure moindre, à l'équivalence et à la reformulation énumérative par exemplification.

On remarque en outre que les chapitres du manuel *Biologie générale 301* occupent la dernière place en ce qui a trait à la variété des procédés utilisés. Ici encore, on se serait attendu au contraire.

Figure 2.13



## **CHAPITRE 3**

### **LES MOYENS LINGUISTIQUES ET LES RELATEURS PROPRES À CHAQUE PROCÉDÉ DE REFORMULATION**

L'un des objectifs visés par notre recherche est de dresser une typologie des moyens linguistiques et des relateurs utilisés pour chacun des procédés de reformulation.

Aussi, nous avons présenté d'une manière détaillée chacun des moyens linguistiques recensés dans notre corpus et nous y avons ajouté un exemple concret; nous avons en outre listé tous les relateurs utilisés par l'un ou l'autre rédacteur ou rédactrice. Nous avons de plus cru pertinent d'établir une distinction entre les moyens linguistiques et les relateurs propres à la définition complète et à la définition partielle.

Ce chapitre présente donc, pour chacun des seize procédés de reformulation, tous les moyens linguistiques employés par les rédacteurs et la rédactrice dans un but de vulgarisation. Il indique également, pour chaque moyen linguistique, sa fréquence d'utilisation dans les deux revues et dans le manuel scolaire. Tous les moyens linguistiques sont présentés du plus fréquent au moins fréquent, selon leur emplacement dans le texte : d'abord dans la même phrase que le terme-pivot, ensuite dans une autre phrase juxtaposée à celle où apparaît le terme-pivot, et, dans quelques cas, dans une autre phrase éloignée du terme-pivot.

En outre, pour chaque procédé, nous avons constitué une liste de tous les relateurs utilisés, classés dans des catégories telles : verbes ou groupes verbaux, adjectifs ou groupes adjectivaux, adverbes ou locutions adverbiales, signes typographiques, etc. Il importe de préciser que certains procédés n'ont pas de moyens linguistiques; ils ne présentent donc aucun relateur. Nous avons aussi indiqué la fréquence de chacun des relateurs employés dans chaque type de discours. Cependant, nous n'avons pas jugé pertinent d'indiquer la fréquence des signes typographiques; seule la présence de chaque type est indiquée.

Enfin, à la suite de chacun des procédés, nous présentons, sous la rubrique « En résumé », quelques remarques générales ainsi que certains commentaires relatifs à la variété des moyens linguistiques et des relateurs utilisés par les rédacteurs et la rédactrice des divers types de discours.

### **3.1 Double dénomination**

*Interface (2 cas); Québec Science (7 cas); Biologie générale 301 (1 cas)*

#### **3.1.1 Définition du procédé**

Reformulation du terme scientifique par l'emploi d'un synonyme d'un niveau de langue plus courant.

### 3.1.2 Moyens linguistiques utilisés

- Dans la même phrase

1) - **Le terme plus courant est placé entre parenthèses** (*Interface*, 1 cas; *Québec Science*, 5 cas)

Ex. : « [...] **lymphome** (tumeur) [...] » (« Le sida : une épidémie comme les autres? », *Interface*, p. 7)

- ... où le terme plus courant, mis entre guillemets, est précédé d'une conjonction (*Interface*, 1 cas)

Ex. : « [...] **infection à streptocoque du groupe A** (ou "bactérie mangeuse de chair") [...] » (« Le sida : une épidémie comme les autres? », *Interface*, p. 1)

2) - **Le terme plus courant est placé en apposition (précédé de la virgule) au terme-pivot.** En outre, le terme plus courant est mis entre guillemets (*Québec Science*, 1 cas)

Ex. : « [...] **infection invasive à streptocoque A**, la bactérie "dévoreuse de chair", [...] » (« Virus et bactéries : pourquoi ils nous menacent », *Québec Science*, p. 2)

- ... où le terme plus courant est précédé d'une conjonction (*Québec Science*, 1 cas)

Ex. : « [...] **infection au Escherichia coli verotoxigène**, ou "maladie du hamburger", [...] » (« Virus et bactéries : pourquoi ils nous menacent », *Québec Science*, p. 2)

3) - **Le terme-pivot est placé entre parenthèses** (la double dénomination est inversée) (*Biologie générale 301*, 1 cas)

Ex. : « Les globules rouges (**érythrocytes**) [...] » (« La cellule », *Biologie générale 301*, p. 17)

### 3.1.3 Relateurs

<b>Signes typographiques</b>	<i>Interface</i>	<i>Québec Science</i>	<i>Biologie générale</i>
- guillemets	x	x	
- parenthèses	x	x	x
- virgule (apposition)		x	

<b>Conjonction</b>	<i>Interface</i>	<i>Québec Science</i>	<i>Biologie générale</i>
- ou	1	1	

#### En résumé

##### Remarques générales

Pour la double dénomination, la mise entre parenthèses du terme plus courant (apparaît 7 fois, dont 5 fois dans *Québec Science* et 2 fois dans *Interface*) prédomine dans l'ensemble des textes et encadrés analysés. La mise entre guillemets du terme plus courant est employée lorsque ce terme plus courant est de niveau de langue familier; la conjonction « ou » semble être employée pour accentuer la distinction entre le terme scientifique et le terme plus courant de niveau familier; toutes les reformulations du type double dénomination sont situées dans la même phrase que le terme scientifique pivot.

##### Variété des moyens linguistiques

Il existe très peu de différences entre les textes de chaque type de discours. En effet, dans les textes de *Québec Science*, on y retrouve 3 moyens linguistiques, dans ceux d'*Interface*, 2, tandis qu'un seul moyen linguistique est employé dans *Biologie générale* 301.

### Variété des relateurs

Nous retrouvons deux catégories de relateurs dans les textes d'*Interface* (2 types de signes typographiques et 1 conjonction), deux catégories de relateurs dans ceux de *Québec Science* (3 types de signes typographiques et 1 conjonction), et enfin, les textes de *Biologie générale 301* contiennent une seule catégorie de relateur (1 type de signes typographiques).

En conclusion, l'utilisation restreinte de la double dénomination par les rédacteurs et la rédactrice des trois types de discours ne nous permet pas d'établir de grandes distinctions quant aux moyens linguistiques et aux relateurs privilégiés dans chaque type de discours.

## **3.2 Coréférence**

*Interface* (17 cas); *Québec Science* (42 cas); *Biologie générale 301* (6 cas)

### **3.2.1 Définition du procédé**

Reprise du terme scientifique par un terme coréférent (mot ou expression équivalente), pour éviter une répétition ou pour mieux faire comprendre.

### 3.2.2 Moyens linguistiques utilisés

- Dans la même phrase

- 1) - Le terme coréférent est placé en apposition (précédé de la virgule) au terme scientifique (*Interface*, 1 cas)

Ex. : « [...] les cas de la *tuberculose* et de la *peste*, deux maladies [...] » (« Le sida : une épidémie comme les autres? », *Interface*, p. 5)

- 2) - Le terme technique est introduit par un adverbe ou une locution adverbiale.

La coréférence est inversée (le terme technique est placé après le terme coréférent) (*Biologie générale 301*, 1 cas)

Ex. : « [...] ont plusieurs noyaux [...] alors que des structures animales aussi plurinucléées [...] » (« La cellule », *Biologie générale 301*, p. 9)

- Dans une autre phrase juxtaposée

- 3) - Le terme coréférent est placé dans un contexte immédiat (*Interface*, 10 cas; *Québec Science*, 11 cas)

Ex. : « L'*épidémie du sida* [...]. En effet [...] cette maladie [...] » (« Le sida : une épidémie comme les autres? », *Interface*, p. 2)

- Dans une autre phrase éloignée du terme scientifique

4) - Le terme coréférent est éloigné du terme scientifique (*Interface*, 6 cas;

*Québec Science*, 31 cas; *Biologie générale 301*, 5 cas)

texte n° 5 (*Interface*, 2 cas)

- thérapie génique : chirurgie de nos gènes
- défaut génétique : gène défectueux

texte n° 6 (*Interface*, 4 cas)

- cerveau humain : réseau de neurones biologiques
- processus de mémorisation : mécanisme de mémorisation
- rétropropagation des erreurs : règle de la rétropropagation
- unités cachées : neurones cachés

texte n° 1 (*Québec Science*, 12 cas)

- micro-organismes : animalcules
- agents pathogènes : agents infectieux
- hantavirus : agents pathogènes
- bactérie « dévoreuse de chair » : microbe
- maladie infectieuse inconnue : maladie non répertoriée et maladies insoupçonnées
- nouveaux microbes : nouveaux fléaux microbiens, « nouveaux » pathogènes, pathogènes [...] inédits, dangers microbiens émergents et pathogènes émergents
- réservoirs viraux : réservoirs du virus

texte n° 2 (*Québec Science*, 12 cas)

- dynamite cellulaire : dynamite nécessaire à leur suicide; dynamite apoptotique et dynamite enzymatique
- mort des cellules : mort cellulaire
- suicide des cellules : suicide cellulaire, mécanisme d'autodestruction
- apoptose : processus apoptotique
- apopaine : molécule clé; substance clé; molécule [...] identifiée
- société des cellules : société cellulaire
- « vieille » cellule : [cellules] éclopées et sénescents

Encadrés du texte n° 2 (*Québec Science*, 4 cas)

- Dans l'encadré « Stimuler l'apoptose pour ralentir le vieillissement », pour désigner l'apoptose, on parlera aussi de cascade apoptotique et de mort apoptotique.

- Quant à l'encadré « Stimuler l'apoptose pour combattre les maladies infectieuses », on désigne l'apoptose ainsi : mécanisme de la mort cellulaire et mort cellulaire programmée.

texte n° 3 (*Québec Science*, 2 cas)

- cerveau : réseau de neurones
- mécanique de la vision : mécanique de l'œil

Encadrés du texte n° 3 (*Québec Science*, 1 cas)

- chirurgie réfractive : technique

texte n° 9 (*Biologie générale 301*, 5 cas)

traits caractéristiques : caractères héréditaires; trait héréditaire; caractères; facteurs et gènes

### 3.2.3 Relateurs

Adverbe ou locution adverbiale	<i>Interface</i>	<i>Québec Science</i>	<i>Biologie générale</i>
- aussi			1

Signe typographique	<i>Interface</i>	<i>Québec Science</i>	<i>Biologie générale</i>
- virgule (apposition)	x		

### En résumé

#### Remarques générales

L'emploi de la coréférence dans un contexte éloigné du terme scientifique est le moyen linguistique le plus populaire (apparaît 42 fois, dont 6 fois dans *Interface*, 31 fois dans *Québec Science* et 5 fois dans *Biologie générale 301*), suivi de l'emploi de la

coréférence dans une autre phrase juxtaposée située dans un contexte immédiat (apparaît 21 fois, dont 10 fois dans *Interface* et 11 fois dans *Québec Science*).

### Variété des moyens linguistiques

Il existe 3 moyens linguistiques différents dans les textes d'*Interface*, 2, dans ceux de *Québec Science* ainsi que 2, dans ceux de *Biologie générale 301*.

### Variété des relateurs

Les rédacteurs et la rédactrice emploient très peu de relateurs pour la coréférence. De fait, on ne retrouve qu'un seul signe typographique dans *Interface*, aucun relateur dans *Québec Science* et un seul adverbe dans *Biologie générale 301*.

En conclusion, les moyens linguistiques et les relateurs employés par les rédacteurs et la rédactrice pour la coréférence sont assez restreints. Par conséquent, on ne peut noter de grandes distinctions quant à la variété de ces moyens linguistiques et de ces relateurs dans les trois types de discours.

## **3.3 Définition complète**

*Interface* (12 cas); *Québec Science* (12 cas); *Biologie générale 301* (13 cas)

### **3.3.1 Définition du procédé**

Définition du terme-pivot qui permet de comprendre précisément ce que signifie la notion que recouvre le terme.

### 3.3.2 Moyens linguistiques utilisés

- Dans la même phrase

- 1) - **La définition complète du terme scientifique est introduite par un verbe ou un groupe verbal** (*Interface*, 7 cas; *Québec Science*, 4 cas; *Biologie générale 301*, 5 cas)

Ex. : « **La règle d'apprentissage par rétropropagation des erreurs** consiste à modifier les efficacités synaptiques d'une quantité pointant dans la direction de la pente maximale de l'erreur E. » (« Les réseaux de neurones », *Interface*, p. 3 [encadrés])

- ... et est placée dans une paraphrase en apposition (précédée de la virgule) au terme technique (*Québec Science*, 1 cas)

Ex. : « [...] **apoptose**, d'un mot grec désignant le processus par lequel un arbre se sépare de ses feuilles. » (« Apoptose : le suicide des cellules enfin compris », *Québec Science*, p. 1)

- ... où la définition complète du terme scientifique est inversée (la définition précède le terme scientifique) (*Interface*, 1 cas)

Ex. : « [...] le Centre for Disease Control (CDC) américain considère toute personne ayant un taux de lymphocytes T inférieur à 200 ( $CD_4 < 200$ ), qu'elle soit symptomatique ou non, comme un **cas de sida**. » (« Le sida : une épidémie comme les autres? », *Interface*, p. 4)

- 2) - **La définition complète du terme scientifique est introduite par une locution conjonctive** et est placée dans une paraphrase en apposition (précédée de la virgule) au terme scientifique (*Québec Science*, 2 cas; *Biologie générale 301*, 3 cas)

Ex. : « [...] **cellule haploïde**, c'est-à-dire que le noyau ne possède qu'un seul jeu de chromosomes [...] » (« La cellule », *Biologie générale 301*, p. 13)

- ...et est précédée du tiret (*Québec Science*, 1 cas)

Ex. : « [...] **dangers microbiens “émergents”** — c'est-à-dire ceux qui se sont joints tout récemment à la longue liste des maladies infectieuses humaines. » (« Virus et bactéries : pourquoi ils nous menacent », *Québec Science*, p. 2)

3) - **La définition complète du terme scientifique est introduite par une relative déterminative** (*Interface*, 1 cas)

Ex. : « [...] **complications sérieuses qui sont en général associées à une détérioration marquée des défenses de l'hôte, et tout particulièrement à une baisse du nombre de lymphocytes T.** » (« Le sida : une épidémie comme les autres? », *Interface*, p. 4)

4) - **Le terme scientifique est introduit par une locution conjonctive et est placé entre parenthèses après la définition (la définition complète du terme scientifique est inversée)** (*Biologie générale 301*, 1 cas)

Ex. : « [...] différence de concentration entre deux solutions [...] (c'est-à-dire le gradient de concentration) [...] » (« La cellule », *Biologie générale 301*, p. 14)

5) - **La définition complète du terme scientifique est placée en apposition (précédée de la virgule) au scientifique** (*Québec Science*, 1 cas)

Ex. : « [...] **mutations**, ces modifications aléatoires et spontanées de leur matériel génétique, [...] » (« Virus et bactéries : pourquoi ils nous menacent », *Québec Science*, p. 3)

6) - **Le terme scientifique est placé entre parenthèses (la définition complète du terme scientifique est inversée)** (*Interface*, 1 cas)

Ex. : « [...] classe de problèmes (**problèmes NP-complets**) pour lesquels il n'existe pas encore d'algorithmes pouvant toujours trouver une solution en un temps qui augmente moins vite qu'une exponentielle en fonction de la taille du problème. » (« Les réseaux de neurones », *Interface*, p. 11)

7) - La définition complète du terme scientifique est une citation mise entre guillemets et juxtaposée (précédée du deux-points) au terme scientifique

(*Interface*, 1 cas)

- Ex. : « [...] **procédé de variolisation** : "En inoculant à un sujet sain du pus d'un varioleux convalescent, on lui communique une variole plus bénigne, alors qu'il pourrait mourir d'une maladie contractée spontanément." » (« Le sida : une épidémie comme les autres? », *Interface*, p. 2 [encadrés])

- Dans une autre phrase juxtaposée

8) - La définition complète du terme scientifique est introduite par un verbe ou un groupe verbal (*Interface*, 1 cas; *Québec Science*, 1 cas; *Biologie générale*

301, 3 cas)

Ex. : « [...] des **lignées pures**. On désigne sous ce nom un groupe d'êtres morphologiquement semblables qui engendrent, en se reproduisant entre eux, des descendants toujours identiques aux parents. » (« La génétique », *Biologie générale* 301, p. 2)

- ... où la définition complète du terme scientifique, mise entre guillemets, est juxtaposée (précédée du deux-points) au terme scientifique (*Québec Science*, 1 cas)

Ex. : « [...] **IAP**. [...]. Nous avons regardé : c'était "protéine inhibitrice de l'apoptose!". » (« Apoptose : le suicide des cellules enfin compris », *Québec Science*, p. 5)

- ... où la définition complète du terme scientifique est inversée (la définition est placée avant le terme scientifique) (*Biologie générale* 301, 1 cas)

Ex. : « Ces chromosomes, [...], sont de même longueur, ont leur centromère situé au même endroit et portent les gènes qui déterminent les mêmes caractères [...]. Ils sont des **chromosomes homologues**. » (« La génétique », *Biologie générale* 301, p. 6)

- ... où la définition complète du terme scientifique est placée entre parenthèses

(*Québec Science*, 1 cas)

Ex. : « [...] **enzyme** [...]. (Les **enzymes** sont des protéines qui accélèrent les réactions chimiques sans être modifiées.) » (« Apoptose : le suicide des cellules enfin compris », *Québec Science*, p. 4)

### 3.3.3 Relateurs

Verbes ou groupes verbaux	Interface	Québec Science	Biologie générale
- c'était		1	
- considère comme	1		
- consiste à	2		
- désignant		1	
- est	1		4 (dont démarche analytique, 2 fois)
- est transmis via		1	
- expliquait par		1	
- explique par		1	
- le but est (définition centrée sur le but)	1		
- nous entendons par là (définition centrée sur le but)	1		
- on appelle			1
- on désigne sous ce nom			1
- pour être considérée comme	1		
- pour qu'on puisse parler de	1		
- représente	1		
- s'occupent de		1	
- signifie			1
- signifie que			1
- sont		2	
- sont (démarche analytique)			1
- tiendrait à		1	

Relative	Interface	Québec Science	Biologie générale
- qui sont en général associées à (définition centrée sur la cause)	1		

Locution conjonctive	Interface	Québec Science	Biologie générale
- c'est-à-dire		3	4

<b>Signes typographiques</b>	<i>Interface</i>	<i>Québec Science</i>	<i>Biologie générale</i>
- deux-points avec guillemets	x		
- guillemets		x	
- parenthèses	x	x	x
- tiret		x	
- virgule (apposition)		x	x

### **En résumé**

#### Remarques générales

La définition complète est placée plus fréquemment dans la même phrase (29 fois) que dans une autre phrase juxtaposée (8 fois); la définition complète introduite par un verbe ou un groupe verbal est la méthode la plus populaire auprès des rédacteurs et de la rédactrice (apparaît 26 fois, dont 9, dans *Interface*, 8, dans *Québec Science* et 9 fois dans *Biologie générale 301*). Ce moyen est utilisé autant dans la même phrase que dans une autre phrase juxtaposée.

#### Variété des moyens linguistiques

Elle est plus grande dans les textes de *Québec Science* (8 moyens linguistiques différents) que dans ceux d'*Interface* (6 moyens) et du manuel de *Biologie générale 301* (5 moyens).

#### Variété des relateurs

Les rédacteurs et la rédactrice des trois types de discours ont tous employé trois catégories de relateurs. Dans *Interface*, on retrouve 8 types de verbes ou groupes verbaux, 2 types de signes typographiques et 1 type de relative; dans *Québec Science*, on a utilisé 8 types de verbes ou groupes verbaux, 1 type de locution conjonctive et 4

types de signes typographiques; et enfin, dans le manuel *Biologie générale 301*, il existe 6 types de verbes ou groupes verbaux, 1 type de locution conjonctive et 2 types de signes typographiques).

Malgré une certaine ressemblance quant au nombre de catégories de relateurs dans les trois types de discours, on note une plus grande variété de relateurs chez *Québec Science* (13 types), comparativement à *Interface* (11 types) et à *Biologie générale* (9 types).

Parmi les relateurs, il importe de souligner que, contrairement aux rédacteurs et à la rédactrice de *Québec Science* et du manuel scolaire, les rédacteurs d'*Interface* n'ont pas employé la locution conjonctive c'est-à-dire pour la définition complète des termes scientifiques.

En conclusion, *Québec Science* se distingue quant à la variété des moyens linguistiques et des relateurs employés pour la définition complète. La variété des moyens linguistiques est légèrement supérieure dans les textes d'*Interface* que dans ceux de *Biologie générale 301*. Les relateurs sont aussi plus variés dans *Interface* que dans le manuel scolaire.

### **3.4 Définition partielle**

*Interface* (62 cas); *Québec Science* (51 cas); *Biologie générale 301* (49 cas)

### 3.4.1 Définition du procédé

Définition du terme scientifique pivot qui renseigne le lecteur ou la lectrice sur l'un ou l'autre aspect que recouvre la notion : une conséquence, un effet, une cause, un but, une finalité, une éventualité (possibilité), un lieu (localisation), etc.

### 3.4.2 Moyens linguistiques utilisés

- Dans la même phrase

- 1) - **La définition partielle du terme scientifique est introduite par un verbe ou un groupe verbal** (*Interface*, 33 cas; *Québec Science*, 27 cas; *Biologie générale 301*, 36 cas)

Ex. : « Les **Monères** constituent un règne formé d'êtres dont l'organisation se réduit à une structure microscopique simple. » (« Les Monères », *Biologie générale 301*, p. 1)

- ... et est placée dans une paraphrase en apposition (précédée de la virgule) au terme-pivot (*Interface*, 2 cas; *Québec Science*, 5 cas)

Ex. : « [...] **modélisation**, ce qui revient en quelque sorte à négliger les mécanismes que nous ne croyons pas pertinents par rapport au problème, pour ne retenir que l'essentiel. » (Les réseaux de neurones », *Interface*, p. 3)

- ... et est placée dans une paraphrase juxtaposée (précédée du point-virgule) au terme-pivot (*Québec Science*, 1 cas)

Ex. : « La **classification des bactéries** est conventionnelle; on les désigne par un genre, suivi du nom de l'espèce. » (« Virus et bactéries : pourquoi ils nous menacent », *Québec Science*, p. 2 [encadrés])

- ... et est placée dans une paraphrase juxtaposée (précédée du deux-points) au terme-pivot (*Québec Science*, 1 cas)

Ex. : « Les effets de la **toxine appelée SPE-B** sont les mieux connus : elle s'attaque aux protéines musculaires [...] » (« Virus et bactéries : pourquoi ils nous menacent », *Québec Science*, p. 5)

- ... et est suivie du deux-points (*Interface*, 1 cas)

Ex. : « Les **éléments pathogènes se retrouvent** partout : dans le sol, l'air, l'eau, les aliments, chez les animaux, les insectes, et les humains de tout âge et de tout sexe. » (« Le sida : une épidémie comme les autres? », *Interface*, p. 1)

- ... et est placée entre parenthèses (*Québec Science*, 1 cas)

Ex. : « [...] regroupés en familles et en **espèces**, mais pas au sens conventionnel du terme (une **espèce regroupe** normalement les individus qui peuvent se reproduire entre eux, ce qui est hors de question dans le cas des virus!) » (« Virus et bactéries : pourquoi ils nous menacent », *Québec Science*, p. 2 [encadrés])

2) - La définition partielle du terme scientifique est introduite par une conjonction ou une locution conjonctive et est placée dans une paraphrase en apposition (précédée de la virgule) au terme scientifique (*Interface*, 8 cas; *Québec Science*, 1 cas; *Biologie générale 301*, 1 cas)

Ex. : « [...] **unités cachées, soit** des neurones non reliés à l'extérieur, [...] » (« Les réseaux de neurones », *Interface*, p. 9)

Ex. : « [...] **choc toxique, c'est-à-dire** une réaction immunitaire très intense, [...] » (« Virus et bactéries : pourquoi ils nous menacent », *Québec Science*, p. 5)

3) - La définition partielle du terme scientifique est placée entre parenthèses (*Interface*, 9 cas)

Ex. : « [...] **problème** [...] **NP-complet** (problème quasi insoluble) [...] » (« Les réseaux de neurones », *Interface*, p. 12)

- 4) - La définition partielle du terme scientifique est placée en apposition (précédée de la virgule) au terme scientifique, à l'intérieur d'une paraphrase (Québec Science, 3 cas; *Biologie générale 301*, 2 cas)

Ex. : « [...] la **souris sylvestre**, hôte de la principale souche pathogène de hantavirus, [...] » (« Virus et bactéries : pourquoi ils nous menacent », *Québec Science*, p. 2)

- ... juxtaposée (précédée du point-virgule) au terme-pivot (*Biologie générale 301*, 1 cas)

Ex. : « [...] **exocytose**; la membrane de la vacuole se fusionne à la membrane plasmique et cela permet l'excrétion du contenu de la vacuole. » (« La cellule », *Biologie générale 301*, p. 15)

- 5) - Le terme technique est introduit par un verbe ou un groupe verbal. La définition partielle du terme technique est inversée, où la définition est placée en apposition (suivie de la virgule) devant le terme technique (*Interface*, 2 cas; *Biologie générale 301*, 2 cas)

Ex. : « [...] une cellule végétale [...] a tendance à gonfler mais n'éclate pas à cause de sa paroi cellulaire, c'est la **turgescence**. » (« La cellule », *Biologie générale 301*, p. 18)

- ... La définition partielle du terme scientifique est inversée, où la définition est juxtaposée (suivie du deux-points) devant le terme scientifique (*Biologie générale 301*, 1 cas)

Ex. : « [...] granulations protéiques autour desquelles sont élaborés des grains d'amidon : ce sont les **pyrénoïdes**. » (« La cellule », *Biologie générale 301*, p. 11)

- 6) - La définition partielle du terme scientifique est introduite par un adjectif ou un groupe adjectival et est inversée (la définition précède le terme scientifique). De plus, le terme scientifique est placé entre parenthèses (*Biologie générale 301*, 1 cas)

Ex. : « [...] capable d'assurer le passage de petites molécules (**perméabilité**). » (« La cellule », *Biologie générale 301*, p. 5)

- 7) - La définition partielle du terme scientifique est introduite par une locution prépositive (*Québec Science*, 1 cas)

Ex. : « [...] avant qu'une **structure nerveuse** se forme chez les organismes vivants afin de relayer et analyser les images. » (« Comment le cerveau fabrique des images » et « On peut sauver des vues », *Québec Science*, p. 1 [encadrés])

- 8) - La définition partielle du terme scientifique est insérée dans une relative explicative placée après le terme scientifique (*Québec Science*, 1 cas)

Ex. : « [...] la **shigelle**, un microbe qui provoque la dysenterie, [...] » (« Apoptose : le suicide des cellules enfin compris », *Québec Science*, p. 2 [encadrés])

- 9) - La définition partielle du terme scientifique est insérée dans une relative déterminative et elle est inversée (la définition précède le terme scientifique). De plus, le terme scientifique est placé entre parenthèses (*Biologie générale 301*, 1 cas)

Ex. : « [...] qui bloque le passage à d'autres molécules (**impermeabilité**). (« La cellule », *Biologie générale 301*, p. 5)

- 10) - La définition partielle du terme scientifique est juxtaposée (précédée du deux-points) au terme scientifique (*Interface*, 1 cas)

Ex. : « [...] **machine de Boltzmann** : un réseau à la Hopfield avec des unités cachées. » (« Les réseaux de neurones », *Interface*, p. 9)

- Dans une autre phrase juxtaposée

- 11) - La définition partielle du terme scientifique est introduite par un verbe ou un groupe verbal (*Interface*, 5 cas; *Québec Science*, 9 cas; *Biologie générale 301*, 1 cas)

Ex. : « Le **virus du sida** [...]. Par conséquent [...] il accélère la progression de certaines maladies, telles les MTS (maladies transmises sexuellement), en plus d'augmenter la contagiosité d'autres infections comme la tuberculose. » (« Le sida : une épidémie comme les autres? », *Interface*, p. 4)

12) - **Le terme scientifique est introduit par un verbe ou un groupe verbal.** La définition partielle du terme scientifique est inversée (la définition précède le terme scientifique) (*Biologie générale 301, 2 cas*)

Ex. : « En milieu hypertonique la cellule diminue de volume et la membrane plasmique se détache de la paroi cellulaire. [...] c'est la **plasmolyse de la cellule** [...] » (« La cellule », *Biologie générale 301, p. 18*)

13) - **La définition partielle du terme scientifique est introduite par un adverbe ou une locution adverbiale** (*Interface, 1 cas*)

Ex. : « [...] est-ce que l'action du gène est **intra-cellulaire** ou **extra-cellulaire**? Autrement dit, est-ce que le gène agit directement sur la cellule où il est exprimé, ou est-ce que le produit du gène est exporté à l'extérieur de la cellule pour agir ailleurs? » (« La médecine des gènes », *Interface, p. 2*)

14) - **La définition partielle du terme scientifique est introduite par un groupe prépositif** (*Québec Science, 1 cas*)

Ex. : « [...] **C. elegans** [...]. C'est chez ce nématode que les généticiens ont identifié les tout premiers gènes commandant la synthèse des protéines impliquées dans l'apoptose. » (« Apoptose : le suicide des cellules enfin compris », *Québec Science, p. 3*)

15) - **La définition partielle du terme scientifique est inversée (la définition précède le terme scientifique)** (*Biologie générale 301, 1 cas*)

Ex. : « À l'état frais, les filaments se déplacent en rampant. Cette **reptation** [...] » (« Les Monères », *Biologie générale 301, p. 6*)

### 3.4.3 Relateurs

Verbes ou groupes verbaux	<i>Interface</i>	<i>Québec Science</i>	<i>Biologie générale</i>
- accélère (conséquence)	1		
- active directement (effet)		1	
- affectent [...] et lui donnent (conséquence)			1
- c'est (cause)			1
- c'est (conséquence)			1
- (car ils) sont (cause)			1

<b>Verbes ou groupes verbaux (suite)</b>	<i>Interface</i>	<i>Québec Science</i>	<i>Biologie générale</i>
- ce qui revient à	1		
- ce sont (démarche analytique)			1
- codent (effet)		1	
- compense pour (effet)	1		
- consiste à (effet)	1		
- constitue	1		
- constituant (démarche analytique)			1
- contrôle (effet)		1	
- correspondant à (démarche analytique)		1	
- devient (conséquence)	1		
- doit être faite sur (conséquence)	1		
- élimine (effet)		1	
- émet (effet)	2		
- émises par (cause)	1		
- emmagasinent [...] peuvent servir à (démarche analytique)			1
- est (cause)			1
- est (démarche analytique)			4
- est déclarée comme	1		
- est dû à (cause)	1		
- est équivalente à (équivalence)			1
- est produit dans	1		
- est un concept qui englobe (démarche analytique)			1
- est	4	3	7
- est [...] et exerce (effet)			1
- est [...] représenté par (démarche analytique)			1
- était			1
- expliquerait (cause)		1	
- fabrique aussi (effet)		1	
- fait référence à [...] et s'applique à			1
- favorise (conséquence)	1		
- forme (démarche analytique)			1
- fournit à (fonction)		1	
- identifiée comme		1	
- il s'agirait de		1	
- il y a aussi une osmose quand (cause)			1
- il y a osmose lorsque (cause)			1
- il y a osmose quand (cause)			1
- infectent (effet)	2		

<b>Verbes ou groupes verbaux (suite)</b>	<b>Interface</b>	<b>Québec Science</b>	<b>Biologie générale</b>
- insère (effet)		1	
- interviendrait (rôle)		1	
- jouerait un rôle (conséquence)		1	
- l'idée c'est (but)	1		
- l'idée centrale est (but)	1		
- liée à		1	
- mesurent		1	
- n'a aucune (négative)	1		
- ne considère pas comme (négative)		1	
- ne donnent pas lieu à (conséquence négative)	1		
- ne sécrètent plus (effet négatif)		1	
- offre un moyen de		1	
- on désigne par (démarche analytique)		1	
- on observera bientôt (conséquence)			2
- on regroupe (démarche analytique)		1	
- on trouve (cause)	1		
- ont un impact sur (conséquence)	1		
- peut être corrigée par (possibilité)	1		
- peut s'obtenir par (cause possible)			2
- peuvent alors interagir et diriger (conséquence)	1		
- pour prononcer (finalité à la limite de la fonction)	1		
- pour reconnaître (finalité à la limite de la fonction)	1		
- préviendrait (conséquence)		1	
- produite dans		1	
- proviendrait de (cause)		1	
- provoquées par (cause)		1	
- provoquent (conséquence)	1		
- puisqu'ils ont reçu (cause)			1
- reçoit (conséquence)	1		
- regroupe (démarche analytique)		1	
- reprogramment (effet)		1	
- rétablit (effet)			1
- s'attaque au (effet)	1		

<b>Verbes ou groupes verbaux (suite)</b>	<b>Interface</b>	<b>Québec Science</b>	<b>Biologie générale</b>
- s'attaque aux (effet)	1	1	
- s'attaquent aux (effet)		1	
- s'explique par (cause)		1	
- s'occupe de (rôle)		1	
- se condense sous forme de (conséquence)			1
- se limite à (conséquence)		1	
- se multiplie		1	
- se poursuit (démarche analytique)		1	
- se retrouvent (démarche analytique)	1		
- se trouve (localisation)	1		
- sera utilisée	1		
- sonne (conséquence)		1	
- sont	1		1
- sont associés au (cause)			1
- sont causées par (cause)	1		
- sont causés par (cause)			1
- sont classifiés (démarche analytique)		1	
- sont le résultat de (conséquence)	1		
- sont perçues comme	1		
- sont regroupés (démarche analytique)		1	
- sont; constituant (démarche analytique)			1
- sont; synthétisées par			1
- stimulent (effet)		1	
- survient (conséquence)	1		
- transforment (effet)		1	
- tue (conséquence)		1	
- tuent (conséquence)		1	
- vise à (but)			1

<b>Relatives</b>	<b>Interface</b>	<b>Québec Science</b>	<b>Biologie générale</b>
- qui bloque (effet)			1
- qui provoque (conséquence)		1	

<b>Locution adverbiale</b>	<b>Interface</b>	<b>Québec Science</b>	<b>Biologie générale</b>
- autrement dit	1		

<b>Locutions conjonctives</b>	<i>Interface</i>	<i>Québec Science</i>	<i>Biologie générale</i>
- c'est-à-dire	6	1	1
- soit	2		

<b>Adjectif ou groupe adjectival</b>	<i>Interface</i>	<i>Québec Science</i>	<i>Biologie générale</i>
- capable de (fonction)			1

<b>Groupes prépositifs ou locutions prépositives</b>	<i>Interface</i>	<i>Québec Science</i>	<i>Biologie générale</i>
- afin de (but)		1	
- (c'est) chez		1	

<b>Signes typographiques</b>	<i>Interface</i>	<i>Québec Science</i>	<i>Biologie générale</i>
- deux-points (juxtaposition)	x	x	x
- parenthèses	x	x	x
- point-virgule (juxtaposition)		x	x
- virgule (apposition)	x	x	x

## En résumé

### Remarques générales

La définition partielle d'un terme-pivot est, la plupart du temps, placée dans la même phrase (142 fois) plutôt que dans une autre phrase juxtaposée (20 fois). De toute évidence, la définition partielle introduite par un verbe ou un groupe verbal est le moyen linguistique le plus utilisé par les rédacteurs et la rédactrice (apparaît 123 fois, dont 44, dans les textes de *Québec Science*, 41, dans ceux d'*Interface*, et 37, dans les textes de *Biologie générale* 301). Notamment, ce moyen linguistique est le plus populaire autant dans la même phrase que le terme scientifique pivot que dans une autre phrase juxtaposée. L'observation de ces résultats nous permet de constater une certaine ressemblance quant à la fréquence d'utilisation de ce moyen linguistique dans les trois types de discours.

### Variété des moyens linguistiques

La revue *Québec Science* et le manuel de biologie présentent chacun 11 moyens linguistiques différents. La revue *Interface* offre la plus faible variété (9).

### Variété des relateurs

On en observe quatre catégories dans *Interface* (37 types de verbes ou groupes verbaux, 1 types de locution adverbiale, 2 types de locutions conjonctives et 3 types de signes typographiques); cinq catégories dans *Québec Science* (41 types de verbes ou groupes verbaux, 4 types de signes typographiques, 2 types de locutions prépositives, 1 type de locution conjonctive et 1 type de relative) et cinq catégories dans le manuel scolaire (31 types de verbes ou groupes verbaux, 4 types de signes typographiques, 1 type de locution conjonctive, 1 type d'adjectif ou groupe adjectival et 1 type de relative). Ainsi, la revue *Québec Science* présente la plus grande variété de relateurs (49 types), suivie d'*Interface* (43 types) et de *Biologie générale 301* (38 types).

La locution conjonctive c'est-à-dire est employée dans les trois types de discours dans le cas de la définition partielle.

En conclusion, les moyens linguistiques employés pour la définition partielle sont légèrement plus variés dans les textes de *Québec Science* et dans ceux du manuel que dans les textes d'*Interface*. Cependant, on retrouve la plus grande variété de relateurs dans les textes de *Québec Science* et la plus faible dans ceux de *Biologie générale 301*.

### 3.5 Dénomination

*Interface* (8 cas); *Québec Science* (21 cas); *Biologie générale 301* (5 cas)

#### 3.5.1 Définition du procédé

Reformulation du terme scientifique pivot par l'utilisation d'un élément qui est linguistiquement de plus grande extension ou qui apporte un supplément d'information.

#### 3.5.2 Moyens linguistiques utilisés

- Dans la même phrase

1) - **Le terme technique est précédé d'un verbe ou d'un groupe verbal** (*Interface*, 4 cas; *Québec Science*, 7 cas; *Biologie générale 301*, 1 cas)

Ex. : « [...] une variante de l'algorithme du perceptron appelée *l'algorithme du pocket*. » (« Les réseaux de neurones », *Interface*, p. 13)

Ex. : « [...] des structures animales aussi plurinucléées sont nommées *syncytium*. » (« La cellule », *Biologie générale 301*, p. 9)

- ... et est placé en apposition (précédé de la virgule) au terme de grande extension

(*Québec Science*, 7 cas; *Biologie générale 301*, 3 cas)

Ex. : « [...] des filaments, appelés *trichomes*, [...] » (« Les Monères », *Biologie générale 301*, p. 1)

- ... En outre, le terme technique est mis entre guillemets (*Interface*, 1 cas; *Québec Science*, 2 cas)

Ex. : « [...] une protéine appelée *"gardienne du génome"*. » (« Apoptose : le suicide des cellules enfin compris », *Québec Science*, p. 4 [encadrés])

- ... Le terme technique est mis entre guillemets et est placé en apposition (précédé de la virgule) au terme de grande extension (*Interface*, 1 cas; *Québec Science*, 1 cas)

Ex. : « Cette technique, appelée "variolisation", [...] » (« Le sida : une épidémie comme les autres? », *Interface*, p. 2 [encadrés])

- ... et est placé en apposition (suivi de la virgule) avant le terme de grande extension (*Québec Science*, 1 cas)

Ex. : « Baptisés réservoirs viraux, les animaux infectés [...] » (« Virus et bactéries : pourquoi ils nous menacent », *Québec Science*, p. 6)

2) - Le terme technique est placé en apposition (précédé de la virgule) au terme de grande extension (*Québec Science*, 3 cas)

Ex. : « [...] une de ses molécules, la gp120 [...] » (Apoptose : le suicide des cellules enfin compris », *Québec Science*, p. 3)

3) - Le terme technique est inséré dans une relative explicative placée entre tirets après le terme de grande extension. En outre, le terme technique est mis entre guillemets (*Interface*, 1 cas)

Ex. : « [...] de tels segments — qu'on appelle "éléments répétitifs" — [...] » (« La médecine des gènes », *Interface*, p. 8)

4) - Le terme technique est inséré dans une relative déterminative (*Interface*, 1 cas)

Ex. : « [...] par l'intermédiaire d'une efficacité synaptique que nous appelons biais du perceptron. » (« Les réseaux de neurones », *Interface*, p. 5)

5) - Le terme technique est placé entre parenthèses (*Biologie générale 301*, 1 cas)

Ex. : « [...] grâce à des cellules modifiées (hétérocystes) [...] » (« Les Monères », *Biologie générale 301*, p. 1)

### 3.5.3 Relateurs

Verbes ou groupes verbaux	<i>Interface</i>	<i>Québec Science</i>	<i>Biologie générale</i>
- appelé	1	4	
- appelée	2	4	
- appelées	3	2	
- appelés		1	2
- appelés aussi			1
- appelle		1	
- baptisée		1	
- baptisés		1	
- c'est		1	
- connue sous le nom de		1	
- dits		1	
- on appelait		1	
- sont nommées			1

Relatives	<i>Interface</i>	<i>Québec Science</i>	<i>Biologie générale</i>
- qu'on appelle	1		
- que nous appelons	1		

Signes typographiques	<i>Interface</i>	<i>Québec Science</i>	<i>Biologie générale</i>
- guillemets	x	x	
- parenthèses			x
- tirets	x		
- virgule (apposition)	x	x	x

#### En résumé

#### Remarques générales

De tous les moyens linguistiques utilisés pour la dénomination, il en existe un qui prédomine : le terme technique précédé d'un verbe ou d'un groupe verbal (apparaît 28 fois, dont 18, dans *Québec Science*, 6, dans *Interface* et 4, dans *Biologie générale* 301). En outre, nous remarquons que tous les termes techniques apparaissent dans la même phrase que le terme de grande extension.

### Variété des moyens linguistiques

Les textes de *Québec Science* contiennent 6 moyens différents, ceux d'*Interface*, 5, et ceux de *Biologie générale 301*, 3.

### Variété des relateurs

On retrouve 3 catégories de relateurs dans les textes d'*Interface* (3 types de verbes ou groupes verbaux, 3 types de signes typographiques et 2 types de relatives), comparativement à deux catégories de relateurs dans les autres discours (11 types de verbes ou groupes verbaux et 2 types de signes typographiques dans *Québec Science*, et enfin, 3 types de verbes ou groupes verbaux ainsi que 2 types de signes typographiques dans le manuel scolaire). Le verbe *type*, dans tous ces discours, est *appeler* (ou des synonymes : **baptiser, dire et nommer**).

En conclusion, les moyens linguistiques utilisés pour la dénomination sont les plus variés dans les textes de *Québec Science*, tandis qu'ils sont moins variés dans ceux de *Biologie générale 301*. Quant aux relateurs, on en retrouve plus de types dans *Québec Science* et c'est dans le manuel scolaire qu'on en retrace le moins.

## 3.6 Équivalence

*Interface* (31 cas); *Québec Science* (19 cas); *Biologie générale 301* (26 cas)

### 3.6.1 Définition du procédé

Reprise du terme-pivot par un terme équivalent (ou une expression équivalente) qui peut être plus connu, plus concret.

### 3.6.2 Moyens linguistiques utilisés

- Dans la même phrase

1) - **Le terme technique est placé entre parenthèses après l'expression équivalente (l'équivalence est inversée)** (*Interface*, 8 cas; *Québec Science*, 1 cas; *Biologie générale 301*, 7 cas)

Ex. : « [...] la rétine centrale (*fovéa*) [...] » (« Comment le cerveau fabrique des images » et « On peut sauver des vues », *Québec Science*, p. 2 [encadrés])

- ... (Le terme technique est un sigle) (*Interface*, 2 cas; *Québec Science*, 2 cas)

Ex. : « [...] syndrome pulmonaire à hantavirus (*SPH*). » (« Virus et bactéries : pourquoi ils nous menacent », *Québec Science*, p. 1)

2) - **L'expression équivalente est placée entre parenthèses** (*Interface*, 11 cas; *Québec Science*, 1 cas)

Ex. : « *ALVINN* (pour *Autonomous Land Vehicle in a Neural Network*) [...] » (« Les réseaux de neurones », *Interface*, p. 5 [encadrés])

3) - **Le terme technique est introduit par un verbe ou un groupe verbal.**

L'équivalence est inversée (où le terme technique est placé après l'expression équivalente). (*Interface*, 1 cas; *Biologie générale 301*, 8 cas)

Ex. : « La connexion  $W_0$  se nomme *biais du perceptron*. » (« Les réseaux de neurones », *Interface*, p. 1 [encadrés])

- ... et est placé en apposition (précédé de la virgule) à l'expression équivalente.

L'équivalence est inversée (où le terme technique est placé après l'expression équivalente) (*Biologie générale 301*, 3 cas)

Ex. : « [...] les anticorps correspondants, nommés *agglutinines*. » (« La génétique », *Biologie générale 301*, p. 14 [encadrés])

- 4) - L'expression équivalente est placée en apposition (précédée de la virgule) au terme technique (*Québec Science*, 5 cas)

Ex. : « [...] **macrophages**, cellules dévoreuses de déchets. » (« Apoptose : le suicide des cellules enfin compris », *Québec Science*, p. 2)

- ... à l'intérieur d'une paraphrase (*Québec Science*, 1 cas; *Biologie générale 301*, 1 cas)

Ex. : « Le **génotype** [...], le programme transmis d'une génération à l'autre. » (« La génétique », *Biologie générale 301*, p. 7)

- 5) - L'expression équivalente est introduite par un verbe ou un groupe verbal (*Interface*, 1 cas; *Québec Science*, 2 cas; *Biologie générale 301*, 1 cas)

Ex. : « [...] la **cornée** est cette mince couche de tissus qui couvre le globe oculaire. » (« Comment le cerveau fabrique des images » et « On peut sauver des vues », *Québec Science*, p. 4)

- ... et est placée en apposition (précédée de la virgule) au terme technique (*Québec Science*, 1 cas)

Ex. : « [...] on lui connaît 13 clones différents, également appelés **sérogroupe**s. » (« Virus et bactéries : pourquoi ils nous menacent », *Québec Science*, p. 4)

- 6) - Le terme technique est introduit par une conjonction ou une locution conjonctive et est placé après l'expression équivalente. L'équivalence est inversée (*Québec Science*, 2 cas; *Biologie générale 301*, 2 cas)

Ex. : « [...] la mort cellulaire programmée ou **apoptose** [...] » (« Apoptose : le suicide des cellules enfin compris », *Québec Science*, p. 1)

- ... et est placé en apposition (précédé de la virgule) à l'expression équivalente. L'équivalence est inversée (où le terme technique est placé après l'expression équivalente) (*Interface*, 1 cas)

Ex. : « [...] la présence d'états stables, c'est-à-dire **d'attracteurs**. » (« Les réseaux de neurones », *Interface*, p. 7)

7) - **Le terme technique est placé en apposition (précédé de la virgule) à la suite de l'expression équivalente. L'équivalence est inversée.** (*Québec Science*, 1 cas; *Biologie générale 301*, 2 cas)

Ex. : « [...] fabrique aussi une véritable porte cellulaire, la *perforine*, [...] » (« Apoptose : le suicide des cellules enfin compris », *Québec Science*, p. 5 [encadrés])

- ... En outre, le terme technique est mis entre guillemets. L'équivalence est inversée (où le terme technique est placé après l'expression équivalente)  
(*Interface*, 1 cas)

Ex. : « [...] infection due à la maladie du pis des vaches, la "*vaccin*", [...] » (« Le sida : une épidémie comme les autres? », *Interface*, p. 2 [encadrés])

8) - **L'expression équivalente est juxtaposée (placée entre tirets) après le terme technique** (*Québec Science*, 1 cas)

Ex. : « [...] *plasma* — le liquide sanguin — [...] » (« Virus et bactéries : pourquoi ils nous menacent », *Québec Science*, p. 1)

- ... L'expression équivalente est placée à l'intérieur d'une paraphrase (*Québec Science*, 1 cas)

Ex. : « [...] *neurotransmetteur* — le langage biochimique qu'utilisent les neurones pour communiquer — [...] » (« Comment le cerveau fabrique des images » et « On peut sauver des vues », *Québec Science*, p. 1)

9) - **L'expression équivalente est insérée dans une relative explicative placée entre parenthèses après le terme technique** (*Interface*, 1 cas)

Ex. : « [...] les *nœuds* (que nous appelons alors les feuilles de l'arbre) [...] » (« Les réseaux de neurones », *Interface*, p. 14)

10) - **L'expression équivalente est précédée d'une conjonction et est placée entre parenthèses** (*Interface*, 1 cas)

Ex. : « [...] la *fraction* (ou le pourcentage) [...] » (« Les réseaux de neurones », *Interface*, p. 16)

11) - L'expression équivalente est juxtaposée (précédée du tiret) après le terme technique (*Interface*, 1 cas)

Ex. : « [...] (*VIH* — virus de l'immunodéficience humaine). » (« Le sida : une épidémie comme les autres? », *Interface*, p. 2)

12) - Le terme technique est juxtaposé (précédé du deux-points) à l'expression équivalente. L'équivalence est inversée (où le terme technique est placé après l'expression équivalente) (*Interface*, 1 cas)

Ex. : « [...] aux cellules du système immunitaire : les *lymphocytes T*. » (« Le sida : une épidémie comme les autres? », *Interface*, p. 4)

13) - Le terme technique est juxtaposé (placé entre tirets) après l'expression équivalente. L'équivalence est inversée (*Interface*, 1 cas)

Ex. : « [...] constituants de base — les *neurones* — [...] » (« Les réseaux de neurones », *Interface*, p. 2)

- Dans une autre phrase juxtaposée

14) - Le terme technique est introduit par un verbe ou un groupe verbal.

L'équivalence est inversée (où le terme technique est placé après l'expression équivalente) (*Biologie générale 301*, 2 cas)

Ex. : « [...] des variétés [sic] de pois qui ne différaient que par un seul caractère. On parle alors de *monohybridisme*. » (« La génétique », *Biologie générale 301*, p. 4)

- ... En outre le terme technique est placé entre guillemets. L'équivalence est inversée (où le terme technique est placé après l'expression équivalente)

(*Interface*, 1 cas)

Ex. : « Toutes les grandes épidémies deviennent tôt ou tard un phénomène international. On les appelle alors "*pandémies*". » (« Le sida : une épidémie comme les autres? », *Interface*, p. 3)

15) - L'expression équivalente est introduite par un verbe ou un groupe verbal et

le terme technique est placé entre guillemets (*Québec Science*, 1 cas)

Ex. : « [...] "**doigts de zinc**". Ces derniers sont des boucles formées autour d'un atome de zinc. (« Apoptose : le suicide des cellules enfin compris », *Québec Science*, p. 5 [encadrés])

### 3.6.3 Relateurs

Verbes ou groupes verbaux	Interface	Québec Science	Biologie générale
- appelé			3
- appelée			2
- appelés			1
- correspondant à	1		
- également appelés		1	
- est		1	1
- est alors appelée			1
- nommés			2
- on les appelle alors	1		
- on parle alors			1
- se nomme	1		1
- sont		1	
- sont appelés			1
- sont nommées			1

Relative	Interface	Québec Science	Biologie générale
- que nous appelons alors	1		

Conjonctions ou locutions conjonctives	Interface	Québec Science	Biologie générale
- c'est-à-dire	1		
- ou	1	2	2

Signes typographiques	Interface	Québec Science	Biologie générale
- deux-points (juxtaposition)	x		
- guillemets	x	x	
- parenthèses	x	x	x
- tirets	x	x	
- virgule (apposition)	x	x	x

## En résumé

### Remarques générales

Pour l'équivalence, nous remarquons trois moyens linguistiques prédominants : le terme technique placé entre parenthèses (apparaît 20 fois, dont 10, dans *Interface*, 7, dans *Biologie générale 301* et 3, dans *Québec Science*); le terme technique introduit par un verbe ou un groupe verbal (apparaît 14 fois, dont 11, dans *Québec Science*, 1, dans *Interface* et 2, dans *Biologie générale 301*) ; et enfin, l'expression équivalente placée entre parenthèses (apparaît 12 fois, dont 11, dans *Interface* et 1, dans *Québec Science*).

La grande majorité des reformulations de type équivalence se retrouvent dans la même phrase que le terme scientifique pivot (71 fois comparativement à 4 fois dans une autre phrase juxtaposée).

### Variété des moyens linguistiques

Les textes d'*Interface* en offrent autant que ceux de *Québec Science* (13 moyens linguistiques différents dans chacun des cas), tandis que les textes de *Biologie générale 301* contiennent une plus faible variété (8).

### Variété des relateurs

On retrouve quatre catégories de relateurs dans *Interface* (3 types de verbes ou groupes verbaux, 5 types de signes typographiques, 2 type de conjonctions ou locutions conjonctives et 1 type de relative), comparativement à trois catégories dans *Québec Science* (3 types de verbes ou groupes verbaux, 4 types de signes typographiques et 1 type de conjonction ou locution conjonctive) et dans le manuel

scolaire (10 types de verbes ou groupes verbaux, 2 types de signes typographiques et 1 type de conjonction ou locution conjonctive). Ainsi, le manuel *Biologie générale 301* offre le plus grand nombre de relateurs (13 types), suivi de la revue *Interface* (11 types) et finalement de *Québec Science* (8 types). Par contre, il importe de noter que les relateurs utilisés dans le manuel scolaire sont presque tous des verbes ou des groupes verbaux, tandis que dans *Interface* et *Québec Science*, outre les verbes ou groupes verbaux, on mise aussi sur les signes typographiques.

En conclusion, les moyens linguistiques sont aussi variés dans *Interface* que dans *Québec Science* tandis que le manuel scolaire offre la plus faible variété dans ce domaine. Quant aux relateurs, le manuel *Biologie générale 301* utilise la plus grande variété, suivi d'*Interface* et de *Québec Science*.

### **3.7 Caractérisation**

*Interface* (90 cas); *Québec Science* (53 cas); *Biologie générale 301* (94 cas)

#### **3.7.1 Définition du procédé**

Reformulation qui met l'accent sur un ou plusieurs caractères du terme scientifique pivot.

### 3.7.2 Moyens linguistiques utilisés

- Dans la même phrase

1) - La caractérisation est introduite par un verbe ou un groupe verbal (*Interface*,

18 cas; *Québec Science*, 5 cas; *Biologie générale 301*, 37 cas)

Ex. : « [...] le **sérogroupe B**, [...], était dominant. » (« Virus et bactéries : pourquoi ils nous menacent », *Québec Science*, p. 4)

- ... et est placée dans une paraphrase en apposition (précédée de la virgule) au terme-pivot (*Interface*, 6 cas; *Québec Science*, 3 cas; *Biologie générale 301*, 4 cas)

Ex. : « [...] la **forme infectieuse**, transmise par voie fécale-orale, [...] » (« Virus et bactéries : pourquoi ils nous menacent », *Québec Science*, p. 3)

- ... et est placée entre parenthèses après le terme-pivot (*Interface*, 3 cas; *Québec Science*, 2 cas)

Ex. : « [...] **corps genouillé latéral** (situé dans le thalamus) [...] » (« Comment le cerveau fabrique des images » et « On peut sauver des vues », *Québec Science*, p. 2 [encadrés])

- ... et est précédée du terme technique et du deux-points (*Québec Science*, 1 cas)

Ex. : « Les effets de la **toxine appelée SPE-B** sont les mieux connus : elle [...] et peut provoquer des nécroses des tissus nécessitant l'amputation. » (« Virus et bactéries : pourquoi ils nous menacent », *Québec Science*, p. 5)

- ... mis entre guillemets (*Interface*, 1 cas)

Ex. : « Ces **anticorps "signent"** la maladie, mais protègent peu. » (« Le sida : une épidémie comme les autres? », *Interface*, p. 5)

2) - La caractérisation est introduite par une relative déterminative (*Interface*, 11

cas; *Québec Science*, 12 cas; *Biologie générale 301*, 11 cas)

Ex. : « [...] **souris transgénique** dont les cellules du système immunitaire avaient été modifiées. » (« Apoptose : le suicide des cellules enfin compris », *Québec Science*, p. 1 [encadrés])

- ... La caractérisation est inversée (où le terme-pivot est placé entre parenthèses après le ou les caractères). (*Biologie générale 301*, 2 cas)

Ex. : « [...] une solution dont la concentration est supérieure à du NaCl 0,9 % (**solution hypertonique**) [...] » (« La cellule », *Biologie générale 301*, p. 17)

- ... En outre, la caractérisation est mise entre guillemets (*Biologie générale 301*, 1 cas)

Ex. : « [...] **hyaloplasme** qui est "l'environnement" d'une grande variété d'organites et le site de nombreuses réactions métaboliques. » (« La cellule », *Biologie générale 301*, p. 6)

- ... La caractérisation est inversée, où le terme-pivot est placé en apposition (précédé de la virgule) après la caractérisation (*Québec Science*, 1 cas)

Ex. : « [...] deux virus qui peuvent causer le sida humain, **HIV-1 et HIV-2**. » (« Virus et bactéries : pourquoi ils nous menacent », *Québec Science*, p. 4)

3) - La caractérisation est introduite par une relative explicative (*Interface*, 20

cas; *Québec Science*, 10 cas)

Ex. : « [...] le **perceptron**, lequel peut modifier lui-même l'efficacité de ses synapses incidentes [...] » (« Les réseaux de neurones », *Interface*, p. 5)

- ... et est placée entre parenthèses (*Interface*, 3 cas)

Ex. : « [...] construire le **premier neurone** (qui formera à lui seul la première couche) [...] » (« Les réseaux de neurones », *Interface*, p. 13)

- ... et est juxtaposée (précédée du tiret) au terme-pivot. En outre, le terme-pivot est placé entre guillemets (*Interface*, 1 cas)

Ex. : « [...] "**éléments répétitifs**" — qui sont répétés des dizaines de milliers de fois. » (« La médecine des gènes », *Interface*, p. 8)

- ... et est placée entre tirets (*Québec Science*, 1 cas)

Ex. : « [...] **cataracte** — qui affecte le cristallin et peut causer la cécité — [...] » (« Comment le cerveau fabrique des images » et « On peut sauver des vues », *Québec Science*, p. 4)

4) - La caractérisation est placée en apposition (précédée de la virgule) au terme-pivot (*Interface*, 2 cas; *Québec Science*, 3 cas; *Biologie générale 301*, 2 cas)

Ex. : « [...] notre **cerveau**, un gigantesque réseau de neurones, [...] » (« Les réseaux de neurones », *Interface*, p. 1)

- ... à l'intérieur d'une paraphrase (*Interface*, 4 cas; *Québec Science*, 1 cas; *Biologie générale 301*, 1 cas)

Ex. : « [...] l'**ADN**, la longue molécule porteuse des gènes située dans le noyau de la cellule. » (« Apoptose : le suicide des cellules enfin compris », *Québec Science*, p. 2)

5) - Le terme-pivot est introduit par un verbe ou un groupe verbal. La caractérisation est inversée, où le caractère précède le terme-pivot (*Interface*, 2 cas; *Biologie générale 301*, 2 cas)

Ex. : « [...] les tissus cibles de choix pour de nombreux gènes correcteurs sont le **sang** et la **moelle osseuse** [...] » (« La médecine des gènes », *Interface*, p. 6)

- ... La caractérisation est inversée, où le terme-pivot est placé après la caractérisation et le deux-points (*Interface*, 1 cas; *Biologie générale 301*, 3 cas)

Ex. : « Les configurations d'activités des neurones se modifient donc au cours du temps et le système prend un certain temps à se stabiliser : c'est un **système dynamique**. » (« Les réseaux de neurones », *Interface*, p. 7-8)

- ... et est placé dans une paraphrase en apposition (précédée de la virgule) au caractère. La caractérisation est inversée, où le caractère précède le terme-pivot (*Biologie générale 301, 2 cas*)

Ex. : « [...] il n'y a pas d'enveloppe nucléaire, d'où la raison de qualifier les Monères de *Procaryotes*. » (« Les Monères », *Biologie générale 301, p. 1*)

6) - Le terme-pivot est placé en apposition (précédé de la virgule) après la caractérisation. La caractérisation est inversée (*Interface, 2 cas; Québec Science, 3 cas; Biologie générale 301, 4 cas*)

Ex. : « [...] une grave maladie qui affecte la rétine, la *dégénérescence maculaire*, [...] » (« Comment le cerveau fabrique des images » et « On peut sauver des vues », *Québec Science, p. 4*)

- ... En outre, le terme-pivot est mis entre guillemets. La caractérisation est inversée (*Interface, 1 cas*)

Ex. : « [...] d'une autre image, une "*rétine des distances*" [...] » (« Les réseaux de neurones », *Interface, p. 5* [encadrés])

7) - Le terme-pivot est placé entre parenthèses après le ou les caractères. La caractérisation est inversée (*Biologie générale 301, 6 cas*)

Ex. : « En plus de leurs caractères primitifs (*organisation cellulaire du type procaryote*), [...] » (« Les Monères », *Biologie générale 301, p. 5*)

8) - La caractérisation est introduite par un adjectif ou un groupe adjectival et est placée en apposition (précédée de la virgule) au terme-pivot (*Interface, 1 cas; Québec Science, 2 cas*)

Ex. : « Certaines *erreurs de notre matériel génétique*, responsables des maladies héréditaires, [...] » (« La médecine des gènes », *Interface, p. 1*)

- ... La caractérisation est inversée, où le terme-pivot est placé entre parenthèses après le ou les caractères (*Interface*, 1 cas)

Ex. : « [...] virus responsable de cette maladie (*VIH* — virus de l'immunodéficience humaine). » (« Le sida : une épidémie comme les autres? », *Interface*, p. 2)

9) - Le terme-pivot est précédé de la caractérisation et du deux-points. La caractérisation est inversée (*Interface*, 2 cas; *Québec Science*, 1 cas)

Ex. : « [...] sous une forme biologique extraordinairement résistante : la *spore*. » (« Virus et bactéries : pourquoi ils nous menacent », *Québec Science*, p. 2 [encadrés])

10) - La caractérisation est introduite par un adverbe ou une locution adverbiale (*Interface*, 2 cas)

Ex. : « [...] *fonction énergie* [...] toujours décroissante dans le temps [...] » (« Les réseaux de neurones », *Interface*, p. 8)

- ... et est placée entre parenthèses (*Interface*, 1 cas)

Ex. : « [...] la seconde moitié d'un exemple est une *translation* (plus précisément une permutation cyclique) [...] » (« Les réseaux de neurones », *Interface*, p. 17)

11) - La caractérisation est introduite par une préposition ou un groupe prépositif et est placée en apposition (précédée de la virgule) au terme-pivot (*Interface*, 1 cas)

Ex. : « [...] *Connexion Machine* [...], malgré ses 65 536 processeurs [...] » (« Les réseaux de neurones », *Interface*, p. 1)

- ... et est placée dans une paraphrase en apposition (précédée de la virgule) au terme-pivot (*Interface*, 1 cas)

Ex. : « [...] *cerveau humain*, avec ses 10 milliards de neurones organisés en un réseau fortement interconnecté [...] » (« Les réseaux de neurones », *Interface*, p. 1)

12) - La caractérisation est introduite par une conjonction de subordination. La caractérisation est inversée (où le terme technique est placé après le ou les caractères) (*Biologie générale 301, 2 cas*)

Ex. : « Si le contenu de la vacuole, appelée phagosome, est solide, c'est la *phagocytose* [...] » (« La cellule », *Biologie générale 301, p. 15*)

13) - La caractérisation est introduite par un nom ou un groupe nominal. La caractérisation est inversée (où le terme-pivot est placé entre parenthèses après le ou les caractères) (*Biologie générale 301, 2 cas*)

Ex. : « [...] chloroplastes [...] en forme de ruban spiralé (*Spirogyra*) [...] » (« La cellule », *Biologie générale 301, p. 10*)

14) - La caractérisation est introduite par une conjonction de coordination et est placée dans une paraphrase en apposition (précédée de la virgule) au terme-pivot (*Biologie générale 301, 1 cas*)

Ex. : « [...] se reproduisent par *fission binaire*, donc sans aucun processus sexuel. » (« Les Monères », *Biologie générale 301, p. 1*)

15) - La caractérisation est introduite par une locution conjonctive et est placée dans une paraphrase en apposition (précédée de la virgule) au terme-pivot (*Interface, 1 cas*)

Ex. : « [...] *maladies génétiques dominantes*, c'est-à-dire celles où il suffit qu'une seule de nos deux copies de gènes soit atteinte, [...] » (« La médecine des gènes », *Interface, p. 2*)

- Dans une autre phrase juxtaposée

16) - La caractérisation est introduite par un verbe ou un groupe verbal (*Interface, 4 cas; Québec Science, 5 cas; Biologie générale 301, 12 cas*)

Ex. : « Le *cytoplasme* [...]. C'est un liquide visqueux et transparent, composé d'un pourcentage élevé d'eau. » (« La cellule », *Biologie générale 301, p. 6*)

- ... et le terme-pivot est mis entre guillemets (*Québec Science*, 1 cas)

Ex. : « [...] une *protéine* appelée "*gardienne du génome*". On l'appelle ainsi parce que cette *protéine* a la propriété d'interrompre le cycle cellulaire. » (« Apoptose : le suicide des cellules enfin compris », *Québec Science*, p. 4 [encadrés])

17) - Le terme-pivot est introduit par un verbe ou un groupe verbal et est placé dans une autre phrase. La caractérisation est inversée (où le terme-pivot est placé après le ou les caractères) (*Interface*, 1 cas; *Biologie générale 301*, 2 cas)

Ex. : « [...] croisements impliquant deux caractères. Il s'agit de dihybridisme. » (« La génétique », *Biologie générale 301*, p. 4)

18) - La caractérisation est placée dans une phrase indépendante (*Québec Science*, 1 cas)

Ex. : « *Prions*. Les derniers-nés de la liste des pathogènes émergents. » (« Virus et bactéries : pourquoi ils nous menacent », *Québec Science*, p. 2 [encadrés])

19) - Le caractère est mis entre guillemets. La caractérisation est inversée (où le terme-pivot est placé après le ou les caractères) (*Québec Science*, 1 cas)

Ex. : « [...] l'alerte aux "nouveaux microbes"? D'où viennent ces *agents pathogènes*? » (« Virus et bactéries : pourquoi ils nous menacent », *Québec Science*, p. 2)

### 3.7.3 Relateurs

Verbes ou groupes verbaux	<i>Interface</i>	<i>Québec Science</i>	<i>Biologie générale</i>
- a la propriété de	1	1	
- apparaît (aspect)			1
- appelé			1
- assure (rôle)			2
- ayant la propriété de			1
- bat			1
- c'est	1		4
- ce sont		1	
- ce sont eux qui donnent (effet)			1
- correspond à			2
- (d'où la raison) de qualifier			1
- est	3		10

<b>Verbes ou groupes verbaux (suite)</b>	<i>Interface</i>	<i>Québec Science</i>	<i>Biologie générale</i>
- est correcte si	1		
- est fondé sur	1		
- est présente chez (localisation)			1
- est pure lorsque (cause)	1		
- est représenté par			1
- est responsable de (rôle)			1
- est sécrétée par [...] et donne			1
- est [...] dont (analyse)			1
- est [...] et causé par (type et cause)			1
- est [...] parce que (type et cause)			1
- est [...] qui donne (type et effet)			1
- était		1	
- étant	1		1
- étant déterminé par	1		
- font saillie		1	
- il s'agit de	2	1	2
- impliquant	1		
- indiquant	1		
- jouent un rôle (rôle)			1
- la majorité sont; ont			1
- n'a pas (négatif)			1
- n'est que [...] et pouvant reprendre (type et possibilité)			1
- ne dépendent pas		1	
- ne peut avoir que			1
- ne sont pas	1		
- peut avoir (possibilité)			1
- peut déclencher (effet possible)		1	
- peut être occupé par (possibilité)			1
- peut provoquer (effet possible)		1	
- peut se présenter sous une forme (possibilité)	1		
- peuvent agir comme (effet possible)	1		
- peuvent demeurer (possibilité)	1		
- peuvent intervenir (effet possible)		1	
- peuvent subir (conséquence possible)			1
- porte [...] et occupe			1
- pourraient contenir (possibilité)	1		

<b>Verbes ou groupes verbaux (suite)</b>	<i>Interface</i>	<i>Québec Science</i>	<i>Biologie générale</i>
- pourraient être (possibilité)	1		
- pourraient protéger (effet possible)	1		
- pourraient servir de (rôle possible)	1		
- pourrait bloquer (effet possible)	1		
- pourrait être (possibilité)	1		
- proviennent de (cause) [...] ce sont			1
- représentant	1		
- se communiquant par		1	
- se déplace par (mode de déplacement)			1
- se présente comme [...] composée de (analyse)			1
- se renouvellent		1	
- se sont révélés efficaces contre	1		
- signent (rôle)	1		
- situé dans (localisation)		2	
- situées au fond (localisation)	1		
- situées sur (localisation)	1		
- sont	4		5
- sont de formes [...] et sont			1
- sont de type	1		
- sont en forme de [...] et peuvent			1
- sont qualifiés de			1
- sont responsables de (rôle)		1	
- sont responsables des (rôle)			1
- sont susceptibles de provoquer (effet)			1
- sont susceptibles de transmettre (effet possible)		1	
- sont transmises par	1		
- sont [...] dont			1
- sont [...] qui donne (type et effet)			1
- sont [...] responsables de (type et rôle)			1
- tel est			1
- transmis			1
- transmise par		2	
- (une caractéristique essentielle) est	1		

<b>Relatives</b>	<b>Interface</b>	<b>Québec Science</b>	<b>Biologie générale</b>
- ce qui a pour effet de (conséquence)	1		
- dans lequel se trouvent (analyse)			1
- dont	3	1	3
- dont chacun a pour fonction de (rôle)	1		
- dont le rôle est [...] et qui en se contractant (rôle et effet)			1
- dont [...] provoque (conséquence)		1	
- lequel peut modifier (possibilité)	1		
- lesquelles peuvent être (possibilité)	1		
- lesquels serviraient de (rôle)	1		
- où	6	1	1
- où elle joue un rôle (rôle)			1
- qui a pour effet de (effet)	1		
- qui a signé (conséquence)		1	
- qui a une action (effet)		1	
- qui affecte [...] et peut causer (effet)		1	
- qui agit comme (effet)		1	
- qui apparaît sous la forme de [...] et qui se trouve (présentation et localisation)			1
- qui apprend à	2		
- qui bloquent (conséquence)		1	
- qui code (effet)		1	
- qui continuent de décimer (effet)	1		
- qui découpe (conséquence)		1	
- qui défonce (conséquence)		1	
- qui est			1
- qui est chargé de (rôle)	1		
- qui est [...] qui peut exporter (effet possible)	1		
- qui formera	1		
- qui hypothèquent (effet)		1	
- qui jouent un rôle (rôle)	1		
- qui les détruit (effet)	1		
- qui n'est que	1		
- qui ne sont pas (négatif)	1		
- qui ont		2	
- qui opposait		1	
- qui peut être (possibilité)			1

<b>Relatives (suite)</b>	<i>Interface</i>	<i>Québec Science</i>	<i>Biologie générale</i>
- qui peuvent causer (effet possible)		1	
- qui produit (effet)		1	
- qui provoque (conséquence)		3	
- qui régit (rôle)			1
- qui résulte de (conséquence)	1		
- qui s'appliqueraient sur	1		
- qui se contentent d'intégrer (effet)		1	
- qui se présente sous forme de	1		
- qui se situent (localisation)			1
- qui se transforment (effet)	1		
- qui semblent avoir un effet (effet)	1		
- qui sert de (rôle)			1
- qui servent à (rôle)	1		
- qui servent de (rôle)	2		
- qui sont	1		1
- qui sont répétés (fréquence)	1		
- qui transforme (effet)		1	
- qui viennent contrecarrer (effet)		2	

<b>Adverbes ou locutions adverbiales</b>	<i>Interface</i>	<i>Québec Science</i>	<i>Biologie générale</i>
- comme (porteur)	1		
- plus précisément	1		
- toujours	1		

<b>Adjectifs ou groupes adjectivaux</b>	<i>Interface</i>	<i>Québec Science</i>	<i>Biologie générale</i>
- responsable de (rôle)	1		
- responsables de [...] et concentrés sur (rôle et localisation)		1	
- responsables de [...] et situés (rôle et localisation)		1	
- responsables des (rôle)	1		

<b>Locution conjonctive</b>	<i>Interface</i>	<i>Québec Science</i>	<i>Biologie générale</i>
- c'est-à-dire	1		

<b>Nom ou groupe nominal</b>	<i>Interface</i>	<i>Québec Science</i>	<i>Biologie générale</i>
- en forme de (forme)			2

<b>Conjonction de coordination</b>	<i>Interface</i>	<i>Québec Science</i>	<i>Biologie générale</i>
- donc			1

<b>Conjonction de subordination</b>	<i>Interface</i>	<i>Québec Science</i>	<i>Biologie générale</i>
- si [...] c'est			2

<b>Prépositions ou groupes prépositifs</b>	<i>Interface</i>	<i>Québec Science</i>	<i>Biologie générale</i>
- avec ses	1		
- malgré ses	1		

<b>Signes typographiques</b>	<i>Interface</i>	<i>Québec Science</i>	<i>Biologie générale</i>
- deux-points (juxtaposition)	x	x	x
- guillemets	x	x	
- parenthèses	x	x	x
- tirets	x	x	
- virgule (apposition)	x	x	x

### En résumé

Parmi tous les moyens linguistiques utilisés dans l'ensemble des trois types de discours, la caractérisation introduite par un verbe ou un groupe verbal est le moyen le plus employé (102 cas, dont 53 dans *Biologie générale 301*, 32 dans *Interface* et 17 dans *Québec Science*). Suivent la caractérisation introduite par une relative déterminative (38 cas, dont 12 dans *Québec Science*, 12 dans le manuel scolaire et 11 dans *Interface*) et la caractérisation introduite par une relative explicative (34 cas, dont 24 dans *Interface*, 10 dans *Québec Science* et aucun dans le manuel). La majorité des caractérisations sont placées dans la même phrase que le terme-pivot (210 fois comparativement à 36 fois dans une autre phrase juxtaposée).

### Variété des moyens linguistiques

Nous observons que la revue *Interface* offre la plus grande variété de moyens linguistiques (24, dont 22 dans la même phrase que le terme-pivot) et que la variété est semblable dans la revue *Québec Science* (17, dont 13 dans la même phrase) et dans le manuel scolaire (17, dont 15 dans la même phrase que le terme-pivot).

### Variété des relateurs

Les relateurs sont très variés : on en retrouve sept catégories dans *Interface* (30 types de verbes ou groupes verbaux, 26 types de relatives, 5 types de signes typographiques, 3 types d'adverbes ou locutions adverbiales, 2 types d'adjectifs ou groupes adjectivaux, 2 types de prépositions ou groupes prépositifs et 1 type de locution conjonctive); six catégories dans *Biologie générale 301* (43 types de verbes ou groupes verbaux, 12 types de relatives, 3 types de signes typographiques, 1 type de conjonction de coordination, 1 type de conjonction de subordination et 1 type de nom ou groupe nominal); et enfin quatre catégories dans *Québec Science* (20 types de relatives, 15 types de verbes ou groupes verbaux, 5 types de signes typographiques et 2 types d'adjectifs ou groupes adjectivaux). Ainsi, la revue *Interface* présente la plus grande variété de relateurs (69 types), suivie de *Québec Science* (61 types) et du manuel de biologie (42 types).

En conclusion, *Interface* présente la plus grande variété de moyens linguistiques et de relateurs. *Québec Science* est ex-æquo avec le manuel de biologie pour la variété des moyens linguistiques, mais la revue présente une plus grande variété de relateurs que le manuel scolaire.

### 3.8 Analyse

*Interface* (14 cas); *Québec Science* (13 cas); *Biologie générale 301* (13 cas)

#### 3.8.1 Définition du procédé

Reformulation du terme scientifique par la décomposition de l'objet en ses éléments ou en ses propriétés.

#### 3.8.2 Moyens linguistiques utilisés

- Dans la même phrase

1) - **L'analyse est introduite par un verbe ou un groupe verbal** (*Interface*, 8 cas;

*Québec Science*, 6 cas; *Biologie générale 301*, 8 cas)

Ex. : « [...] ***organoïdes artificiels*** composés de matériel inerte et de cellules contenant le gène correcteur. » (« La médecine des gènes », *Interface*, p. 3)

- ... et est juxtaposée (placée dans une paraphrase mise entre tirets) au terme-pivot

(*Interface*, 1 cas)

Ex. : « [...] ***neurones*** organisés en un réseau fortement interconnecté — un ***neurone*** peut avoir jusqu'à 10 000 connexions avec d'autres neurones — [...] » (« Les réseaux de neurones », *Interface*, p. 1)

- ... et est placée dans une paraphrase en apposition (précédée de la virgule) au

terme-pivot (*Québec Science*, 1 cas; *Biologie générale 301*, 1 cas)

Ex. : « [...] ***nucléole***, dépourvu de membrane et formé d'ADN, d'ARN et de protéines, [...] » (« La cellule », *Biologie générale 301*, p. 9)

2) - **Le terme technique est introduit par un verbe ou un groupe verbal.** L'analyse est précédée du terme technique et du deux-points (*Québec Science*, 1 cas;

*Biologie générale 301*, 1 cas)

Ex. : « [...] nous avons deux grandes **catégories de cellules** : celles qui se renouvellent, comme celles du système immunitaire, du sang, de la peau et des parois intestinales, et celles qui ne se renouvellent pas, comme celles du muscle cardiaque et des nerfs. » (« Apoptose : le suicide des cellules enfin compris », *Québec Science*, p. 1 [encadrés])

- ... L'analyse est inversée (où le terme-pivot est placé après les composantes)

(*Interface*, 1 cas)

Ex. : « [...] quelque trois milliards de nucléotides [...] contenus dans les quelque 100 000 **gènes répartis sur nos chromosomes** [...] » (« La médecine des gènes », *Interface*, p. 1 [encadrés])

3) - **L'analyse est introduite par une relative explicative** (*Interface*, 1 cas)

Ex. : « [...] **vecteurs viraux, qui peuvent** rarement contenir plus de 10 000 nucléotides. » (« La médecine des gènes », *Interface*, p. 5)

- Dans une autre phrase juxtaposée

4) - **L'analyse est introduite par un verbe ou un groupe verbal** (*Interface*, 3 cas;

*Québec Science*, 3 cas; *Biologie générale 301*, 3 cas)

Ex. : « [...] le **noyau** [...]. Il contient le nucléoplasme dans lequel se trouvent un réseau de chromatine et un ou plusieurs nucléoles. » (« La cellule », *Biologie générale 301*, p. 8)

- ... et est placée dans une autre phrase mise entre parenthèses (*Québec Science*, 1 cas)

Ex. : « [...] des **gènes** située dans [...]. (Les **gènes contiennent** l'information nécessaire à la synthèse des protéines, molécules constituant le matériau principal de nos cellules et de leurs fonctions. [...]) » (« Apoptose : le suicide des cellules enfin compris », *Québec Science*, p. 2)

5) - L'analyse est précédée du deux-points (*Québec Science*, 1 cas)

Ex. : « [...] **photorécepteurs** [...]. Il en existe deux catégories : les cônes, [...], et les bâtonnets, [...] » (« Comment le cerveau fabrique des images » et « On peut sauver des vues », *Québec Science*, p. 2)

## 3.8.3 Relateurs

Verbes ou groupes verbaux	Interface	Québec Science	Biologie générale
- atteint [...] n'en compte plus que		1	
- avons deux catégories		1	
- composés de	1		
- comprenant		1	
- comprend	2		
- comprennent			1
- constituant		1	
- constitué de	2		
- constitué des	1		
- constitués de		1	
- contenant	1		
- contenus dans	1		
- contiennent		1	
- contient	2	2	1
- dépourvu de [...] et formé de			1
- dépourvus de		1	
- est composé de	2		
- est constituée de			2
- est formé de			1
- étaient regroupés en deux catégories		1	
- formés de		1	
- il en existe deux catégories		1	
- il existe deux classes			1
- n'ont pas			1
- peut avoir	1		
- peuvent contenir (possibilité)			1
- présente dans		1	
- renferment			1
- sont classifiées selon			1
- sont constitués de			1
- sont formés de			1

Relative	Interface	Québec Science	Biologie générale
- qui peuvent contenir	1		

<b>Signes typographiques</b>	<i>Interface</i>	<i>Québec Science</i>	<i>Biologie générale</i>
- deux-points (juxtaposition)		x	x
- parenthèses		x	
- tirets	x		
- virgule (apposition)	x	x	x

### **En résumé**

#### Remarques générales

Dans les trois types de discours, l'introduction de l'analyse par un verbe ou un groupe verbal est le moyen linguistique le plus utilisé pour la reformulation de type analyse. En effet, les rédacteurs d'*Interface* ont employé ce moyen 12 fois (dont 3 fois dans une autre phrase), ceux de *Québec Science*, 11 fois (dont 4 fois dans une autre phrase), tandis que les rédacteurs et la rédactrice de *Biologie générale 301* en ont fait usage 12 fois (dont 3 fois dans une autre phrase). L'analyse est placée 101 fois dans la même phrase que le terme-pivot et seulement 11 fois dans une autre phrase juxtaposée.

#### Variété des moyens linguistiques

*Québec Science* présente 6 différents moyens, *Interface*, 5, et le manuel scolaire, 4.

#### Variété des relateurs

Il existe trois catégories de relateurs dans les textes d'*Interface* (9 types de verbes ou groupes verbaux, 2 types de signes typographiques et 1 type de relative); deux catégories dans ceux de *Québec Science* (12 types de verbes ou groupes verbaux et 3 types de signes typographiques) et deux catégories dans les chapitres de *Biologie générale 301* (12 types de verbes ou groupes verbaux et 2 types de signes

typographiques). Le verbe type est **comprendre, contenir** (ce qui inclut, notamment, les expressions « constitué de », « composé de » et « formé de »).

En conclusion, les moyens linguistiques sont légèrement plus variés dans *Québec Science*. Une fois de plus, le manuel scolaire occupe le dernier rang. Quant aux relateurs, *Québec Science* offre la plus grande variété et *Interface*, la plus faible.

### 3.9 Fonction

*Interface* (12 cas); *Québec Science* (22 cas); *Biologie générale 301* (4 cas)

#### 3.9.1 Définition du procédé

Reformulation du terme technique par une définition s'appuyant sur la finalité de l'objet, sur son usage et ses possibilités, éventuellement sur ses effets.

#### 3.9.2 Moyens linguistiques utilisés

- Dans la même phrase

- 1) - La fonction est introduite par un verbe ou un groupe verbal (*Interface*, 4 cas; *Québec Science*, 5 cas)

Ex. : « La **fovéa** permet, rappelons-le, la reconnaissance des couleurs et des visages. » (« Comment le cerveau fabrique des images » et « On peut sauver des vues », *Québec Science*, p. 5)

- ... et est placée dans une paraphrase en apposition (précédée de la virgule) au terme technique (*Québec Science*, 1 cas)

Ex. : « [...] cette **technique** [...], elle permettra probablement de traiter toutes les myopies. » (« Comment le cerveau fabrique des images » et « On peut sauver des vues », *Québec Science*, p. 3 [encadrés])

- ... et est juxtaposée (précédée du point-virgule) au terme technique. La fonction est à l'intérieur d'une paraphrase (*Québec Science*, 1 cas)

Ex. : « [...] la **réaction à la lumière** [...]; dans le règne animal, elle permet de voir. » (« Comment le cerveau fabrique des images » et « On peut sauver des vues », *Québec Science*, p. 1 [encadrés])

2) - La fonction est introduite par un adjectif ou un groupe adjectival (*Interface*, 3 cas; *Biologie générale 301*, 3 cas)

Ex. : « [...] qu'une **supercalculatrice** capable seulement d'exécuter un programme déterminé par l'utilisateur. » (« Les réseaux de neurones », *Interface*, p. 2)

- ... et est placée dans une paraphrase en apposition (précédée de la virgule) au terme technique (*Québec Science*, 5 cas)

Ex. : « [...] le **sérogroupe C**, capable de tuer, [...] » (« Virus et bactéries : pourquoi ils nous menacent », *Québec Science*, p. 4)

3) - La fonction est introduite par une relative déterminative (*Interface*, 1 cas; *Québec Science*, 3 cas)

Ex. : « C'est l'**ensemble du travail de ce réseau de neurones** qui nous permet de distinguer la forme et les détails de ce que l'on voit [...] » (« Comment le cerveau fabrique des images » et « On peut sauver des vues », *Québec Science*, p. 3)

4) - La fonction est introduite par une relative explicative (*Interface*, 2 cas; *Québec Science*, 2 cas)

Ex. : « [...] l'**organisme**, qui est capable de produire des milliers de cellules par jour, [...] » (« Le sida : une épidémie comme les autres? », *Interface*, p. 3)

5) - La fonction est introduite par un nom ou un groupe nominal (*Interface*, 1

cas; *Québec Science*, 1 cas)

Ex. : « [...] *Connexion Machine* [...] et sa capacité d'exécuter 10 milliards d'opérations par seconde [...] » (« Les réseaux de neurones », *Interface*, p. 1)

- ... La fonction est inversée (où le terme technique est placé après la fonction)

(*Biologie générale 301*, 1 cas)

Ex. : « La capacité de transmettre les traits caractéristiques d'une génération à l'autre s'appelle l'hérédité. » (« La génétique », *Biologie générale 301*, p. 1)

- Dans une autre phrase juxtaposée

6) - La fonction est introduite par un verbe ou un groupe verbal (*Interface*, 1 cas;

*Québec Science*, 3 cas)

Ex. : « *Virus*. [...] [...], parce qu'ils sont incapables de fonctionner ou de se reproduire par eux-mêmes. » (« Virus et bactéries : pourquoi ils nous menacent », *Québec Science*, p. 2 [encadrés])

### 3.9.3 Relateurs

Verbes ou groupes verbaux	<i>Interface</i>	<i>Québec Science</i>	<i>Biologie générale</i>
- est utilisée pour (usage)		1	
- n'ont pas la faculté de (possibilité)	1		
- nous permettra (finalité)		1	
- ont été utilisés pour (usage)	1		
- ont la propriété de permettre (finalité)	1		
- permet (finalité)		1	
- permet d'obtenir (finalité)	1		
- permet de (finalité)		3	
- permettent de (finalité)		1	
- permettra de (finalité)		1	
- permettrait de (finalité)		1	
- pouvaient permettre (possibilité)	1		
- sont incapables de (possibilité)		1	

<b>Noms ou groupe nominaux</b>	<i>Interface</i>	<i>Québec Science</i>	<i>Biologie générale</i>
- capacité (possibilité)	1		
- capacité à (possibilité)		2	
- la capacité de (possibilité)			1

<b>Relatives</b>	<i>Interface</i>	<i>Québec Science</i>	<i>Biologie générale</i>
- qui est capable de (possibilité)	1		
- qui nous permet de (finalité)		1	
- qui nous permettent de (finalité)		1	
- qui permet de (finalité)	1	3	
- qui permettrait de (finalité)	1		

<b>Adjectifs ou groupes adjectivaux</b>	<i>Interface</i>	<i>Québec Science</i>	<i>Biologie générale</i>
- capable de (possibilité)	1	2	1
- capables de (possibilité)	2	1	1
- essentiel à (finalité)		1	
- incapable de (possibilité)			1
- incapables de (possibilité)		1	

<b>Signes typographiques</b>	<i>Interface</i>	<i>Québec Science</i>	<i>Biologie générale</i>
- point-virgule (juxtaposition)		x	
- virgule (apposition)	x	x	

### En résumé

#### Remarques générales

L'introduction de la fonction par un verbe ou un groupe verbal est le moyen linguistique le plus utilisé (apparaît 10 fois dans *Québec Science*, dont 3 fois dans une autre phrase, et 5 fois dans *Interface*, dont 1 fois dans une autre phrase). La fonction introduite par un adjectif ou un groupe adjectival, localisée dans la même phrase que le terme-pivot, arrive au second rang (apparaît 5 fois dans *Québec Science*, 3 fois dans

*Interface* et 3 fois dans *Biologie générale 301*). La fonction est localisée la plupart du temps dans la même phrase (33 fois) que dans une autre phrase juxtaposée (4 fois).

#### Variété des moyens linguistiques

*Québec Science* offre la plus grande variété (8 différents moyens), suivie d'*Interface* (6) et de *Biologie générale 301* (2).

#### Variété des relateurs

*Interface* emploie cinq catégories de relateurs (5 types de verbes ou groupes verbaux, 3 types de relatives, 2 types d'adjectifs ou groupes adjectivaux, 1 type de nom ou groupe nominal et 1 type de signe typographique), *Québec Science* en emploie aussi cinq (8 types de verbes ou groupes verbaux, 4 types d'adjectifs ou groupes adjectivaux, 3 types de relatives, 2 types de signes typographiques et 1 type de nom ou groupe nominal), tandis que *Biologie générale 301* n'en emploie que deux (3 types d'adjectifs ou groupes adjectivaux et 1 type de nom ou groupe nominal).

En conclusion, *Québec Science* offre la plus grande variété de moyens linguistiques et de types de relateurs tandis que le manuel *Biologie générale 301* contient la plus faible variété dans les deux cas. La variété des moyens linguistiques et des relateurs de ce procédé est proportionnelle à la fréquence d'utilisation de la reformulation de type fonction. En effet, *Québec Science* emploie beaucoup plus la fonction que la revue *Interface* et le manuel scolaire.

### 3.10 Reformulation énumérative par liste exhaustive

*Interface* (6 cas); *Québec Science* (9 cas); *Biologie générale 301* (2 cas)

#### 3.10.1 Définition du procédé

Reformulation du terme-pivot par l'énumération de tous les membres d'une classe quelconque.

#### 3.10.2 Moyens linguistiques utilisés

- Dans la même phrase

##### 1) - La liste exhaustive est placée entre parenthèses après le terme-pivot

(*Interface*, 4 cas; *Québec Science*, 4 cas; *Biologie générale 301*, 2 cas)

Ex. : « [...] **acide nucléique** (ADN ou ARN) [...] » (« Virus et bactéries : pourquoi ils nous menacent », *Québec Science*, p. 1 [encadrés])

##### 2) - La liste exhaustive est juxtaposée (précédée du deux-points) au terme-pivot

(*Interface*, 1 cas; *Québec Science*, 5 cas)

Ex. : « [...] la **pathologie sous-jacente au sida** : la tuberculose et le sarcome de Kaposi donnent une moyenne de survie de trois ans, alors que la survie des sidéens ou sidéennes développant un lymphome (tumeur) non hodgkinien est de six mois seulement. » (« Le sida : une épidémie comme les autres? », *Interface*, p. 7)

##### 3) - La liste exhaustive est introduite par une relative explicative et est placée

dans une paraphrase en apposition (précédée de la virgule) au terme-pivot

(*Interface*, 1 cas)

Ex. : « [...] infections causées par des **microbes**, qu'il s'agisse de bactéries, de virus, de champignons ou de parasites. » (« Le sida : une épidémie comme les autres? », *Interface*, p. 1)

### 3.10.3 Relateurs

<b>Relative</b>	<i>Interface</i>	<i>Québec Science</i>	<i>Biologie générale</i>
- qu'il s'agisse de	1		

<b>Signes typographiques</b>	<i>Interface</i>	<i>Québec Science</i>	<i>Biologie générale</i>
- deux-points (juxtaposition)	x	x	
- parenthèses	x	x	x

#### En résumé

##### Remarques générales

Pour la reformulation énumérative par liste exhaustive, le moyen linguistique le plus populaire est celui qui place la liste exhaustive entre parenthèses après le terme-pivot (apparaît 4 fois dans *Interface*, 4 fois dans *Québec Science* et 2 fois dans *Biologie générale* 301). La liste exhaustive juxtaposée (précédée du deux-points) au terme-pivot est le deuxième moyen linguistique le plus populaire (apparaît 5 fois dans *Québec Science* et 1 fois dans *Interface*). Toutes les reformulations de ce type sont localisées dans la même phrase que le terme-pivot.

##### Variété des moyens linguistiques

La revue *Interface* occupe le premier rang (3 différents moyens), suivie de *Québec Science* (2) et du manuel scolaire (1). Il importe de souligner que ce procédé de reformulation est peu utilisé dans les articles et chapitres que nous avons analysés.

### Variété des relateurs

Il existe deux catégories de relateurs dans les textes d'*Interface* (1 type de relative et 2 types de signes typographiques), comparativement à une seule catégorie dans ceux de *Québec Science* (2 types de signes typographiques) et de *Biologie générale 301* (1 type de signes typographiques).

En conclusion, *Interface* emploie la plus grande variété de moyens linguistiques et de types de relateurs et le manuel scolaire en utilise le moins. Les différences entre les trois types de discours sont cependant minimales.

### **3.11 Reformulation énumérative par exemplification**

*Interface* (23 cas); *Québec Science* (24 cas); *Biologie générale 301* (16 cas)

#### **3.11.1 Définition du procédé**

Reformulation du terme-pivot par l'emploi d'exemples se rapportant à une classe quelconque.

#### **3.11.2 Moyens linguistiques utilisés**

- Dans la même phrase

- 1) - L'exemplification est introduite par une locution adverbiale (*Interface*, 8 cas; *Québec Science*, 5 cas; *Biologie générale 301*, 2 cas)

Ex. : « [...] **cellule gigantesque** comme l'œuf d'oiseau [...] » (« La cellule », *Biologie générale 301*, p. 2)

- ... et est placée en apposition (précédée de la virgule) au terme-pivot (*Interface*, 1 cas; *Québec Science*, 7 cas; *Biologie générale 301*, 1 cas)

Ex. : « Un **trait héréditaire**, comme celui de la coloration des fleurs chez les pois, [...] » (« La génétique », *Biologie générale 301*, p. 6)

- ... et est juxtaposée (placée dans une paraphrase en apposition précédée du point-virgule) au terme-pivot (*Interface*, 1 cas)

Ex. : « [...] **gènes** qui sont **très longs**; par exemple, ceux de la fibrose kystique, de l'hémophilie de type A et de la dystrophie musculaire de Duchenne. » (« La médecine des gènes », *Interface*, p. 5)

2) - L'exemplification est placée entre parenthèses (*Interface*, 2 cas; *Québec Science*, 4 cas; *Biologie générale 301*, 10 cas)

Ex. : « [...] **catégories** auxquelles ils appartiennent (chaise, arbre, humain...) [...] » (« Les réseaux de neurones », *Interface*, p. 5)

3) - L'exemplification est introduite par un adjectif ou un groupe adjectival (*Interface*, 2 cas)

Ex. : « [...] **virus**, tels l'HIV et ceux de l'hépatite. » (« La médecine des gènes », *Interface*, p. 7)

- ... et est placée en apposition (précédée de la virgule) au terme technique (*Interface*, 4 cas; *Biologie générale*, 1 cas)

Ex. : « [...] il accélère la progression de certaines **maladies**, telles les MTS [...] » (« Le sida : une épidémie comme les autres? », *Interface*, p. 4)

4) - L'exemplification est juxtaposée (précédée du deux-points) au terme-pivot (*Québec Science*, 3 cas)

Ex. : « [...] **maladies parasitaires** : malaria, schistosomiase. » (« Virus et bactéries : pourquoi ils nous menacent », *Québec Science*, p. 2 [encadrés])

- 5) - L'exemplification est introduite par un verbe ou un groupe verbal et est juxtaposée (placée dans une paraphrase en apposition précédée du point-virgule) au terme technique (*Interface*, 1 cas)

Ex. : « [...] **maladies somatiques** [...] résultat de défauts génétiques récessifs; c'est le cas de certains cancers. » (« La médecine des gènes », *Interface*, p. 1)

- ... et est placée dans une paraphrase, placée entre tirets, après le terme technique (*Interface*, 1 cas)

Ex. : « Lorsque le **tissu cible peut être prélevé et maintenu à l'extérieur du corps** — c'est le cas, notamment, pour la moelle osseuse et le sang, — [...] » (« La médecine des gènes », *Interface*, p. 4)

- 6) - L'exemplification est suivie d'une locution adverbiale mise en apposition (précédée de la virgule) au terme-pivot et est placée entre parenthèses (*Interface*, 1 cas)

Ex. : « [...] **groupe de caractères** (les voyelles, par exemple) [...] » (« Les réseaux de neurones », *Interface*, p. 4 [encadrés])

- 7) - L'exemplification est introduite par un pronom relatif et est placée en apposition (précédée de la virgule) au terme-pivot (*Interface*, 1 cas)

Ex. : « Quelques **spermicides**, dont le nonoxynol, le chlorure de benzalkanium et le menfégol [...] » (« Le sida : une épidémie comme les autres? », *Interface*, p. 6)

- 8) - Le terme technique est introduit par un groupe adjectival. L'exemplification est inversée (où le terme technique est placé après le ou les exemples) (*Québec Science*, 1 cas)

Ex. : « [...] œdèmes, fièvres et autres symptômes de l'inflammation. » (« Apoptose : le suicide des cellules enfin compris », *Québec Science*, p. 2)

- Dans une autre phrase juxtaposée

9) - L'exemplification est introduite par une locution adverbiale (*Interface*, 1 cas;

*Québec Science*, 2 cas; *Biologie générale 301*, 1 cas)

Ex. : « [...] **maladies infectieuses**. Par exemple, l'infection au *Escherichia coli* verotoxigène [...] » (« Virus et bactéries : pourquoi ils nous menacent », *Québec Science*, p. 1)

10) - L'exemplification est introduite par une préposition ou un groupe prépositif

(*Québec Science*, 1 cas)

Ex. : « [...] plusieurs **maladies insoupçonnées**. Parmi elles, l'hépatite C [...] » (« Virus et bactéries : pourquoi ils nous menacent », *Québec Science*, p. 3)

11) - L'exemplification est introduite par un verbe ou un groupe verbal (*Biologie*

*générale 301*, 1 cas)

Ex. : « La **gélification** [...]. C'est le cas du Jello lorsque la solution contenant de la gélatine (une protéine) prend en masse pour former un état "gel" relativement malléable [...] » (« La cellule », *Biologie générale 301*, p. 7)

12) - L'exemplification est introduite par une conjonction (*Québec Science*, 1 cas)

Ex. : « [...] des **maladies infectieuses**. [...]. Ou encore, l'infection invasive à streptocoque A [...] » (« Virus et bactéries : pourquoi ils nous menacent », *Québec Science*, p. 2)

### 3.11.3 Relateurs

Verbes ou groupes verbaux	<i>Interface</i>	<i>Québec Science</i>	<i>Biologie générale</i>
- c'est le cas de	1		
- c'est le cas du			1
- c'est le cas pour	1		

<b>Adverbes ou locutions adverbiales</b>	<i>Interface</i>	<i>Québec Science</i>	<i>Biologie générale</i>
- comme	9	12	1
- comme c'est le cas de			1
- comme celui de			1
- il en est de même pour		1	
- par exemple	2	1	1

<b>Adjectifs ou groupes adjectivaux</b>	<i>Interface</i>	<i>Québec Science</i>	<i>Biologie générale</i>
- et autres		1	
- tel est le cas des			1
- telle	1		
- telles	2		
- telles que	1		
- tels	2		

<b>Pronom relatif</b>	<i>Interface</i>	<i>Québec Science</i>	<i>Biologie générale</i>
- dont	1		

<b>Conjonction</b>	<i>Interface</i>	<i>Québec Science</i>	<i>Biologie générale</i>
- ou		1	

<b>Préposition ou groupe prépositif</b>	<i>Interface</i>	<i>Québec Science</i>	<i>Biologie générale</i>
- parmi		1	

<b>Signes typographiques</b>	<i>Interface</i>	<i>Québec Science</i>	<i>Biologie générale</i>
- deux-points (juxtaposition)		x	
- parenthèses	x	x	x
- point-virgule (juxtaposition)	x		
- tirets	x		
- virgule (apposition)	x	x	x

## En résumé

### Remarques générales

L'exemplification introduite par une locution adverbiale est le moyen le plus fréquent (apparaît 11 fois dans *Interface*, dont 1 fois dans une autre phrase, 14 fois dans *Québec Science*, dont 2 fois dans une autre phrase, et 4 fois dans *Biologie générale 301*, dont 1 fois dans une autre phrase), suivi de l'exemplification placée entre parenthèses (apparaît 10 fois dans le manuel scolaire, 4 fois dans *Québec Science* et 2 fois dans *Interface*). La reformulation énumérative de type exemplification est placée majoritairement dans la même phrase que le terme-pivot (56 fois comparativement à 7 fois dans une autre phrase juxtaposée).

### Variété des moyens linguistiques

La revue *Interface* domine (11 différents moyens), suivie de *Québec Science* (8) et du manuel scolaire (6).

### Variété des relateurs

*Interface* offre cinq catégories de relateurs (soit 2 types d'adverbes ou locutions adverbiales, 4 types de signes typographiques, 2 types de verbes ou groupes verbaux, 1 type de pronom relatif et 4 types d'adjectifs ou groupes adjectivaux), *Québec Science* en présente six (soit 3 types d'adverbes ou locutions adverbiales, 3 types de signes typographiques, 1 type de conjonction, 1 type d'adjectif ou groupe adjectival et 1 type de préposition ou groupe prépositif), tandis que le manuel scolaire en offre quatre (soit 4 types d'adverbes ou locutions adverbiales, 2 types de signes typographiques, 1 type de verbe ou groupe verbal et 1 type d'adjectif ou groupe adjectival).

En conclusion, la revue *Interface* offre la plus grande variété de moyens linguistiques et de types de relateurs et le manuel scolaire arrive encore au dernier rang dans ces deux catégories.

### 3.12 Analogie

*Interface* (aucun cas); *Québec Science* (3 cas); *Biologie générale 301* (2 cas)

#### 3.12.1 Définition du procédé

Reformulation du terme scientifique par l'utilisation d'un exemple se rapportant au quotidien, au concret.

#### 3.12.2 Moyens linguistiques utilisés

- Dans la même phrase

- 1) - L'analogie est introduite par un groupe nominal placé en apposition (précédé de la virgule) au terme technique (*Québec Science*, 2 cas; *Biologie générale 301*, 2 cas)

Ex. : « [...] trépan, une sorte de couteau cylindrique, [...] » (« Comment le cerveau fabrique des images » et « On peut sauver des vies », *Québec Science*, p. 4)

Ex. : « [...] l'activation d'une enzyme déjà présente dans la cellule, une sorte de dynamite cellulaire. » (« Apoptose : le suicide des cellules enfin compris », *Québec Science*, p. 4)

Ex. : « [...] masse d'ADN circulaire, sorte de chromosome primitif, [...] » (« La cellule », *Biologie générale 301*, p. 10)

Ex. : « [...] une ligne, une sorte d'interface là où finit le cytoplasme. » (« La cellule », *Biologie générale 301*, p. 4)

2) - L'analogie est placée entre guillemets (*Québec Science*, 1 cas)

Ex. : « [...] molécules dotées de "*doigts de zinc*". » (« Apoptose : le suicide des cellules enfin compris », *Québec Science*, p. 5 [encadrés])

### 3.12.3 Relateurs

Groupes nominaux	<i>Interface</i>	<i>Québec Science</i>	<i>Biologie générale</i>
- sorte de			1
- une sorte de		2	1

Signes typographiques	<i>Interface</i>	<i>Québec Science</i>	<i>Biologie générale</i>
- guillemets		x	
- virgule (apposition)		x	x

#### En résumé

#### Remarques générales

Bien que l'analogie soit peu utilisée dans les trois types de discours, il existe tout de même deux moyens linguistiques différents, localisés dans la même phrase que le terme-pivot. L'analogie introduite par un groupe nominal est le moyen le plus utilisé (apparaît 2 fois dans *Québec Science* ainsi que dans le manuel scolaire). On y utilise les expressions « une sorte de » ou « sorte de » pour introduire l'analogie. L'analogie placée entre guillemets n'apparaît qu'une fois dans *Québec Science*, et il semble que ce soit pour faire comprendre que l'expression est imagée.

#### Variété des moyens linguistiques

Seule la revue *Québec Science* offre deux moyens différents. *Biologie générale 301* en n'offre qu'un seul, tandis qu'*Interface* n'emploie aucune analogie.

### Variété des relateurs

Les textes de *Québec Science* contiennent deux catégories de relateurs (soit 2 types de signes typographiques et 1 type de groupe nominal) et ceux du manuel scolaire en contiennent aussi deux (soit 2 types de groupes nominaux et 1 type de signe typographique).

En conclusion, les différences entre la variété des moyens linguistiques et des relateurs pour la reformulation de type analogie dans les trois types de discours ne sont pas très significatives parce que les textes de *Québec Science* ne contiennent que trois analogies, ceux de *Biologie générale 301*, deux, et ceux d'*Interface*, aucune.

### **3.13 Métaphore**

*Interface* (aucun cas); *Québec Science* (aucun cas); *Biologie générale 301* (aucun cas)

#### **3.13.1 Définition du procédé**

Reformulation qui remplace le terme-pivot par une expression imagée, par un jeu d'équivalences.

### **3.14 Comparaison**

*Interface* (6 cas); *Québec Science* (5 cas); *Biologie générale 301* (1 cas)

### 3.14.1 Définition du procédé

Reformulation du terme-pivot par l'emploi d'un exemple qui apporte une comparaison par l'emploi de conjonctions (comme, tel que, etc.).

### 3.14.2 Moyens linguistiques utilisés

- Dans la même phrase

- 1) - La comparaison est introduite par un verbe ou un groupe verbal comprenant une conjonction (*Interface*, 3 cas; *Québec Science*, 1 cas)

Ex. : « **Le matériel génétique ou les gènes, c'est un peu comme** les plans et devis d'un organisme vivant [...] » (« La médecine des gènes », *Interface*, p. 1)

Ex. : « Les **neurones biologiques [...] peuvent être visualisés comme** des convertisseurs non linéaires tension-fréquence : la fréquence d'émission des pulsations électriques d'un neurone est une fonction non linéaire de son potentiel membranaire. » (« Les réseaux de neurones », *Interface*, p. 3)

Ex. : « Si nous **visualisons le réseau de neurones biologiques comme** un système dynamique complexe [...] » (« Les réseaux de neurones », *Interface*, p. 2)

Ex. : « [...] on **regarde la tumeur cancéreuse comme** un amas de cellules où le processus de mort cellulaire a failli. » (« Apoptose : le suicide des cellules enfin compris », *Québec Science*, p. 3)

- 2) - La comparaison est introduite par une conjonction placée en apposition

(précédée de la virgule) au terme-pivot (*Interface*, 2 cas; *Québec Science*, 1 cas)

Ex. : « Le **VIH, comme** la plupart des virus, [...] » (« Le sida : une épidémie comme les autres? », *Interface*, p. 3 [encadrés])

Ex. : « Ces deux **infections, tout comme** le choléra [...] » (« Le sida : une épidémie comme les autres? », *Interface*, p. 5)

Ex. : « **Ces boucles font saillie [...] comme** des doigts. » (« Apoptose : le suicide des cellules enfin compris », *Québec Science*, p. 5 [encadrés])

- 3) - La comparaison est introduite par un verbe ou un groupe verbal (*Québec Science*, 2 cas)

Ex. : « [...] **symptômes** font penser à ceux d'une grippe [...] » (« Virus et bactéries : pourquoi ils nous menacent », *Québec Science*, p. 1)

Ex. : « Ces **organes** ressemblent à une intersection. » (« Apoptose : le suicide des cellules enfin compris », *Québec Science*, p. 3 [encadrés])

- 4) - La comparaison est introduite par un nom ou un groupe nominal et est placée entre tirets après le terme-pivot (*Québec Science*, 1 cas)

Ex. : « [...] **épaisseur de 680 microns** — l'équivalent de 10 pages d'un magazine comme *Québec Science* — [...] » (« Comment le cerveau fabrique des images » et « On peut sauver des vues », *Québec Science*, p. 4)

- 5) - La comparaison est introduite par une subordonnée circonstancielle de comparaison (*Interface*, 1 cas)

Ex. : « [...] les 850 000 **neurones de l'abeille** sont 100 000 fois plus lents que les processeurs de la Connexion Machine [...] » (« Les réseaux de neurones », *Interface*, p. 1-2)

- Dans une autre phrase juxtaposée

- 6) - La comparaison est introduite par un verbe ou un groupe verbal comprenant une conjonction (*Biologie générale 301*, 1 cas)

Ex. : « [...] une **membrane plasmique** [...]. [...] cette **membrane** s'observe comme une ligne, une sorte d'interface là où finit le cytoplasme. » (« La cellule », *Biologie générale 301*, p. 4)

### 3.14.3 Relateurs

Verbes ou groupes verbaux	<i>Interface</i>	<i>Québec Science</i>	<i>Biologie générale</i>
- font penser à		1	
- ressemblent à		1	

<b>Verbes ou groupes verbaux comprenant une conjonction</b>	<i>Interface</i>	<i>Québec Science</i>	<i>Biologie générale</i>
- c'est un peu comme	1		
- peuvent être visualisés comme	1		
- regarde comme		1	
- s'observe comme			1
- visualisons comme	1		

<b>Subordonnée circonstancielle de comparaison</b>	<i>Interface</i>	<i>Québec Science</i>	<i>Biologie générale</i>
- plus lents que	1		

<b>Conjonctions</b>	<i>Interface</i>	<i>Québec Science</i>	<i>Biologie générale</i>
- comme	1	1	
- tout comme	1		

<b>Nom ou groupe nominal</b>	<i>Interface</i>	<i>Québec Science</i>	<i>Biologie générale</i>
- l'équivalent de		1	

<b>Signes typographiques</b>	<i>Interface</i>	<i>Québec Science</i>	<i>Biologie générale</i>
- tirets		x	
- virgule (apposition)	x	x	

### **En résumé**

#### Remarques générales

Dans les trois types de discours, il existe deux moyens linguistiques utilisés pour la reformulation de type comparaison qui sont plus populaires : la comparaison introduite par un verbe ou un groupe verbal comprenant une conjonction (apparaît 3 fois dans *Interface*, 1 fois dans *Québec Science* et 1 fois (localisée dans une autre phrase) dans *Biologie générale 301*) ainsi que la comparaison introduite par une conjonction (apparaît 2 fois dans *Interface* et 1 fois *Québec Science*). La comparaison est placée

11 fois dans la même phrase que le terme-pivot et une seule fois dans une autre phrase juxtaposée.

### Variété des moyens linguistiques

La revue *Québec Science* présente la plus grande variété de moyens linguistiques (4 moyens différents), suivie d'*Interface* (3) et du manuel scolaire (1).

### Variété des relateurs

Il existe cinq catégories de relateurs dans les textes de *Québec Science* (soit 2 types de verbes ou groupes verbaux, 2 types de signes typographiques, 1 type de conjonction, 1 type de verbe ou groupe verbal comprenant une conjonction et 1 type de nom ou groupe nominal); quatre catégories dans ceux d'*Interface* (soit 2 types de conjonctions, 3 types de verbes ou groupes verbaux comprenant une conjonction, 1 type de subordonnée circonstancielle de comparaison et 1 type de signe typographique); et une catégorie dans les textes de *Biologie générale 301* (soit 1 type de verbe ou groupe verbal comprenant une conjonction).

En conclusion, *Québec Science* occupe le premier rang pour la variété des moyens linguistiques et arrive ex-æquo avec *Interface* quant à la variété des types de relateurs.

Le manuel scolaire occupe le dernier rang dans ces deux catégories.

### **3.15 Métonymie**

*Interface* (aucun cas); *Québec Science* (aucun cas); *Biologie générale 301* (aucun cas)

### **3.15.1 Définition du procédé**

Reformulation qui remplace le terme-pivot par un glissement de références.

## **3.16 Série superordonnée**

### **3.16.1 Définition du procédé**

Reformulation, tout au cours d'un texte, d'un même terme technique par des termes plus génériques (de plus grande extension) et plus spécifiques comportant un rapport d'emboîtement ou d'inclusion entre eux.

### **3.16.2 Remarques**

À travers toutes les reformulations d'un même texte, on parvient à reconstituer une ou plusieurs séries superordonnées. On n'associe pas de moyens linguistiques ou de relateurs propres à ce procédé, car, la plupart du temps, les termes-pivot et les termes reformulés appartiennent déjà à l'un ou l'autre des autres procédés de reformulation. C'est grâce à l'ensemble des reformulations que l'on arrive à reconstituer la série.

Et pourquoi retracer les séries? Parce qu'elles fournissent des éléments logiques du texte. Selon nous, une rédactrice ou un rédacteur soucieux de bien faire comprendre toute la subtilité des termes scientifiques devrait exploiter cette technique de reformulation.

Comme en fait mention la théorie de Jacobi (1990 : 107), les termes d'une série superordonnée ne sont pas nécessairement placés dans ce même ordre dans le texte : tous les termes d'une série sont mobilisables. Nous avons indiqué entre parenthèses le numéro de la page de l'article ou du chapitre où chacun des termes apparaît, afin de montrer que les termes de la série ne sont pas nécessairement dans cet ordre dans le

texte. Le signe « > » doit se lire « englobe le terme »; ainsi les termes de nos séries sont placés du plus générique au plus spécifique. Nous avons reconstitué chacune des séries superordonnées présentes dans les neuf textes et nous les présentons ci-après. Voici d'abord un exemple concret d'une série que nous avons reconstituée.

**Intégration d'un gène correcteur dans une cellule porteuse d'un gène défectueux** (« La médecine des gènes », *Interface*, p. 1 [Figure 1 des encadrés])

« De nombreuses techniques nous permettent d'introduire un **vecteur** porteur d'un **gène correcteur** dans une **cellule** porteuse du même gène, mais défectueux. Le but visé par toutes les techniques est de faire parvenir le **vecteur** dans le **noyau** de la **cellule**. Une fois sur place, le **vecteur** pourra s'intégrer dans le **matériel génétique** de la cellule qui se présente sous forme de **chromosomes**. »

À partir de cet extrait nous pouvons tout d'abord écrire trois courtes séries :

(1<sup>re</sup> phrase) cellule (porteuse du même gène, mais défectueux) > vecteur > gène correcteur;

(2<sup>e</sup> phrase) cellule > noyau > vecteur;

(3<sup>e</sup> phrase) matériel génétique (de la cellule) > (qui se présente sous forme de) chromosomes > vecteur.

Et ainsi reconstituer la série superordonnée suivante :

cellule > noyau > matériel génétique (de la cellule) > chromosomes > vecteur > gène correcteur.

L'espace limité nous oblige à ne présenter que la version synthétisée de chacune des séries.

### 3.16.3 Interface

- « Le sida : une épidémie comme les autres? » (2 séries)

- 1- maladies (p.1) > infections contagieuses (p. 1) > épidémies (p. 2) > pandémies (p. 3) > MTS (p.4) > sida (p. 1)
- 2- microbes (p. 1) > bactéries, virus, champignons, parasites (p. 1) > éléments pathogènes (p. 1) > rétrovirus (p. 3) > virus du sida (p. 3) > VIH-1, VIH-2 (p. 5)

- Encadré 2 (1 série superordonnée)

- 1- pathogènes (p. 2) > MTS (p. 2) > infection par le VIH (p. 2)

- « La médecine des gènes » (3 séries)

- 1- maladies génétiques récessives/dominantes (p. 1-2) > maladies héréditaires/maladies somatiques (p. 1) > cancer (type de maladie somatique) (p. 1)
- 2- cellule (p. 2) > matériel génétique (de la cellule) (p. 3) > nucléotides (p. 8)
- 3- vecteur (p. 5) > matériel génétique (du vecteur) (p. 8) > nucléotides (p. 8) et gène correcteur (p. 5)

- Encadré 1 « Le projet Hugo » (1 série)

- 1- matériel génétique de la cellule > chromosomes > gènes > nucléotides > adénine, cytosine, guanine, thymine (tous les termes de la série apparaissent dans un seul paragraphe)

- Figure 1 « Intégration d'un gène correcteur dans une cellule porteuse d'un gène défectueux » (1 série)

- 1- cellule > noyau > matériel génétique (de la cellule) > chromosomes > vecteur > gène correcteur (tous les termes de la série apparaissent dans un seul paragraphe)

- « Les réseaux de neurones » (2 séries, dont la seconde se divise en deux)

- 1- cerveau humain (p. 1) > réseau de neurones biologiques (p. 2) > neurones (p. 1)
- 2 a) machine neuronale (p. 1) > perceptron (p. 5) > neurone du type McCulloch et Pitts (p. 5)
- 2 b) machine neuronale (p. 1) > préprocesseur (p. 5) > neurones (p. 5)

#### 3.16.4 Québec Science

- « Virus et bactéries : pourquoi ils nous menacent » (1 série qui se divise en deux)

- 1 a) micro-organismes (p. 1) > microbes (p. 2) > agents pathogènes (p. 2) > virus/bactéries (p. 1) > espèces virales et bactériennes (espèces microbiennes) (p. 3) > souches ou clones (p. 3) > clone dominant (p. 4) > séro groupe B (p. 4)
- 1 b) micro-organismes (p. 1) > microbes (p. 2) > agents pathogènes (p. 2) > virus (p. 5) > phages (p. 5) > phages tempérés (p. 5)

- « Apoptose : le suicide des cellules enfin compris » (1 série qui se divise en deux)

- 1 a) cellules (p. 1) > protéines (p. 2) > enzyme/apoptaïne/Yama (p. 4-5) > mécanisme d'autodestruction (p. 1)
- 1 b) cellules (p. 1) > noyau (p. 2) > ADN (p. 2) > gènes (p. 2)

- « Comment le cerveau fabrique des images » (2 séries)

- 1- cellules nerveuses (p. 1) > réseau de neurones (p. 2) > neurones (p. 1) > photorécepteurs (cônes et bâtonnets) (p. 2)
- 2- neurotransmetteurs (p. 1) > peptide (p. 1) > angiotensine 2/angiotensine (p. 1)

- Encadré « Le parcours d'une image » (1 série qui se divise en deux)

- 1 a) régions du cerveau (p. 2) > mésencéphale (p. 2) > colliculus supérieur (p. 2)
- 1 b) régions du cerveau (p. 2) > thalamus (p. 2) > pulvinar (p. 2)

• « On peut sauver des vues » (2 séries)

- 1- maladies de l'œil (p. 4) > dégénérescence maculaire, glaucome, cataractes (p. 4)
- 2- troubles oculaires (p. 4) > myopie, presbytie (p. 4)

3.16.5 *Biologie générale 301*

• « La cellule » (4 séries)

- 1- tissu (p. 2) > cellules (p. 2) > cytoplasme (p. 2) > hyaloplasme (p. 4) > noyau (p. 4) > nucléoplasme (p. 8) > réseau de chromatine (chromosomes) et nucléole (p. 8)
- 2- noyau interphasique (p. 9) > nucléole (p. 9) > ADN, ARN, protéines (p. 9)
- 3- plastes (p. 10) > chromoplastes (p. 10) > caroténoïdes (carotènes et xanthophylles) (p. 10)
- 4- cellule végétale (p. 11) > vacuole géante (p. 11) > anthocyanes (p. 11)

• « Les Monères » (1 série qui se divise en deux)

- 1 a) Procaryotes (p. 1) > Monères (Bactéries et Cyanophytes) (p. 1) > cellule (p. 1) > cytoplasme (p. 1) > lamelles membraneuses (p. 1)
- 1 b) Procaryotes (p. 1) > Monères (p. 1) > Bactéries (p. 1) > cytoplasme (p. 1) > unique chromosome circulaire (p. 2) > matériel héréditaire formé d'acides nucléiques (p. 2)

- « La génétique » (2 séries)

1- cellule (p. 1) > noyau (p. 1) > chromosomes (p. 1) > gènes (p. 6) > allèles (p. 6)

2- gamètes mâles et femelles (p. 2) > chromosomes (p. 1) > gènes (p. 6) > allèles (p. 6)

### En résumé

Nous avons remarqué que chacun des textes comporte au moins une série superordonnée et que la longueur de la série n'est pas toujours proportionnelle à la longueur de l'article ou du chapitre ni de la source (*Québec Science, Interface, Biologie générale 301*) d'où elle est tirée.

Les séries ne sont pas toujours évidentes à retracer; il faut parfois un œil entraîné, familier avec le sujet étudié. Pour les chapitres du manuel scolaire, nous avons dû recourir à quelques outils de base, notamment deux autres manuels de biologie de niveau collégial (*Biologie, tome I*, de Karen Arms et Pamela S. Camp, adaptation française de Jules Fontaine et Lucie Morin, ainsi que *Anatomie et physiologie humaine*, de Eldra Pearl Solomon et P. William Davis, adaptation française de Christian Cholette), pour bien distinguer les éléments d'une série, car les emboîtements n'étaient pas assez clairs à nos yeux. Ainsi, dans l'ensemble, les séries des deux revues étaient plus simples à reconstituer que celles de *Biologie générale 301*. Les difficultés que nous avons rencontrées face aux séries du manuel scolaire sont probablement liées au fait que plusieurs termes scientifiques n'étaient pas reformulés dans les trois chapitres que nous avons analysés. Nous supposons que ces termes non reformulés ont pu être vulgarisés dans les autres chapitres, ou encore que les enseignants et enseignantes les reformulent à travers leurs cours magistraux.

Enfin, il est difficile de savoir si les rédacteurs et la rédactrice des trois types de discours étaient familiers avec l'usage des séries superordonnées. Peut-être que la présence des séries superordonnées dans les neuf textes n'est en grande partie que le fruit du hasard.

Selon nous, avant de rédiger un texte de vulgarisation scientifique, il est essentiel d'établir une ou plusieurs séries superordonnées. En effet, grâce aux rapports d'inclusion des termes, les séries contribuent à la logique d'un texte. Aussi, parce qu'elles sont un procédé de reformulation, les séries superordonnées favorisent la communication scientifique. Il importe donc de bien utiliser ce procédé : une série incomplète, des termes mal placés ou l'absence de liens logiques entre les termes à l'intérieur du texte nuisent et peuvent même être un frein à la communication.

## Conclusion

En faisant la moyenne, on s'aperçoit que les rédacteurs de *Québec Science* emploient généralement une plus grande variété de moyens linguistiques que ceux d'*Interface*, et que les moyens sont les moins variés dans le manuel scolaire. De plus, la majorité des reformulations sont localisées dans la même phrase que le terme-pivot. Quant aux catégories de relateurs, elles sont globalement aussi diversifiées dans les textes d'*Interface* que dans ceux de *Québec Science*. Là aussi, *Biologie générale 301* offre la plus faible variété de catégories. Enfin, *Québec Science* occupe le premier rang quant à la variété des types de relateurs et le manuel scolaire occupe une fois de plus le dernier rang.

Nous remarquons une certaine ressemblance quant aux présents résultats et ceux du chapitre précédent. En effet, *Québec Science*, qui offrait la plus grande fréquence et la plus grande variété des divers procédés utilisés, présente aussi la plus grande variété de moyens linguistiques et de relateurs. De la même façon, le manuel *Biologie générale 301*, qui occupait le dernier rang quant à la fréquence et à la variété des divers procédés, offre la plus faible variété de moyens linguistiques et de relateurs.

Nous présentons ci-après le tableau synthèse des moyens linguistiques les plus populaires pour chaque procédé, avec indication de la fréquence de chacun dans *Interface*, *Québec Science* et *Biologie générale 301*. Suit la typologie des procédés de reformulation et des principaux relateurs. Il importe de mentionner qu'à la suite de notre analyse, nous proposons une nouvelle typologie qui nous apparaît plus fonctionnelle. Entre autres, nous avons groupé sous la Définition partielle les reformulations de type Caractérisation, Analyse, Fonction et Reformulation

énumérative par liste exhaustive, tandis que nous avons placé les reformulations de type Analogie, Métaphore, Comparaison et Métonymie dans la catégorie Reformulation énumérative par exemplification. À cette typologie, nous avons ajouté les relateurs répertoriés dans notre corpus. Il va de soi que certains relateurs peuvent servir pour plusieurs procédés. Nous avons en outre remis les verbes à l'infinitif ou à une forme neutre. Enfin, la lectrice ou le lecteur désirant une explicitation de ces données devra se référer au contenu du présent chapitre.

Tableau 3.1

<b>Moyens linguistiques les plus populaires pour chaque procédé</b>	<b>Interface</b>	<b>Québec Science</b>	<b>Biologie générale</b>
- le terme plus courant est placé entre parenthèses	2	5	
- le terme coréférent est éloigné du terme scientifique	6	31	5
- le terme coréférent est placé dans une autre phrase juxtaposée	10	11	
- introduite par un verbe ou un groupe verbal	9	8	9
- introduite par un verbe ou un groupe verbal	41	44	37
- le terme technique est précédé d'un verbe ou d'un groupe verbal	6	18	4
- le terme technique est placé entre parenthèses	10	3	7
- le terme technique est introduit par un verbe ou un groupe verbal	1	11	2
- l'expression équivalente est placée entre parenthèses	11	1	
- introduite par un verbe ou un groupe verbal	32	17	53
- introduite par une relative déterminative	11	12	12
- introduite par une relative explicative	24	10	
- introduite par un verbe ou un groupe verbal	12	11	12
- introduite par un verbe ou un groupe verbal	5	10	
- introduite par un adjectif ou un groupe adjectival	3	5	3
- placée entre parenthèses après le terme-pivot	4	4	2
- juxtaposée (précédée du deux-points) au terme-pivot	1	5	
- introduite par une locution adverbiale	11	14	4
- l'exemplification est placée entre parenthèses	2	4	10
- introduite par un groupe nominal		2	2
*****			
- introduite par un verbe ou un groupe verbal comprenant une conjonction	3	1	1
- introduite par une conjonction	2	1	
*****			
*****			

## Typologie des procédés de reformulation et des principaux relateurs

### Procédé                      Reformulation du terme technique pivot par :

1. **Double dénomination**                      - l'utilisation d'un synonyme d'un niveau de langue plus courant.  
Ex. : « [...] infection invasive à streptocoque A, *la bactérie "dévoreuse de chair"*, [...] ». <sup>1</sup>

Signes typographiques	Conjonction
- guillemets	- ou
- parenthèses	
- virgule (apposition)	

2. **Coréférence**                      - l'emploi d'un autre terme coréférent (mot ou expression équivalente) pour éviter les répétitions ou pour mieux faire comprendre.  
Ex. : « [...] l'hémophilie offre des perspectives intéressantes. *La maladie* [...] ». <sup>10</sup>

Adverbe ou locution adverbiale	Signe typographique
- aussi	- virgule (apposition)

3. **Dénomination**                      - l'utilisation d'un élément qui est linguistiquement de plus grande extension ou qui apporte un supplément d'information.  
Ex. : « [...] une protéine *appelée "gardienne du génome"*. » <sup>7</sup>

Verbes ou groupes verbaux	Relatives
- appeler (aussi)	- qu'on appelle
- baptiser	<b>Signes typographiques</b>
- c'est	- guillemets
- connu sous le nom de	- parenthèses
- dit	- tirets
- nommer	- virgule (apposition)

4. **Équivalence** - un autre terme ou groupe de mots équivalent qui peut être plus connu, plus concret.  
 Ex. : « [...] plasma — *le liquide sanguin* — [...] ».<sup>2</sup>

Verbes ou groupes verbaux	Conjonctions ou locutions conjonctives	Signes typographiques
- appeler (alors)	- c'est-à-dire	- deux-points (juxtaposition)
- correspondre à	- ou	- guillemets
- également appelé	<b>Relative</b>	- parenthèses
- être	- qu'on appelle (alors)	- tirets
- être appelé		- virgule (apposition)
- nommer		
- parler (alors)		
- se nommer		

5. **Définition complète** - une expression ou une phrase qui permet de comprendre précisément ce que signifie la notion que recouvre le terme.  
 Ex. : « [...] apoptose, *d'un mot grec désignant le processus par lequel un arbre se sépare de ses feuilles.* »<sup>6</sup>

Verbes ou groupes verbaux		Signes typographiques
- appeler	- expliquer par	- deux-points avec guillemets
- c'est	- le but est	- guillemets
- considérer comme	- pour être considéré comme	- parenthèses
- consister à	- pour qu'on puisse parler de	- tiret
- désigner	- représenter	- virgule (apposition)
- désigner sous le nom	- s'occuper de	<b>Relative</b>
- entendre par là	- signifier	- qui est associé à
- être	- signifier que	<b>Locution conjonctive</b>
- être transmis via	- tenir à	- c'est-à-dire

## 6. Définition partielle

- une expression ou une phrase qui renseigne le lecteur ou la lectrice sur l'un ou l'autre aspect que recouvre la notion : une conséquence, un effet, une cause, un but, une finalité, une éventualité (possibilité), un lieu (localisation), etc.

Ex. : « Les Monères constituent *un règne formé d'êtres dont l'organisation se réduit à une structure microscopique simple.* »<sup>13</sup>

Verbes ou groupes verbaux		
- accélérer	- être le résultat de	- ne considère pas comme
- activer directement	- être perçu comme	- ne donne pas lieu à
- affecter [...] et lui donner	- être produit dans	- ne sécrète plus
- avoir un impact sur	- être regroupé	- observer bientôt
- c'est	- être utilisé	- offrir un moyen de
- (car il) est	- être [...] constitué	- peut alors interagir et diriger
- ce qui revient à	- être [...] et exercer	- peut être corrigé par
- coder	- être [...] représenté par	- peut s'obtenir par
- compenser pour	- être [...] synthétisé par	- pour prononcer
- consister à	- expliquer	- pour reconnaître
- constituer	- fabriquer	- prévenir
- contrôler	- faire référence à [...] et s'appliquer à	- produit dans
- correspondre à	- favoriser	- provenir de
- désigner par	- former	- provoqué par
- devenir	- fournir à	- provoquer
- doit être fait sur	- identifier comme	- puisqu'il a reçu
- éliminer	- il y a [...] lorsque	- recevoir
- émettre	- il y a [...] quand	- regrouper
- émettre par	- infecter	- reprogrammer
- emmagasiner [...] peut servir à	- insérer	- rétablir
- est un concept qui englobe	- intervenir	- s'agir de
- être	- jouer un rôle	- s'attaquer au
- être associé au	- (l'idée) c'est	- s'expliquer par
- être causé par	- (l'idée centrale) est	- s'occuper de
- être classifié	- lié à	- se condenser sous forme de
- être déclaré comme	- mesurer	- se limiter à
- être équivalent à	- n'avoir aucun	

Verbes ou groupes verbaux (suite)	Groupes prépositifs ou locutions prépositives	Adjectif ou groupe adjectival
- se multiplier	- afin de	- capable de
- se poursuivre	- (c'est) chez	
- se retrouver		
- se trouver	<b>Locution adverbiale</b>	<b>Relatives</b>
- sonner	- autrement dit	- qui bloque
- stimuler		- qui provoque
- survenir	<b>Locutions conjonctives</b>	<b>Signes typographiques</b>
- transformer	- c'est-à-dire	- deux-points (juxtaposition)
- trouver	- soit	- parenthèses
- tuer		- point-virgule (juxtaposition)
- viser à		- virgule (apposition)

### 6.1 Caractérisation

- la présentation d'une ou de plusieurs caractéristiques (une qualité par exemple) de l'objet.

Ex. : « [...] sous *une forme biologique extraordinairement résistante* : la spore. »<sup>3</sup>

Verbes ou groupes verbaux	
- apparaître	- est [...] dont
- appeler	- est [...] et causé par
- assurer	- est [...] parce que
- avoir la propriété de	- est [...] qui donne
- battre	- est [...] responsable de
- c'est [...] qui donne	- être
- c'est	- fait saillie
- correspondre à	- impliquer
- (d'où la raison) de qualifier	- indiquer
- est correct si	- jouer un rôle
- est de forme [...] et est	- (la majorité) sont [...] ont
- est de type	- n'a pas
- est déterminé par	- n'est pas
- est en forme de [...] et peut	- n'est que [...] et peut reprendre
- est fondé sur	- ne dépend pas
- est présent chez	- ne peut avoir que
- est pur lorsque	- peut agir comme
- est qualifié de	- peut avoir
- est représenté par	- peut bloquer
- est responsable de	- peut contenir
- est sécrété par [...] et donne	- peut déclencher
- est susceptible de provoquer	- peut demeurer
- est susceptible de transmettre	- peut être
- est transmis par	- peut être occupé par

<b>Verbes ou groupes verbaux (suite)</b>	
- peut intervenir	- se présenter comme [...] composé de
- peut protéger	- se renouveler
- peut provoquer	- se révéler efficace contre
- peut se présenter sous une forme	- signer
- peut servir de	- situé au fond
- peut subir	- situé dans
- porter [...] et occuper	- situé sur
- provenir de [...] c'est	- tel est
- représenter	- transmis
- s'agir de	- transmis par
- se communiquer par	- (une caractéristique essentielle) est
- se déplacer par	

<b>Relatives</b>	
- ce qui a pour effet de	- qui est chargé de
- dans lequel se trouve	- qui est répété
- dont	- qui est [...] qui peut exporter
- dont chacun a pour fonction de	- qui forme
- dont le rôle est [...] et qui en se contractant	- qui hypothèque
- dont [...] provoque	- qui joue un rôle
- lequel peut être	- qui n'est que
- lequel peut modifier	- qui oppose
- lequel servirait de	- qui peut causer
- où	- qui peut être
- où elle joue un rôle	- qui produit
- qui a	- qui provoque
- qui a pour effet de	- qui régit
- qui a une action	- qui résulte de
- qui affecte [...] et peut causer	- qui s'applique sur
- qui agit comme	- qui se contente d'intégrer
- qui apparaît sous la forme de [...] et qui se trouve	- qui se présente sous forme de
- qui apprend à	- qui se situe
- qui bloque	- qui se transforme
- qui code	- qui semble avoir un effet
- qui continue de décimer	- qui sert à
- qui découpe	- qui sert de
- qui défonce	- qui signe
- qui détruit	- qui transforme
- qui est	- qui vient contrecarrer

<b>Nom ou groupe nominal</b>	<b>Locution conjonctive</b>	<b>Prépositions ou groupes prépositifs</b>
- en forme de	- c'est-à-dire	- avec ses
		- malgré ses
<b>Adjectifs ou groupes adjectivaux</b>	<b>Adverbes ou locutions adverbiales</b>	<b>Signes typographiques</b>
- responsable de	- comme (porteur)	- deux-points (juxtaposition)
- responsable de [...] et concentré sur	- plus précisément	- guillemets
- responsable de [...] et situé	- toujours	- parenthèses
		- tirets
<b>Conjonction de coordination</b>	<b>Conjonction de subordination</b>	- virgule (apposition)
- donc	- si [...] c'est	

## 6.2 Analyse

- la décomposition de l'objet en ses éléments ou en ses propriétés.

Ex. : « [...] organoïdes artificiels *composés de matériel inerte et de cellules contenant le gène correcteur.* ».<sup>9</sup>

<b>Verbes ou groupes verbaux</b>		<b>Relative</b>
- atteint [...] n'en compte plus que	- est constitué de	- qui peut contenir
- avoir [x] catégories	- est formé de	
- composé de	- est regroupé en [x] catégories	<b>Signes typographiques</b>
- comprendre	- formé de	- deux-points (juxtaposition)
- constitué de	- il en existe [x] catégories	- parenthèses
- constituer	- il existe [x] classes	- tirets
- contenir	- n'a pas	- virgule (apposition)
- contenu dans	- peut avoir	
- dépourvu de	- peut contenir	
- dépourvu de [...] et formé de	- présent dans	
- est classifié selon	- renfermer	
- est composé de		

## 6.3 Fonction

- une définition s'appuyant sur la finalité de l'objet, sur son usage et ses possibilités, éventuellement sur ses effets.

Ex. : « [...] l'organisme, *qui est capable de produire des milliers de cellules par jour* [...] ». <sup>5</sup>

<b>Verbes ou groupes verbaux</b>	<b>Relatives</b>
- a été utilisé pour	- qui est capable de
- a la propriété de permettre	- qui permet de
- est incapable de	
- est utilisé pour	<b>Adjectifs ou groupes adjectivaux</b>
- n'a pas la faculté de	- capable de
- permet	- essentiel à
- permet d'obtenir	- incapable de
- permet de	
- peut permettre	
<b>Noms ou groupe nominaux</b>	<b>Signes typographiques</b>
- capacité	- point-virgule (juxtaposition)
- capacité à	- virgule (apposition)
- la capacité de	

## 6.4 Reformulation énumérative par liste exhaustive

- l'énumération de tous les membres d'une classe quelconque.

Ex. : « [...] réseau à trois couches (*l'entrée, la sortie et une couche d'unités cachées*) [...] ». <sup>12</sup>

<b>Relative</b>	<b>Signes typographiques</b>
- qu'il s'agisse de	- deux-points (juxtaposition)
	- parenthèses

7. **Reformulation énumérative par exemplification** - l'emploi d'exemples se rapportant à une classe quelconque.  
 Ex. : « [...] infections classiques *comme la peste et le choléra* [...] ». <sup>4</sup>

<b>Verbes ou groupes verbaux</b>	<b>Pronom relatif</b>
- c'est le cas de	- dont
- c'est le cas pour	
<b>Adverbes ou locutions adverbiales</b>	<b>Conjonction</b>
- comme	- ou
- comme c'est le cas de	
- comme celui de	<b>Préposition ou groupe prépositif</b>
- (il en est) de même pour	- parmi
- par exemple	
<b>Adjectifs ou groupes adjectivaux</b>	<b>Signes typographiques</b>
- et autres	- deux-points (juxtaposition)
- tel	- parenthèses
- tel est le cas des	- point-virgule (juxtaposition)
- tel que	- tirets
	- virgule (apposition)

### 7.1 Analogie

- l'utilisation d'un exemple se rapportant au quotidien, au concret.

Ex. : « [...] trépan, *une sorte de couteau cylindrique*, [...] ». <sup>14</sup>

<b>Groupes nominaux</b>	<b>Signes typographiques</b>
- sorte de	- guillemets
- une sorte de	- virgule (apposition)

**7.2 Métaphore**

- un exemple qui contient un jeu d'équivalences. Par exemple, au lieu de parler de pulsars, on dira : « *mystérieux langage de l'espace* ». <sup>15</sup>

aucun relateur

**7.3 Comparaison**

- l'emploi d'un exemple qui apporte une comparaison par l'emploi de conjonctions (comme, tel que, etc.).

Ex. : « Ces boucles font saillie [...], *comme des doigts*. » <sup>8</sup>

<b>Verbes ou groupes verbaux</b>	<b>Conjonctions</b>
- fait penser à	- comme
- ressemble à	- tout comme
<b>Verbes ou groupes verbaux comprenant une conjonction</b>	<b>Nom ou groupe nominal</b>
- c'est un peu comme	- l'équivalent de
- peut être visualisé comme	
- regarder comme	
- s'observer comme	
- visualiser comme	
<b>Subordonnée circonstancielle de comparaison</b>	<b>Signes typographiques</b>
- plus lent que	- tirets
	- virgule (apposition)

**7.4 Métonymie**

- un glissement de références. Par exemple, on dira « *un acétate* » pour désigner *un transparent en acétate*. <sup>16</sup>

aucun relateur

**8. Série superordonnée**

- l'emploi, tout au cours d'un texte, de termes plus génériques (de plus grande extension) et plus spécifiques comportant un rapport d'emboîtement ou d'inclusion entre eux.

Ex. : « cellule > noyau > matériel génétique (de la cellule) > chromosomes > vecteur > gène correcteur ». <sup>11</sup>

aucun relateur

**Références :**

1. « Virus et bactéries : pourquoi ils nous menacent », *Québec Science*, p. 2; 2. *ibid.*, p. 1; 3. *ibid.*, p. 2 [encadrés]; 4. « Le sida : une épidémie comme les autres? », *Interface*, p. 5; 5. *ibid.*, p. 3; 6. « Apoptose : le suicide des cellules enfin compris », *Québec Science*, p. 1; 7. *ibid.*, p. 4 [encadrés]; 8. *ibid.*, p. 5 [encadrés]; 9. « La médecine des gènes », *Interface*, p. 3; 10. *ibid.*, p. 7; 11. *ibid.*, p. 1 [encadrés]; 12. « Les réseaux de neurones », *Interface*, p. 3 [encadrés]; 13. « Les Monères », *Biologie générale 301*, p. 1; 14. « Comment le cerveau fabrique des images » et « On peut sauver des vues », *Québec Science*, p. 4; 15. JURDANT, Baudouin. « La vulgarisation scientifique ». *La Recherche*, n° 53, p. 157; 16. DE VILLERS, Marie-Éva. *Multidictionnaire des difficultés de la langue française*, Coll. « Langue et Culture », Montréal, Éditions Québec/Amérique, 1992, p. 18.

## CONCLUSION

Notre analyse nous permet de tirer un certain nombre de conclusions. Chaque type de discours comportait un nombre à peu près équivalent de termes techniques à reformuler : 331 termes (*Interface*), 304 termes (*Québec Science*) et 323 termes (manuel de biologie). Cependant, contrairement à notre hypothèse de départ, à savoir que :

*plus un discours est spécialisé, moins la rédactrice ou le rédacteur est tenu de reformuler les termes techniques utilisés; à l'opposé, plus le texte est vulgarisé, notamment les textes à vocation didactique (les manuels scolaires particulièrement), plus la rédactrice ou le rédacteur doit exploiter cette technique de la reformulation et varier les procédés employés,*

c'est le manuel *Biologie générale 301* qui contient le plus faible pourcentage de reformulation (72 %). La revue *Québec Science* occupe le premier rang (92 %), suivie d'*Interface* (85 %).

Les résultats obtenus dans le corpus analysé ne nous permettent donc pas de confirmer cette hypothèse. En effet, le manuel scolaire arrive au dernier rang quant à la fréquence et quant à la variété des procédés de reformulation employés, alors qu'il aurait dû, au contraire, être celui qui utilise le plus grand nombre et la plus grande variété de procédés de reformulation. Pour ce qui est des deux autres discours analysés, *Québec Science* (le discours de vulgarisation) renferme un nombre et une

variété de procédés relativement supérieurs à la revue *Interface* (discours de semi-vulgarisation), ce qui est davantage conforme à notre hypothèse. Le faible pourcentage de reformulations dans le manuel scolaire pourrait provenir d'un certain nombre de facteurs : a) certains termes techniques recensés dans les trois chapitres que nous avons analysés ont pu avoir été reformulés dans un autre chapitre du volume; b) les rédacteurs et la rédactrice de ce manuel ont pu ne pas juger pertinent de reformuler les termes techniques employés, jugeant qu'il revient au professeur, dans sa salle de classe, de les expliquer aux élèves; c) les auteurs de ce manuel sont des professeurs, des spécialistes, non des rédactrices ou rédacteurs professionnels, et n'ont pas en tête ces divers procédés de reformulation. En outre, contrairement aux deux revues analysées, si le manuel scolaire n'est pas publié par une maison d'édition, ce dernier n'est généralement pas révisé par des spécialistes de la vulgarisation scientifique. Cela ne change toutefois en rien l'importance, voire l'obligation, pour les rédacteurs et rédactrices de manuels scolaires, de vulgariser la matière, notamment par l'emploi de procédés variés visant à la reformulation des termes techniques présents dans le texte.

Il importe ici de noter que lors de l'analyse des neuf textes de notre corpus, nous avons éprouvé quelques difficultés à bien distinguer la nature de chacune des reformulations. De fait, plusieurs procédés de reformulation sont des formes de définition, certaines mettant l'accent sur l'un ou l'autre caractère du terme technique, d'autres, sur la fonction du terme-pivot ou encore sur la définition complète ou partielle de la notion que recouvre le terme. Parfois, la frontière entre deux types de reformulation n'est pas complètement étanche. Par exemple, la reformulation que nous avons classée comme étant une Caractérisation pourrait sembler être une Définition partielle pour un autre lecteur ou une autre lectrice. Aux fins de comparaison

avec les recherches effectuées par les chercheuses et chercheurs européens, nous avons, dans la mesure du possible, respecté la définition qu'ils donnaient à tel ou tel type de procédé. Néanmoins, ce qui importe avant tout, c'est l'utilisation variée des procédés de reformulation, des moyens linguistiques et des relateurs dans le but ultime de rendre compréhensible aux lecteurs et aux lectrices l'information scientifique à communiquer.

Par ailleurs, nous avons noté un certain nombre de points communs quant à la fréquence et à la variété des procédés utilisés dans chacun des trois discours québécois analysés. Ce sont notamment l'importance accordée aux procédés propres à la Caractérisation et à la Définition, et, dans une moindre mesure, à l'Équivalence et à la Reformulation énumérative par exemplification. À l'opposé, pour l'ensemble de notre corpus, nous avons constaté que les analogies, métaphores, comparaisons et métonymies sont ou très peu employées ou carrément inutilisées dans les textes scientifiques comme procédés de vulgarisation.

Nos résultats montrent de plus qu'il existe une concordance entre la fréquence et la variété des procédés utilisés et la fréquence et la variété des moyens linguistiques et des relateurs propres à chaque procédé. En effet, *Québec Science*, qui offrait la plus grande fréquence et la plus grande variété des divers procédés de reformulation, présente aussi la plus grande variété de moyens linguistiques et de relateurs. De la même façon, le manuel *Biologie générale 301*, qui occupait le dernier rang quant à la fréquence et à la variété des divers procédés de reformulation, offre la plus faible variété de moyens linguistiques et de relateurs.

Si l'on compare maintenant nos résultats avec ceux recueillis par les chercheuses et les chercheurs européens, nous notons un certain nombre de points communs, mais aussi bon nombre de particularités québécoises. Par exemple, selon

Anne-Marie Loffler-Laurian (1983), on trouve dans le discours de semi-vulgarisation européen surtout des reformulations de type Analyse et Fonction. Or l'étude de notre corpus démontre que les rédacteurs d'*Interface* privilégient la Caractérisation et la Définition, tandis que l'Analyse et la Fonction sont des procédés beaucoup moins populaires. De même, dans le discours de vulgarisation européen, les définitions y sont de tous types excepté la Caractérisation. Les rédacteurs de *Québec Science*, pour leur part, emploient surtout la Définition, la Caractérisation et la Coréférence. De plus, en Europe, dans le discours pédagogique, on trouve surtout des reformulations de type Dénomination, Caractérisation et Analyse, mais peu d'Équivalence et de Fonction. Au Québec, les rédacteurs et la rédactrice du manuel *Biologie générale 301* favorisent eux aussi la Caractérisation et la Définition; de la même manière, la reformulation de type Fonction est peu utilisée. Par ailleurs, l'Équivalence et la Coréférence figurent parmi les procédés les plus populaires.

De plus, selon Bernard Schiele (1983), l'analogie et la métaphore sont fréquemment utilisées en vulgarisation scientifique, car elles permettent d'expliquer des concepts compliqués en les comparant à des événements de la vie quotidienne qui ont du sens. Or nos résultats montrent que les rédacteurs et la rédactrice des trois types de discours québécois exploitent très peu ces images verbales.

Quant à Jacobi (1983), son étude comparative des revues françaises *Science et Vie* (corpus de vulgarisation) et *La Recherche* (corpus de discours de semi-vulgarisation scientifique) conclut à la fréquente utilisation de la métonymie et à la faible exploitation des métaphores (mot entendu au sens large d'images, analogies et comparaison) dans ces deux types de discours. Nos résultats sont ici encore à nuancer : conformément aux résultats de Jacobi, notre corpus accorde peu d'importance aux analogies, aux métaphores et aux comparaisons; par ailleurs, à

l'opposé, les revues et le manuel scolaire québécois analysés ne contiennent aucune métonymie.

Notre étude nous a en outre permis de répertorier toute une panoplie de relateurs et de moyens linguistiques propres à chaque procédé : plus de 200 verbes, adverbess, adjectifs, signes typographiques, et autres, directement associés à chaque procédé. Nous les avons regroupés sous forme de typologie, comprenant le procédé et sa définition, un exemple concret et la liste des principaux moyens linguistiques et relateurs propres à chaque procédé. Nous espérons de cette manière inciter les rédacteurs et rédactrices scientifiques à les apprivoiser, à les employer à bon escient et à en varier l'utilisation selon le type de vulgarisation souhaitée.

Nous nous sommes enfin intéressée à relever les efforts de créativité dont ont fait preuve les rédacteurs et la rédactrice dans l'utilisation qu'ils ont fait des procédés de reformulation. Certains éléments de créativité apparaissent dans quelques reformulations de type Analogie et Comparaison.

Nous avons relevé trois exemples faisant ressortir un style imagé de type

Analogie :

Ex.<sub>1</sub> : « [...] molécules dotées de "**doigts** de zinc". » (« Apoptose : le suicide des cellules enfin compris », *Québec Science*, p. 5 [encadrés])

Ex.<sub>2</sub> : « [...] trépan, une sorte de couteau cylindrique, [...] » (« Comment le cerveau fabrique des images » et « On peut sauver des vues », *Québec Science*, p. 4)

Ex.<sub>3</sub> : « [...] l'activation d'une enzyme déjà présente dans la cellule, une sorte de dynamite cellulaire. » (« Apoptose : le suicide des cellules enfin compris », *Québec Science*, p. 4)

Nous avons de plus relevé six exemples de type Comparaison qui révèlent un souci de créativité de la part de l'auteur : quatre apposent des éléments concrets aux termes techniques tout en évitant l'emploi de la conjonction « comme ».

Ex.<sub>4</sub> : « [...] symptômes font penser à ceux d'une **grippe** [...] » (« Virus et bactéries : pourquoi ils nous menacent », *Québec Science*, p. 1)

Ex.<sub>5</sub> : « Ces organes ressemblent à une **intersection**. » (« Apoptose : le suicide des cellules enfin compris », *Québec Science*, p. 3 [encadrés])

Ex.<sub>6</sub> : « [...] épaisseur de 680 microns — l'équivalent de 10 pages d'un magazine comme Québec Science — [...] » (« Comment le cerveau fabrique des images » et « On peut sauver des vues », *Québec Science*, p. 4)

Ex.<sub>7</sub> : « [...] les 850 000 *neurones de l'abeille* sont 100 000 fois plus lents que les processeurs de la Connexion Machine [...] » (« Les réseaux de neurones », *Interface*, p. 1-2)

Ex.<sub>8</sub> : « Le matériel génétique ou les gènes, c'est un peu comme les plans et devis d'un organisme vivant [...] » (« La médecine des gènes », *Interface*, p. 1)

Ex.<sub>9</sub> : « Ces boucles font saillie [...] comme des doigts. » (« Apoptose : le suicide des cellules enfin compris », *Québec Science*, p. 5 [encadrés])

Ces neuf exemples tirés des revues *Québec Science* et *Interface* sont les seules reformulations que nous avons relevées qui font preuve d'une quelconque intention de l'auteur d'exploiter une forme de créativité verbale. Or il nous paraît évident que plus les rédactrices et rédacteurs œuvrant dans le domaine de la vulgarisation scientifique emploieront les procédés de type Analogie, Métaphore, Comparaison et Métonymie, plus leurs textes seront teintés de créativité. Nous croyons en outre que ces procédés de reformulation devraient être exploités davantage, car les images verbales peuvent faciliter la compréhension et l'assimilation de données abstraites. En ce sens, il serait intéressant de faire porter ce genre d'analyse des différents procédés de reformulation, moyens linguistiques et relateurs, notamment les procédés de type Analogie, Comparaison, Métaphore et Métonymie, sur les ouvrages et publications des grands vulgarisateurs québécois, tels Fernand Seguin, Hubert Reeves, et autres. Peut-être est-ce là la clé de leur succès?

## **ANNEXE A**

**Textes dactylographiés constituant notre corpus**

(Tiré de *Québec Science*, vol. 34, n°1, septembre 1995, p. 16-20)

### **Virus et bactéries : pourquoi ils nous menacent**

On les croyait abattus alors qu'ils ne faisaient que plier l'échine, en attendant de reprendre des forces. Et de changer leurs stratégies d'attaque.

Les premiers symptômes font penser à ceux d'une grippe : frissons, maux de tête, douleurs musculaires. Puis, le malade se met à éprouver de sérieuses difficultés respiratoires, provoquées par l'accumulation de plasma — le liquide sanguin — dans ses poumons. De 8 à 10 heures plus tard, il est au bord de l'asphyxie. Et une fois sur deux, il succombe en présentant des symptômes semblables à ceux d'une noyade, c'est-à-dire des alvéoles pulmonaires remplies d'eau.

Depuis 5 ans, 110 cas de cette maladie, auparavant inconnue des médecins, ont été rapportés dans 2 provinces de l'Ouest canadien et dans 21 États américains. En 1993, après avoir enquêté sur de mystérieux cas d'asphyxie survenus dans le sud-ouest des États-Unis, des chercheurs en ont trouvé la cause : une infection par des hantavirus, un groupe de micro-organismes qui, croyait-on, n'existaient qu'en Asie. On sait maintenant qu'ils comptent au moins huit représentants en Amérique du Nord, dont quatre susceptibles de causer la maladie, désormais connue sous le nom de syndrome pulmonaire à hantavirus (SPH).

On ignore à peu près tout de ces agents pathogènes. Sinon, qu'ils sont transmis par l'intermédiaire de rongeurs sauvages, le plus souvent par l'inhalation des poussières et des aérosols se dégageant de leur salive et de leurs excréments séchés qu'on retrouve surtout dans les chalets et autres endroits fréquentés par ces petits mammifères. De fait, des fermiers, des villégiateurs et des campeurs constituent la majorité des victimes du syndrome.

L'émergence d'une maladie infectieuse inconnue fait toujours frémir. « Avec les progrès de l'hygiène et de la médecine, on a cru que les micro-organismes pathogènes seraient un jour balayés de la surface de la Terre », constate le docteur Yves Robert, médecin-conseil en santé publique. « C'est un mythe! » On l'a bien vu avec l'effrayante épidémie de fièvre hémorragique Ebola, qui a récemment frappé le Zaïre. Inconnu avant 1976, ce virus a fait, depuis, plus de 500 morts sur le continent africain, dont 200 en mai et juin dernier.

Chaque année, des histoires semblables accèdent au palmarès des maladies infectieuses. Par exemple, l'infection au *Escherichia coli* verotoxigène, ou « maladie du hamburger », identifiée en 1982, qui provoque chaque année de graves colites hémorragiques chez des centaines de Canadiens. Ou encore, l'infection invasive à streptocoque A, la bactérie « dévoreuse de chair », qui a signé, depuis deux ans, des dizaines de décès et d'amputations au Québec seulement. Et plusieurs autres.

Faut-il sonner l'alerte aux « nouveaux microbes »? D'où viennent ces agents pathogènes? Et sont-ils aussi nouveaux qu'on le dit?

« Plusieurs "nouveaux" pathogènes émergent, en réalité, de notre ignorance! », répond Harvey Artsob, virologue et directeur adjoint du Laboratoire national des pathogènes spéciaux, à Ottawa. Dans cette division du Laboratoire de lutte contre la maladie de Santé Canada, des scientifiques travaillent à déterminer l'origine des dangers microbiens « émergents » — c'est-à-dire ceux qui se sont joints tout récemment à la longue liste des maladies infectieuses humaines.

Leurs observations montrent que des pathogènes qu'on croyait inédits ne le sont pas toujours. « En analysant des tissus congelés provenant de patients morts de maladies pulmonaires non identifiées, on a pu découvrir des cas d'infection par des hantavirus remontant aux années 70, relate Harvey Artsob. La maladie sévit certainement depuis longtemps, mais à notre insu, parce que nous étions incapables d'en identifier les responsables. »

L'équipe de Harvey Artsob tente de prédire la propagation future des pathogènes émergents. Selon eux, le syndrome pulmonaire à hantavirus est, pour l'instant, circonscrit à l'Alberta et à la Colombie-Britannique. Par contre, on a trouvé des souris infectées par des hantavirus dans toutes les autres provinces, exception faite du Québec et des Maritimes. Cela dit, les recherches débutent à peine. « On ignore si la maladie est en train de se propager, précise Harvey Artsob, mais ce n'est pas impossible : la souris sylvestre, hôte de la principale souche pathogène de hantavirus, est commune dans tout le pays. »

Récemment, le gouvernement a conseillé aux villégiateurs de l'Ouest de désinfecter à l'eau de Javel les lieux contaminés par ce rongeur, reconnaissable à son ventre blanc.

Depuis qu'au XVII<sup>e</sup> siècle le drapier hollandais Antonie Van Leeuwenhoek a, le premier, observé des « animalcules » sur son microscope rudimentaire, notre connaissance de leur univers lilliputien a fait des pas... de géant. Au cours des 40 dernières années, en particulier, une panoplie de nouvelles technologies — notamment, la microscopie électronique, le génie génétique et la culture cellulaire — ont permis de rendre compte de l'incroyable diversité des micro-organismes. Les scientifiques ont non seulement découvert une kyrielle de nouvelles espèces virales et bactériennes, mais ils sont également parvenus à distinguer, au sein de chacune, un grand nombre de souches ou clones, c'est-à-dire de variétés distinctes d'une même espèce.

Une connaissance plus poussée des agents infectieux a révélé l'existence de plusieurs maladies insoupçonnées. Parmi elles, l'hépatite C, récemment identifiée comme un fléau chez les personnes ayant reçu des transfusions sanguines avant 1990 et chez les usagers de drogues injectables. Jusqu'en 1960, les cas d'hépatite virale étaient maladroitement regroupés en deux catégories : la forme infectieuse, transmise par voie fécale-orale, et la forme sérique, transmise par voie transfusionnelle. Puis, on a associé ces maladies à deux virus, désignés respectivement A et B. En 1989, l'identification d'un troisième virus a démontré que ce qu'on appelait « hépatite B » dissimulait en réalité une autre maladie encore plus grave, l'hépatite C. Tout récemment, deux autres formes, D et E, se sont ajoutées à la liste, laquelle est sans doute loin d'être complétée. Comme le rappelle Yves Robert, « il faut savoir distinguer l'émergence d'un nouveau pathogène de notre capacité à reconnaître un ancien pathogène! »

Mais on ne peut pas toujours invoquer les progrès de la microbiologie pour expliquer l'éclosion d'une maladie non répertoriée. Grâce aux mutations, ces modifications aléatoires et spontanées de leur matériel génétique, les microbes aussi innovent..

À ce jeu, le virus de la grippe est un champion. Chaque année, il mute, et la structure de ses antigènes de surface se modifie. Ces antigènes permettent normalement à l'organisme humain de reconnaître ses adversaires microscopiques et de leur opposer une contre-attaque. Mais ces changements continuels du virus déroutent le système immunitaire. De là, la nécessité de renouveler annuellement la composition du vaccin. Plus rarement, c'est la structure entière du virus qui se transforme. Résultat : un nouveau virus,

contre lequel l'humain est sans défense. C'est ainsi qu'entre 1918 et 1920 la souche « espagnole » du virus de la grippe a causé l'épidémie la plus meurtrière de toute l'histoire humaine : 20 millions de morts.

C'est également une mutation du virus Ebola qui est un des temps forts du film *L'Épidémie*. Se communiquant seulement par voie sanguine, le microbe diabolique devient, grâce à l'imagination du réalisateur, transmissible par voie aérienne. Plausible, ce scénario de cauchemar? « Théoriquement, oui, croit Harvey Artsob. Il est impossible de prévoir à l'avance comment un virus va muter. À ce jeu de hasard, toutes les combinaisons sont possibles. »

Heureusement, les scientifiques estiment que la majeure partie des micro-organismes n'ont pas le pouvoir génétique de devenir, du jour au lendemain, de tels tueurs. Leurs arguments? D'une part, la stabilité dans le temps de certains microbes : celui de l'hépatite B, par exemple, n'a pratiquement pas changé depuis qu'on le regarde évoluer. D'autre part, la biologie moléculaire a permis de remonter le fil de l'évolution des espèces microbiennes et de montrer qu'elles sont souvent très anciennes. « Les huit espèces de hantavirus nord-américains n'ont pas pu apparaître simultanément, du jour au lendemain! explique Harvey Artsob. Cela laisse supposer qu'elles n'ont pas évolué depuis longtemps et qu'elles ne le feront pas davantage dans l'avenir. » Selon plusieurs scientifiques, c'est aussi le cas des deux virus qui peuvent causer le sida humain, HIV-1 et HIV-2. La grande distance qui les sépare témoigne d'une origine très ancienne de la maladie. Son émergence récente s'expliquerait surtout par des changements sociaux et démographiques.

Dans la nature, les mutations ne sont pas le seul facteur à favoriser l'éclosion d'un microbe malvenu. Les micro-organismes se livrent en effet à des luttes fratricides dont l'issue peut être coûteuse pour les humains. C'est ainsi qu'on explique la flambée de méningite à méningocoques, qui frappe le Canada depuis 1990. On croit que le méningocoque est présent depuis très longtemps dans la population humaine, car on lui connaît 13 clones différents, également appelés sérogroupes. À une époque donnée, tous les clones coexistent, mais l'un d'eux, le clone dominant, est plus répandu que les autres. Toutefois, au bout de 8 à 15 ans, la population humaine développe une immunité contre celui-ci. Un autre prend alors la relève.

Pendant la décennie 1980, le séro groupe B, qui provoque des infections graves mais ne tue pas, était dominant. Puis, à partir de 1988, le séro groupe C, capable de tuer, a commencé à émerger. Trois ans

plus tard, on dénombrait un total de 200 infections graves et 30 morts dans la seule tranche d'âge des 0-20 ans.

« Heureusement, on avait un vaccin efficace contre ce sérotype, rappelle Yves Robert, qui a orchestré, avec le ministère de la Santé du Québec, la vaste campagne de vaccination qui a suivi. On avait donc tout à gagner en l'administrant, même si, statistiquement parlant, il n'y avait pas d'épidémie. » Aujourd'hui, la méningite continue de faire des victimes. Mais, selon les responsables de la santé publique, la fréquence des cas graves et des décès a chuté, notamment parce que le sérotype C est en perte de vitesse.

Entre eux, les microbes peuvent entretenir des relations encore plus complexes. Ainsi, il arrive qu'un micro-organisme voit son pouvoir pathogène décuplé en interagissant avec un autre.

Récemment, des infections graves au streptocoque du groupe A ont défrayé la manchette. En réalité, les dommages causés par la « dévoreuse de chair » ne datent pas d'hier. La maladie n'a été identifiée formellement qu'en 1987 même si la description des premiers cas remonte aux années 30. Curieusement, de 7 % à 12 % des individus sont porteurs du microbe, mais seul un très petit nombre — moins de deux personnes sur 100 000 — développeront des infections aiguës.

La raison? « Cette maladie bactérienne a pour origine... un virus! », répond le docteur Denis Phaneuf, microbiologiste à l'Hôtel-Dieu de Montréal et médecin de plusieurs victimes de l'infection. Un paradoxe? Non. Certains virus, appelés phages, s'attaquent en effet aux bactéries. Beaucoup plus petits qu'elles, ils y pénètrent et s'y multiplient, un processus qui peut aboutir à la destruction de leur hôte. Des parasites qui en contaminent d'autres, en somme. Il existe toutefois une catégorie de phages, dits tempérés, qui se contentent d'intégrer leurs gènes au chromosome bactérien. Littéralement reprogrammée, la bactérie infectée peut alors produire des substances toxiques qu'elle ne sécrète pas en temps normal.

Parmi les 80 sérotypes connus du streptocoque A, tous ne sont pas sensibles aux phages tempérés. Mais le clone M1, qui domine au Québec depuis deux ou trois ans, l'est. Sous l'influence du phage, cette bactérie peut produire différentes toxines. Les effets de la toxine appelée SPE-B sont les mieux connus : elle s'attaque aux protéines musculaires et peut provoquer des nécroses des tissus nécessitant l'amputation. Peut-être moins spectaculaire, la toxine SPE-A est encore plus dangereuse. Elle peut

déclencher un choc toxique, c'est-à-dire une réaction immunitaire très intense, capable de tuer en quelques heures l'individu infecté!

Cependant, certains clones du streptocoque A résistent au virus. « Comme les populations du streptocoque A fluctuent selon des cycles de cinq ans, on peut s'attendre à une diminution de la fréquence de la maladie d'ici les deux ou trois prochaines années, prévoit le docteur Phaneuf. À moins, bien sûr, que le futur clone dominant ne soit, lui aussi, sensible au virus... »

Reste à savoir d'où provient ce fameux virus. « Il est peut-être transmis à l'homme par d'autres organismes », avance le microbiologiste. Ce problème est complexe mais crucial, car de nombreux pathogènes humains accomplissent une partie de leur cycle vital chez des hôtes animaux. C'est particulièrement vrai des virus, incapables de survivre longtemps à l'extérieur d'un être vivant. Baptisés réservoirs viraux, les animaux infectés sont susceptibles de transmettre le microbe aux humains avec qui ils entrent en contact — volontairement ou non!

Pour comprendre l'origine de ces maladies virales et prédire leur évolution future, il faut identifier ces réservoirs. Le docteur Bernard LeGuenno, de l'Institut Pasteur, à Paris, s'est intéressé au problème lors d'une des épidémies africaines, du virus Ebola, survenue en Côte-d'Ivoire, en 1994. Une biologiste suisse avait alors contracté la maladie, en pratiquant une autopsie sur le corps d'un chimpanzé, également infecté. « Les anticorps de la chercheuse — qui n'est heureusement pas décédée — étaient identiques à ceux du singe, indique le virologue. Une preuve qu'elle avait acquis le virus de l'animal et un indice que les singes sont des agents déclencheurs des épidémies d'Ebola. » Mais ces derniers ne sont certainement pas les réservoirs du virus, pour une raison bien simple : celui-ci les tue trop rapidement. « Du point de vue d'un virus, le meilleur réservoir est celui qui reste en vie le plus longtemps », souligne le docteur LeGuenno.

Depuis la dernière épidémie d'Ebola, au Zaïre, des commandos américains de « chasseurs de virus » ont lancé une offensive dans le but d'identifier le réservoir d'Ebola. Mais ils n'auront pas la tâche facile, étant donné la complexité de la forêt équatoriale, où des milliers d'espèces vivantes, autant animales que végétales, peuvent héberger des virus et être soupçonnées. Des milliers de tissus de rongeurs, d'invertébrés et d'autres organismes sont encore sous analyse dans les laboratoires des Centers for Disease Control (CDC), à Atlanta.

Le docteur LeGuerno mise sur une autre approche, qu'il croit plus efficace et, surtout, moins coûteuse. « Tous les organismes vivants, y compris ceux qui agissent comme réservoirs viraux, passent par des cycles saisonniers d'activité et de repos, explique-t-il. Or, nous avons un indice : les épidémies du virus Ebola ont toutes commencé à la fin de l'automne. On pourrait donc se limiter aux plantes ou aux animaux avec lesquels les singes ont été en contact pendant cette période de l'année. » Le virologiste croit qu'on devrait chercher la réponse dans la forêt de Tai, en Côte-d'Ivoire, où des éthologues étudient les chimpanzés depuis 15 ans. Grâce à de telles initiatives, on espère améliorer notre pouvoir de prédiction et de contrôle des nouveaux fléaux microbiens. Mais il ne faut pas s'illusionner : « Les microbes sont infiniment plus adaptables que nous ne le serons jamais, rappelle Yves Robert. À mesure qu'on développe de nouvelles armes contre eux, ils inventent des parades. Ce n'est pas une guerre que nous leur livrons. C'est une guérilla! »

(Encadrés de « Virus et bactéries : pourquoi ils nous menacent » tirés de *Québec Science*, vol. 34, n°1, septembre 1995, p. 16-20)

### **Microbes sans frontière**

Y a-t-il une possibilité que des maladies émergentes exotiques comme celle d'Ebola, soient accidentellement importées par des voyageurs? « Bien sûr! », affirme le docteur Brian Gushulak, directeur des Services de quarantaine du Laboratoire de lutte contre la maladie. « Les microbes profitent, eux aussi, du "village global". Avec la multiplication des mouvements de population et des voyages en avion, ils ne connaissent plus de frontière. Autrefois, la durée des périples en bateau donnait le temps à une maladie de se manifester, et il était possible d'appliquer des mesures de quarantaine. Ce n'est plus le cas aujourd'hui. »

La stratégie préventive consiste désormais à informer les médecins des nouveaux fléaux microbiens qui surviennent et les voyageurs, des risques qu'ils courent, au départ comme à l'arrivée. Pendant l'épidémie de peste pulmonaire survenue en Inde, en septembre 1994, on a distribué des cartes jaunes — couleur de la quarantaine — aux voyageurs en provenance de ce pays, leur suggérant de consulter un médecin s'ils présentaient des symptômes anormaux. Aucun cas n'a heureusement été déclaré.

La Loi sur la quarantaine permet au gouvernement d'imposer des examens médicaux à des voyageurs qu'on croit atteints d'une maladie contagieuse et, exceptionnellement, de les mettre sous surveillance. Cette disposition, rarement utilisée, a servi pendant l'épidémie d'Ebola, à l'égard d'un voyageur revenant du Zaïre.

### **Virus, bactéries et compagnie**

Plus d'un siècle après Pasteur, on a parfois tendance à ranger tous les « microbes » dans la même éprouvette. Erreur : il y a plus de ressemblances entre une baleine et une épinette qu'entre une bactérie et un virus!

**Virus.** Constitués d'un peu d'acide nucléique (ADN ou ARN) entouré d'une enveloppe de protéines, ce sont les plus petits et les plus simples des agents pathogènes. On ne les considère même pas comme des êtres vivants, parce qu'ils sont incapables de fonctionner ou de se reproduire par eux-mêmes. Ces parasites terriblement efficaces reprogramment littéralement les organismes auxquels ils s'attaquent, forçant la cellule hôte à les multiplier, souvent à ses dépens. Mis à part les vaccins, il n'existe à peu près aucune arme efficace contre les virus. Ils sont classifiés selon le type d'acide nucléique qu'ils possèdent (ADN ou ARN) et la structure de l'enveloppe de protéines qui les entoure. Ils sont regroupés en familles et en espèces, mais pas au sens conventionnel du terme (une espèce regroupe normalement les individus qui peuvent se reproduire entre eux, ce qui est hors de question dans le cas des virus!)

Quelques familles de virus émergent : Retroviridés (virus du sida); Filoviridés (virus Ebola et Marbourg); Bunyaviridés (hantavirus); Orthomyxoviridés (virus de la grippe).

**Bactéries.** Organismes vivants formés d'une seule cellule, de structure plus simple que celle des organismes « supérieurs ». Contrairement aux virus, la plupart des bactéries se multiplient facilement et rapidement dans un milieu de culture synthétique. Plusieurs d'entre elles peuvent survivre très longtemps dans des conditions défavorables, sous une forme biologique extraordinairement résistante : la spore. Les antibiotiques s'avèrent généralement efficaces, mais on rapporte des cas de résistance de plus en plus préoccupants (voir « *Maladies infectieuses : rien n'est gagné* », Québec Science, mars 1995).

La classification des bactéries est conventionnelle; on les désigne par un genre, suivi du nom de l'espèce. Quelques bactéries pathogène [sic] : *Mycobacterium tuberculosis* (tuberculose); *Yersinia pestis* (peste); *Vibrio cholerae* (cholera); *Neisseria gonorrhoea* (gonorrhée); *Streptococcus pneumoniae* (pneumonie).

**Parasites.** Dans cette catégorie, on regroupe des organismes très divers, constitués d'une ou plusieurs cellules : protozoaires, vers, champignons, etc. À cause de leur cycle vital souvent complexe, il est difficile de développer des vaccins contre ces organismes. Principales maladies parasitaires : malaria, schistosomiase.

**Prions.** Les derniers-nés de la liste des pathogènes émergents. Ils sont responsables d'affections cérébrales rares mais très graves chez les animaux et l'homme. Ils mystifient les scientifiques parce qu'ils

sont dépourvus d'acide nucléique (ADN et ARN), même s'ils sont transmissibles. Selon une hypothèse, il s'agirait de substances chimiques, capables de modifier la structure moléculaire des tissus vivants avec lesquels elles entrent en contact. Une affaire à suivre!

(Tiré de *Québec Science*, vol. 34, n° 6, mars 1996, p. 35-39)

## **Apoptose**

### **Le suicide des cellules enfin compris**

**On a découvert la molécule clé impliquée dans la mort des cellules.**

**Elle permettrait la mise au point d'une foule de nouveaux médicaments.**

Depuis que les chercheurs savent que nos cellules possèdent [sic] un mécanisme d'autodestruction, on soupçonne le dérèglement de ce mécanisme d'être à l'origine d'une foule de maladies, de la chute des cheveux au cancer, en passant par la maladie d'Alzheimer. Dans les laboratoires du monde entier, on cherchait fébrilement cette substance clé impliquée dans la mort cellulaire programmée ou apoptose, d'un mot grec désignant le processus par lequel un arbre se sépare de ses feuilles.

Pour l'industrie pharmaceutique, c'était même devenu une sorte de quête du Graal. Un Graal qui, espérait-on, donnerait naissance à une nouvelle famille de médicaments et, qui sait, permettrait peut-être de prolonger la vie.

C'est un scientifique du Québec, Donald Nicholson, du Centre de recherches thérapeutiques de la société pharmaceutique Merck Frosst, à Montréal, qui a gagné la course. La molécule qu'il a identifiée a une telle importance que certains s'attendent à ce qu'elle soit choisie en 1996 molécule de l'année par la prestigieuse revue scientifique *Science*!

Chacune de nos cellules — nous en avons un million de milliards — contient cette dynamite cellulaire. Et chacune ne survit que grâce à la bonne volonté des autres. Survivre, il n'y a pas d'autres mots.

En effet, seule la réception continue de signaux de survie en provenance des autres cellules empêche l'activation de l'apoptose.

**Mais pourquoi la cellule a-t-elle le suicide aussi facile?**

Selon Martin Raff, professeur de biologie au University College de Londres, la société des cellules doit détenir le droit de vie et de mort sur les cellules individuelles. L'organisme multicellulaire a ainsi à sa

disposition un moyen expéditif pour contenir la prolifération des cellules et se débarrasser des éclopées et des sénescences : la solidarité cellulaire a ses limites.

Ainsi, pendant que vous lirez cet article, des centaines de millions de vos cellules mourront. Pour chaque « vieille » cellule éliminée, une plus jeune prendra sa place. La plupart d'entre elles meurent en relativement bonne santé, soit bien avant de devenir malades et d'hypothéquer l'organisme. Les autres cellules provoquent leur mort en les privant de facteurs de survie : hormones et facteurs de croissance.

Au cours de l'apoptose, la cellule prend sa mort en main. Elle sectionne systématiquement l'ADN, la longue molécule porteuse des gènes située dans le noyau de la cellule. (Les gènes contiennent l'information nécessaire à la synthèse des protéines, molécules constituant le matériau principal de nos cellules et de leurs fonctions. Notre ADN contient de 50 000 à 100 000 gènes, d'où le grand nombre de protéines à l'origine de la diversité cellulaire.)

Ensuite, les fragments d'ADN sont emballés avec les autres matériaux dans des pans de la membrane cellulaire. Finalement, la cellule s'anime d'un intense bourgeonnement et se fracture en une série de gouttelettes aussitôt avalées par les macrophages, cellules dévoreuses de déchets. C'est un suicide organisé et propre. L'apoptose permet à l'organisme d'éliminer des cellules sans provoquer les œdèmes, fièvres et autres symptômes de l'inflammation.

De toutes nos cellules, seules les premières du stade embryonnaire, les blastomères, ne dépendent pas de signaux de survie externes. Toutefois, quelques divisions cellulaires plus tard, les cellules contiennent déjà la dynamite nécessaire à leur suicide. Désormais, la mise à feu dépend uniquement de la solidarité cellulaire : privées de signaux de survie, les cellules meurent par apoptose.

La société cellulaire laisse la dynamite apoptotique faire son œuvre dans la sculpture des organes du fœtus. Par exemple, à l'origine, nos pieds et nos mains sont palmés; les doigts apparaissent seulement lorsque l'apoptose élimine les tissus qui les relie. En dépendant des signaux de survie de la société cellulaire, les cellules en trop sont automatiquement éliminées. Il suffit d'établir une quantité fixe de facteurs de survie pour obtenir le nombre exact de cellules requis par l'organe. La mort cellulaire par privation de facteurs de croissance élimine aussi les cellules égarées dans les mauvais tissus.

L'apoptose normale fournit donc à l'organisme multicellulaire un moyen propre et efficace de se débarrasser des cellules devenues indésirables. Toutefois, on devine facilement les ravages qu'elle peut faire lorsqu'elle se dérègle. Sa maîtrise revêt donc un immense intérêt. Pas un congrès ou colloque en recherche médicale ne se permettrait actuellement de ne pas inscrire à son programme un atelier ou une conférence sur la mort cellulaire programmée.

La maîtrise éventuelle des formes aberrantes de la mort programmée emballe les spécialistes des maladies de la sénescence. « Cela ne prolongera pas votre vie, dit Eugénie Wang, directrice du Centre Bloomfield de recherche sur le vieillissement de l'Institut Lady Davis pour la recherche médicale, à l'Hôpital général juif de Montréal, mais vous pourrez vivre en très bonne santé jusqu'à 80 ans. »

Le concept d'apoptose peut nous permettre de classer les maladies en deux grandes catégories : celles où l'apoptose fait défaut et celles où elle s'emballe.

Auparavant, par exemple, on expliquait le cancer par une prolifération de cellules endommagées. Aujourd'hui, on regarde la tumeur cancéreuse comme un amas de cellules où le processus de mort cellulaire a failli. De même, on explique désormais les maladies auto-immunes, comme le lupus, par la survie intempestive de cellules du système immunitaire qui, en retardant le phénomène de l'apoptose, ont le temps d'endommager l'organisme. L'action immunosuppressive du virus du sida tiendrait, pour sa part, à l'habileté d'une de ses molécules, la gp120, à accroître la susceptibilité des cellules du système immunitaire à l'apoptose. On pense également qu'une maladie neurodégénérative comme l'Alzheimer proviendrait de la capacité de la protéine bêta-amyloïde, produite dans les zones affectées par la maladie, à induire l'apoptose des neurones.

Les chercheurs ont découvert l'apoptose en étudiant un de leurs animaux préférés, le ver microscopique *C. elegans*. Au cours de son développement, *C. elegans* atteint jusqu'à 1090 cellules, mais à maturité, il n'en compte plus que 959, très exactement. Il en élimine donc 131... par apoptose. C'est chez ce nématode que les généticiens ont identifié les tout premiers gènes commandant la synthèse des protéines impliquées dans l'apoptose.

Une course mondiale s'est ensuite engagée afin de découvrir les gènes et les protéines équivalents chez l'humain. Au cours des dernières années, on a identifié une demi-douzaine de protéines humaines de

l'apoptose, mais sans pouvoir leur attribuer un rôle précis. C'est Donald Nicholson qui le premier a identifié, et même réussi à inhiber, une protéine de la famille des enzymes essentielle à l'apoptose humaine. Sa découverte montre que les divers mécanismes influençant l'apoptose convergent tous vers l'activation d'une enzyme déjà présente dans la cellule, une sorte de dynamite cellulaire. (Les enzymes sont des protéines qui accélèrent les réactions chimiques sans être modifiées.)

L'enzyme découverte par Nicholson intervient à la fin d'un processus apoptotique comprenant trois grandes étapes (*voir illustration en page 39*). À l'origine de l'enclenchement de l'apoptose, il y a d'abord des signaux de mort : radiations, chocs thermiques et brisures de l'ADN qui viennent contrecarrer l'action des signaux de survie, hormones et nutriments, émis par la société cellulaire. Les autres étapes se déroulent à l'intérieur de la cellule et forment un tronc commun à toutes les cellules. Il y a d'abord une sorte de bras de fer entre des gènes pro-vie et pro-apoptose, avant l'irréversible activation de la dynamite enzymatique.

À l'intérieur de la cellule, des protéines fabriquées par des gènes anti-apoptose peuvent stopper le processus. La plus dramatique est certainement la NIAP, la protéine inhibitrice de l'apoptose des neurones, découverte l'an dernier par le médecin-chercheur Alexandre MacKenzie de l'Hôpital pour enfants de l'est de l'Ontario, à Ottawa. Le chercheur étudie la forme la plus grave de l'atrophie spinale infantile, la cause la plus fréquente de mortalité héréditaire chez les nourrissons. « On avait toujours cru, dit Alexandre MacKenzie, que l'apoptose avait quelque chose à voir avec la maladie. »

Au cours du développement embryonnaire, les connexions entre le cerveau et les muscles du squelette sont établies par d'énormes cellules appelées motoneurones. Puisqu'il est très difficile pour le cerveau de se relier aux muscles du squelette, il augmente ses chances en projetant deux fois plus de motoneurones que nécessaire. Une moitié se connecte correctement et survit, tandis que l'autre moitié est éliminée par apoptose. L'hypothèse la plus élégante était qu'une apoptose emballée continuait à tuer les motoneurones et provoquait l'atrophie.

« Il y a un an, dit le chercheur, nous avons identifié le gène manquant chez les enfants atteints d'atrophie spinale. Lorsque vous trouvez un gène, vous allez vérifier dans la banque de données si votre gène ressemble à un autre déjà découvert. Le seul qui est apparu est le gène d'un virus des insectes appelé IAP. Nous ignorions ce que cela signifiait. Nous avons regardé : c'était "protéine inhibitrice de l'apoptose!"

On avait la chair de poule tellement on était excités. Nous avons finalement appelé la protéine codée par notre gène NIAP, protéine inhibitrice de l'apoptose neuronale. »

Alexandre MacKenzie, qui a récemment fondé une entreprise baptisée ApoptoGen Inc., a découvert la version humaine d'un gène dont on connaissait déjà le pouvoir anti-apoptotique. Du même coup, il confirmait le rôle central de l'apoptose dans la terrible atrophie. L'absence du gène codant la NIAP empêche les enfants porteurs de ce défaut génétique de produire la protéine qui bloque l'apoptose des motoneurones.

Plusieurs autres gènes interviennent dans le processus d'apoptose soit en inhibant, soit en stimulant le mécanisme. Mais il faut une clé pour activer l'apoptose et c'est ce que Donald Nicholson a trouvé l'an dernier. Il s'agit d'une enzyme qu'il a appelée apopaïne. À partir de l'identification de l'apopaïne et du gène qui en commande la production, il devient possible d'en contrôler l'action. C'est d'ailleurs ce qu'on a compris en étudiant les nématodes.

« Ce ver microscopique n'a qu'un seul de ces gènes, dit Donald Nicholson. L'être humain en a plusieurs. Jusqu'ici, nous en connaissons six, mais il y en a peut-être une quinzaine. Certains contrôlent le suicide cellulaire dans les cellules du cerveau, d'autres dans les cellules du foie, d'autres dans les cellules des muscles, et ainsi de suite. Il est possible que chacun de nos organes possède un mécanisme différent pour éliminer les cellules inutiles. » Tous ces gènes codent des enzymes. Or, ajoute-t-il, les compagnies pharmaceutiques savent très bien comment inhiber l'action des enzymes.

« Par exemple, lorsque les cellules du cerveau ou du cœur manquent de sang, dit Nicholson, elles réagissent comme s'il y avait un problème et commencent à se suicider. Même lorsqu'on rétablit la circulation, lors de la reperfusion, il est souvent trop tard. Trop de cellules se sont déjà suicidées. C'est ce qui arrive au tissu cardiaque lors d'une transplantation. Ainsi, afin de prévenir le suicide cellulaire massif lors d'une telle intervention, on pourrait utiliser des inhibiteurs d'apoptose. On transplante le cœur, on le redémarre en laissant les inhibiteurs d'apoptose en place jusqu'à stabilisation, puis on les retire. On a alors une transplantation réussie, sans tous les dommages associés à la reperfusion. »

En attendant la mise au point des médicaments, l'apoptose permet d'avoir un regard tout neuf sur une foule de maladies. « Avant, dit Eugenie Wang, nous avions plusieurs rayons de roue épars. Le concept de l'apoptose nous a donné le moyeu qui nous permet de relier les rayons ensemble et de construire la roue. »

(Encadrés de « Apoptose : le suicide des cellules enfin compris » tirés de *Québec Science*, vol. 34, n°6, mars 1996, p. 35-39)

### **Stimuler l'apoptose pour ralentir le vieillissement**

Pour Eugenie Wang du Centre Bloomfield de recherche sur le vieillissement, nous avons deux grandes catégories de cellules : celles qui se renouvellent, comme celles du système immunitaire, du sang, de la peau et des parois intestinales, et celles qui ne se renouvellent pas, comme celles du muscle cardiaque et des nerfs. Il va sans dire que l'on tient à garder en vie les neurones du cerveau dont la mort provoque la maladie d'Alzheimer. Par contre, on souhaite que dans les organes comme la peau, où les cellules se renouvellent constamment, les vieilles laissent la place à de plus jeunes. L'apoptose peut être une bonne ou une mauvaise chose, tout dépend de l'endroit et du moment où elle s'enclenche.

Au Centre Bloomfield, on veut utiliser l'apoptose afin de restaurer le processus de cicatrisation. « Les personnes âgées accumulent de vieux fibroblastes (cellules non différenciées à l'origine des cellules de la peau) dans leur peau, dit Eugenie Wang. Ces vieux fibroblastes ne sécrètent plus de collagène, essentiel à la cicatrisation. Pire, ils ne veulent pas mourir. » La spécialiste du vieillissement envisage le jour où le déclenchement de l'apoptose permettra aux personnes âgées de se débarrasser de leurs vieux fibroblastes et de cicatriser comme des jeunes.

La régénération du système immunitaire a déjà été réussie sur de vieilles souris. Au départ, les chercheurs ont créé une souris transgénique dont les cellules du système immunitaire avaient été modifiées.

On lui a donné la capacité de produire des quantités anormalement élevées de ligands déclencheurs de l'apoptose. Les ligands sont les protéines reconnues par les divers récepteurs situés à la surface des cellules. Ici, les ligands produits stimulent les récepteurs commandant la cascade apoptotique.

On a aussi fait en sorte que ces cellules ne fabriquent les ligands de mort que si l'on ajoutait du zinc au régime alimentaire de la souris. On l'a laissée atteindre un âge respectable, puis on lui a servi un repas bien assaisonné de zinc. Les signaux déclencheurs de la mort apoptotique se sont manifestés, les vieilles cellules immunitaires se sont suicidées, et la souris s'est retrouvée avec un système immunitaire tout neuf.

### **Stimuler l'apoptose pour combattre les maladies infectieuses**

Le modèle apoptotique s'applique aussi aux maladies infectieuses. « Lorsqu'un virus pénètre dans une cellule, elle le sent immédiatement, dit Donald Nicholson, du Centre de recherches thérapeutiques de la société pharmaceutique Merck Frosst, à Montréal. La cellule envahie tente alors de se suicider pour protéger l'organisme. » De son côté, le virus a besoin de temps afin d'utiliser les ressources de la cellule pour se répliquer. En se suicidant, la cellule protège l'organisme d'une plus grande quantité de virus. « Mais les virus sont très intelligents, ajoute le chercheur. Ils ont évolué de telle façon qu'ils savent que la cellule va tenter de se suicider. Ils fabriquent donc des protéines qui bloquent le mécanisme de la mort cellulaire. »

De leur côté, certaines bactéries pathogènes tuent les cellules en fabriquant des ligands déclencheurs d'apoptose. Des chercheurs de l'Institut Pasteur ont démontré que la shigelle, un microbe qui provoque la dysenterie, une forme grave de diarrhée, tue un grand nombre de cellules du gros intestin en induisant la mort cellulaire programmée. Il en est de même pour les microbes de la coqueluche, de la diphtérie et peut-être de la bactérie responsable de l'ulcère d'estomac.

C'est une apoptose débridée qui provoque les maladies neurodégénératives d'Alzheimer, de Parkinson et d'Huntingdon. « Cela fait des années qu'on étudie la maladie d'Alzheimer, dit Donald Nicholson. Nous sommes dans un cul-de-sac. L'apoptose appliquée à la maladie d'Alzheimer pourrait être la percée décisive. Avant, on ne pensait pas que la mort pouvait être une composante naturelle de la vie d'un organisme, qu'elle aussi pouvait ne pas fonctionner proprement ou s'emballer. La communauté scientifique a dû revoir sa façon d'envisager l'équilibre entre la vie et la mort dans les organismes multicellulaires comme l'être humain. Et cela ouvre de nouvelles avenues thérapeutiques. »

### **Stimuler l'apoptose pour empêcher le cancer**

Au cours de notre vie, la taille de certains de nos organes varie et plusieurs finissent par s'atrophier. Il arrive un jour, par exemple, où les cellules des glandes mammaires qui sécrètent le lait n'ont plus de raison d'être. Normalement, au cours de la ménopause, elles s'éliminent par apoptose. « Imaginez maintenant qu'une ou

plusieurs refusent de mourir, dit Eugénie Wang. Ces cellules deviennent alors autant de bombes à retardement. Avec le temps, elles s'endommagent et deviennent la source de cancers. »

Pour qu'une cellule devienne cancéreuse, ses gènes doivent accumuler de cinq à six avaries. Dès la naissance, l'héritage génétique peut en apporter quelques-unes auxquelles la vie en ajoutera, par le biais de radiations, de substances cancérogènes ou de dérèglement biochimiques. Certains de nos organes, comme le sang, la peau et la paroi intestinale, se renouvellent rapidement. Cela ne donne pas le temps au cancer de se manifester. Ces organes ressemblent à une intersection. Il faut continuellement faire de la place aux nouveaux arrivants pour éviter l'embouteillage. Avant, on voulait stopper le cancer en empêchant les cellules de se multiplier, on voulait empêcher les gens d'arriver à l'intersection. « Mais que faire de ceux qui y sont déjà? » demande la chercheuse.

L'apoptose offre un moyen de maintenir la fluidité du trafic. Il suffit d'enclencher l'apoptose des cellules qui s'accrochent. L'apoptose préviendrait, entre autres choses, le développement de cancers chez des organes qui s'atrophient avec l'âge, comme les seins, l'utérus et la prostate, et où, parfois, quelques cellules refusent de tirer leur révérence.

### **Stimuler l'apoptose pour rajeunir le système immunitaire**

L'apoptose provoquée des cellules immunitaires ouvre de nouvelles voies dans la lutte contre les maladies auto-immunes, comme le lupus, le diabète et la sclérose en plaques. Un emballement du système immunitaire est à l'origine de ces maladies. Dans une réaction immunitaire normale, la majeure partie des cellules tueuses, une fois leur devoir accompli, meurent par apoptose. Seulement quelques-unes survivent afin de constituer la mémoire immunitaire qui permet à l'organisme de réagir plus rapidement à la prochaine attaque. Les cellules tueuses des personnes souffrant de maladies auto-immunes s'éternisent et se retournent contre les cellules saines.

Une stratégie apoptotique consisterait à déclencher ici l'apoptose bloquée. Par contre, pour les greffés, la stratégie consisterait à neutraliser l'action des cellules du système immunitaire qui éliminent les corps étrangers en provoquant l'apoptose des cellules des organes greffés.

### **Comment se déclenche le processus de mort cellulaire**

Le mécanisme de l'apoptose humaine compte trois grandes étapes. À l'origine de l'enclenchement de l'apoptose, il y a d'abord des signaux de mort : radiations, chocs thermiques et brisures de l'ADN, qui viennent contrecarrer l'action des signaux de survie, hormones et nutriments, émis par la société cellulaire. La privation pure et simple des facteurs de survie constitue aussi un puissant signal de mort.

La lutte extracellulaire qui opposait facteurs de mort et de survie se poursuit à l'intérieur de la cellule entre des protéines produites par des gènes proapoptose et des gènes anti-apoptose. Le premier à se manifester est le gène p53 qui code une protéine appelée « **gardienne du génome** ». On l'appelle ainsi parce que cette protéine a la propriété d'interrompre le cycle cellulaire. Elle stoppe le cycle à son tout début, lorsque l'ADN est endommagé, pour donner à la machinerie cellulaire le temps d'effectuer les réparations. Par contre, si les dégâts sont trop importants, la gardienne du génome engage la cellule sur la voie apoptotique.

Mais les protéines des gènes anti-apoptose, comme la **NIAP, la protéine inhibitrice de l'apoptose des neurones**, peuvent encore intervenir pour stopper le processus. Si le bilan des signaux extérieurs et de la lutte des gènes pro et anti-apoptose penche en faveur de l'apoptose, la cellule s'engage dans l'étape finale de l'exécution. Il y a alors activation d'une enzyme, baptisée **apopaïne** par Donald Nicholson, qui découpe en deux une autre enzyme, appelée **PARP**. L'équipe de Guy Poirier, au Centre hospitalier de l'Université Laval, a démontré que l'apparition de fragments de PARP constitue le tout premier indice confirmant qu'une cellule a pris la voie apoptotique.

« L'enzyme PARP est la même dans toutes les cellules humaines, dit Guy Poirier, même si les mécanismes de signalisation extérieurs à la cellule présentent une grande diversité. À l'intérieur de la cellule, une fois le processus enclenché, c'est à peu près toutes les mêmes voies qui sont employées. »

Ce sont tellement les mêmes que, un mois avant la parution de l'article de Donald Nicholson dans la revue *Nature* du mois de juillet dernier, l'équipe de Guy Poirier publiait, également dans *Nature*, un article dans lequel on appelait Yama l'enzyme découpant PARP. Or, on sait maintenant que apopaïne et Yama sont bel et bien la même enzyme! (En décembre 1995, une réunion convoquée par l'Académie des sciences

de New York n'a pu parvenir à une décision quant au nom officiel de l'enzyme. Elle devrait rendre son verdict au printemps 1996.)

Chaque cellule contient des millions de copies de PARP. « Pourquoi, dit Girish Shah, de l'équipe de Guy Poirier, une cellule qui a décidé de mourir prendrait-elle la peine de découper en deux une protéine aussi abondante? » PARP est l'une de ces molécules dotées de « **doigts de zinc** ». Ces derniers sont des boucles formées autour d'un atome de zinc. Ces boucles font saillie à une extrémité de la molécule PARP, comme des doigts. PARP insère ses doigts de zinc dans les sillons de la molécule d'ADN pour la réparer. « La cellule qui a décidé de mourir ne veut donc pas que PARP répare l'ADN », répond le chercheur.

L'importance de **apopaine/Yama** a été confirmée l'automne dernier par Chris Bleackley, de l'Université de l'Alberta. En collaboration avec Donald Nicholson, il a découvert que lorsque les lymphocytes T cytotoxiques, les cellules tueuses du système immunitaire, reconnaissent une cellule nuisible, ils s'en approchent et lui injectent une enzyme, la **granzyme B**, qui a une action apoptotique foudroyante. La **granzyme B** active directement **apopaine/Yama**. L'action du lymphocyte T s'explique par sa capacité à court-circuiter les protéines anti-apoptose de la cellule. En effet, le lymphocyte tueur fabrique aussi une véritable porte cellulaire, la **perforine**, qui défonce la membrane cellulaire et ouvre la voie à la **granzyme B**.

(Tiré de *Québec Science*, vol. 34, n° 9, juin 1996, p. 69-73)

### Comment le cerveau fabrique des images

On compare souvent la vision humaine à la mécanique d'un appareil photo. Les chercheurs constatent aujourd'hui qu'elle est beaucoup plus complexe et que son étude passe obligatoirement par celle du cerveau. Le troisième œil, c'est lui.

Des flashes réguliers troublent à la façon d'un stroboscope l'obscurité du laboratoire. Face à la lumière, un jeune rat anesthésié, les yeux étirés et le crâne ouvert dans lequel est plantée une électrode. « Chaque fois que la lumière jaillit, on peut enregistrer la réaction des cellules nerveuses chargées de relayer cette information dans le cortex cérébral de l'animal », explique Christian Casanova, chercheur à l'école d'optométrie de l'Université de Montréal.

Une expérience anodine, pointue? Chaque cellule nerveuse, et chaque neurotransmetteur — le langage biochimique qu'utilisent les neurones pour communiquer —, constitue une énigme pour les ophtalmologistes. De plus, le tiers de notre cortex cérébral s'occupe de relayer, de former et de mémoriser des images, un mécanisme qu'on tente de démystifier. « On est en *terra incognita* », dit Christian Casanova.

« Divers neurotransmetteurs sont impliqués dans la vision, rappelle le chercheur, et on commence tout juste à les identifier et à les étudier. » Au cours de l'expérience avec le jeune rat, on lui injecte un peptide appelé angiotensine 2 afin de vérifier si la circulation des signaux électriques s'en trouve modifiée. Selon les premières hypothèses, l'angiotensine jouerait une [sic] rôle important dans le développement du système visuel chez l'embryon des mammifères. Bref, étudier la vision, c'est étudier le cerveau. Et vice-versa.

Parmi les ophtalmologistes québécois, Christian Casanova est considéré comme un fondamentaliste. Les examens de la vue? Très peu pour lui. Mais il illustre le travail d'une nouvelle génération de chercheurs qui tentent de décrypter la véritable mécanique de la vision.

L'œil a peu à voir avec l'appareil photographique, dit Jean-Réal Brunette, fondateur du premier laboratoire de recherche en ophtalmologie au Québec, il y a plus de 30 ans. Aujourd'hui coordonnateur d'un réseau de chercheurs ophtalmologistes québécois, il reconnaît volontiers que l'ophtalmologie a fait des bonds prodigieux. « Aujourd'hui, l'appareil visuel se compare davantage à un ordinateur de première ligne », soutient-il.

La vision est d'abord le travail de 100 millions de photorécepteurs situés sur la rétine. Il en existe deux catégories : les cônes, responsables de la perception des couleurs et concentrés sur la fovéa, le centre de la rétine, et les bâtonnets, responsables de la vision dans l'obscurité et situés surtout en périphérie de la fovéa.

Ces photorécepteurs transforment l'énergie lumineuse en énergie bioélectrique. Ils codent, en quelque sorte, les informations concernant une image pour les faire passer dans le nerf optique grâce à un autre type de cellules, appelées ganglionnaires. Il a fallu des années de recherche pour comprendre cette mécanique de l'œil, mais ce n'est rien à côté de ce qui attendait encore les chercheurs.

Pour effectuer le traitement de l'image, des millions d'interconnexions nerveuses sont activées dans le cortex visuel. Longtemps, pour simplifier les choses, les neuropsychologues parlaient de « boîte noire ». Dans les années 70, cette boîte a été ouverte par deux chercheurs américains, David Hubel et Torsten Wiesel, de l'École de médecine de Harvard, au Massachusetts. Ils ont observé qu'une véritable division des tâches existait au sein du cortex visuel. Leurs recherches leur ont valu le prix Nobel en 1981.

Aujourd'hui, on sait que les signaux bioélectriques lancés de la rétine suivent deux parcours distincts dans le dédale neurologique du cerveau. Une partie d'entre eux aboutissent à une sorte de poste de relais, appelé le corps genouillé, situé dans le thalamus. Après quoi, ils poursuivent leur route vers le cortex visuel primaire ou aire V1, puis vers l'aire V2. « Le cerveau s'occupe à ces étapes d'augmenter la qualité de l'image », précise Christian Casanova. Le processus est d'une rapidité phénoménale : depuis la rétine, les informations y sont acheminées en six ou huit centièmes de seconde.

Les informations sur l'image sont ensuite aiguillonnées vers d'autres aires cérébrales. Les aires V3, V4 et V5 s'occupent respectivement de la localisation spatiale et du décodage de la forme de l'objet observé, des couleurs, et de la perception du mouvement et des signaux lumineux. Ainsi, une lésion dans l'aire V4 va

provoquer une cécité des couleurs tandis qu'un traumatisme sérieux à l'aire V5 entraînera une impossibilité pour le malade de percevoir le mouvement.

« C'est l'ensemble du travail de ce réseau de neurones qui nous permet de distinguer la forme et les détails de ce que l'on voit, explique Christian Casanova. Par exemple, de distinguer une table d'avec une orange. » Cette fonction, qui permet d'analyser les composantes de l'image captée par la fovéa, le chercheur l'appelle le « quoi? ».

L'autre autoroute de l'information visuelle qui part de la rétine rejoint le mésencéphale. Cette zone cérébrale, qui agit comme un détecteur de mouvement, sonne l'alarme s'il survient une intrusion ou un changement dans le champ visuel que couvre notre œil (180 degrés). Cette fonction, c'est le « où », dit Christian Casanova.

Ainsi, lorsqu'on regarde la télévision, c'est le « quoi? » qui nous permet de voir le détail de l'image. Mais si, au même moment, un chat fait irruption dans la pièce, c'est le « où? » qui le détectera et fera détourner notre regard avant même que le « quoi? », ait identifié l'intrus.

Cela dit, si l'image est traitée de manière segmentée, encore faut-il qu'elle soit reconstruite pour devenir « compréhensible ». De quelle façon? « C'est là où nous en sommes », dit le chercheur.

On croit cependant que l'existence d'un circuit de retour qui produit une recombinaison de l'image expliquerait la fabrication des images sans signal rétinien. La mémoire aurait aussi son mot à dire dans ce processus. L'appareil visuel ne peut pas tout voir d'un coup, dit Jean-Réal Brunette. Il faut qu'il puise dans ses souvenirs, aussi récents soient-ils, pour compléter l'image transmise par l'œil.

« Quand vous montez un escalier, par exemple, vous ne regardez pas les marches, surtout si vous les avez déjà vues, poursuit-il. Vous jetez plutôt un coup d'œil sur le bas de l'escalier, puis sur le haut, et vous observez la hauteur qui sépare chacune des marches. Ensuite, vous montez sans vraiment regarder l'escalier. En fait, d'une certaine façon, les images que l'on voit ne sont que des souvenirs ».

### On peut sauver des vues

Un succès en ophtalmologie clinique : les greffes de la cornée. Une inquiétude aussi : une maladie qui porte le nom sibyllin de « dégénérescence maculaire ».

L'œil vieillit mal. Et pour les ophtalmologistes, c'est un véritable problème de santé publique.

Au Québec, après l'âge de 65 ans, 7 % des gens souffrent d'une grave maladie qui affecte la rétine, la dégénérescence maculaire, 3 % ont leur champ de vision grugé par le glaucome et, dans l'ensemble de la population, une personne sur quatre aura des problèmes de cataractes.

Alors qu'il y a de plus en plus de personnes âgées, la politique de santé du Québec est toujours silencieuse en ce qui a trait à la prévention des maladies de l'œil. « On ne parle pas de troubles oculaires comme la myopie et la presbytie, explique Hélène Boisjoly, ophtalmologiste à l'hôpital Maisonneuve-Rosemont, mais bien de maladies qui hypothèquent sérieusement la qualité de vie des gens. Ce n'est pas un luxe de bien voir! »

Les ophtalmologistes ont quand même gagné une manche. Aujourd'hui, il leur est possible de traiter la cataracte — qui affecte le cristallin et peut causer la cécité — en remplaçant une cornée malade. C'est un des grands succès de l'ophtalmologie clinique, souligne Hélène Boisjoly. C'est aussi la greffe la plus fréquemment pratiquée au Québec : 800 cas par année.

D'un diamètre de 12 millimètres et d'une épaisseur de 680 microns — l'équivalent de 10 pages d'un magazine comme *Québec Science* —, la cornée est cette mince couche de tissus qui couvre le globe oculaire. Avec un trépan, une sorte de couteau cylindrique, on prélève sur les donneurs le centre de la cornée, d'un diamètre de moins de 8 mm, pour les greffer aux patients.

Il reste un problème, précise cependant Hélène Boisjoly. La cicatrisation, qui se fait très lentement, est parfois plus dommageable que la pathologie elle-même! Les points de suture (de 12 à 24) ne seront retirés qu'un an après l'intervention chirurgicale. Et encore, une greffe cornéenne ne cicatrise jamais parfaitement. Néanmoins, on considère qu'une greffe transparente 36 mois après l'intervention est un succès. Ce qui survient dans 80 % des cas.

Ces greffes dépendent actuellement de la disponibilité des cornées dans les banques d'organes du Québec. Mais le génie biomédical pourrait bientôt prendre la relève des donneurs : cet automne, à l'Hôtel-Dieu de Paris, on a réussi à créer une cornée artificielle souple en recourant à des biomatériaux, mentionne Yves Pouliquen, directeur du service d'ophtalmologie. Toutefois, cette cornée doit encore être éprouvée.

Reste que la dégénérescence maculaire et le glaucome laissent les ophtalmologistes désarmés. « Pour le moment, c'est sur la prévention qu'il faut miser », pense Hélène Boisjoly. La prévention? Va pour le glaucome, une maladie circulatoire liée à l'hypertension, que l'on peut contrôler. Mais comment prévenir la dégénérescence maculaire?

Alain Rousseau, ophtalmologiste au Centre hospitalier de l'Université Laval, admet que la maladie est inquiétante. « Elle est devenue la première cause de cécité au Québec! » Pour des raisons que l'on comprend mal, de petits vaisseaux anormaux se forment sur la macula ou la fovéa de la rétine et se mettent à saigner. La fovéa permet, rappelons-le, la reconnaissance des couleurs et des visages.

« Il est possible que certaines vitamines puissent aider à prévenir cette maladie », dit Hélène Boisjoly. Mais on n'en sait guère plus.

Ce qui fait resurgir une vieille utopie : sera-t-il un jour possible de fabriquer un œil artificiel? « L'œil est trop complexe », pense Yves Pouliquen. Par contre, il croit qu'on pourra éventuellement remplacer des cellules visuelles dans la région de la rétine malade. « On a déjà tenté de telles implantations et on a constaté que les cellules peuvent survivre. » Tous les espoirs sont donc permis.

(Encadrés de « Comment le cerveau fabrique des images » et « On peut sauver des vues » tirés de *Québec Science*, vol. 34, n° 9, juin 1996, p. 69-73)

### Un hasard de la vie

« La vie est née avec la lumière », rappelle Yves Pouliquen, ophtalmologiste à l'Hôtel-Dieu de Paris et auteur de *La transparence de l'œil*. Et plus la vie évolue, plus la perception de la lumière se complexifie. Chez les algues et les plantes, la réaction à la lumière se limite à la photosynthèse; dans le règne animal, elle permet de voir.

« À l'origine, la vie était non voyante et malentendante, dit le chercheur, et cela a pris du temps avant qu'une structure nerveuse se forme chez les organismes vivants afin de relayer et analyser les images. » Mais pourquoi a-t-on évolué vers une perception de l'image, et ce, avant même que l'être vivant comprenne que l'image pouvait lui être utile?

On ne le sait pas encore. Par contre, on peut observer une impressionnante diversité de systèmes oculaires dans la nature. « On trouve des arthropodes qui ont des yeux qu'ils n'utilisent pas, des mollusques qui ont des centaines d'yeux dont seulement quelques-uns servent et d'autres qui ont des yeux de modèles différents! »

La pression environnementale a également influé sur la « façon » de voir de certains êtres vivants. Un oiseau, par exemple, a la capacité de voir de près et de loin simultanément. Ainsi, il peut regarder à l'horizon et, en une fraction de seconde, remarquer un moucheron qui passe sous son bec.

Mais il n'y a pas que la vue qui a fait des progrès, constate le chercheur, la science en a fait également. À un point tel qu'elle pourrait un jour se substituer à la nature... « La recherche sur les biomatériaux nous permettra éventuellement de recréer la rencontre originelle des cellules qui ont permis le développement de l'œil. Une rencontre qui est survenue par hasard, il y a deux milliards d'années. »

### **Le parcours d'une image**

L'image que nous regardons est captée par la rétine centrale (fovéa), qui transforme l'énergie lumineuse en un signal nerveux. Ce signal est alors transmis via le corps genouillé latéral (situé dans le thalamus) au cortex visuel occipital (V1 puis V2), le long de canaux spécialisés dans le traitement de la forme, de la couleur et du mouvement de l'image visuelle. Ces différents attributs seraient ensuite analysés par des aires visuelles spécifiques du cerveau (V3, V4, V5). Le résultat et la mise en commun de ces analyses permettraient la perception unifiée de l'image. Deux autres régions du cerveau jouent un rôle très important dans l'analyse du monde visuel qui nous entoure. Ainsi, le colliculus supérieur (situé dans le mésencéphale) permet de détecter les images ou cibles qui apparaissent soudainement dans le champ visuel périphérique (au-delà de la fovéa) et contrôle le déplacement du regard vers le nouveau stimulus (mouvements des yeux et de la tête). Finalement, une vaste région du thalamus, le pulvinar, interviendrait dans les processus d'attention visuelle qui nous permettent d'interagir de façon adéquate avec l'environnement.

**Christian Casanova**

### **De la guerre des étoiles à la bataille contre la myopie**

Le tiers de la population québécoise est myope. La chirurgie réfractive, qui permet de cisailer au laser les cornées trop bombées, pourrait leur venir en aide.

« Il y a quelques années, seuls les gens à l'imagination extrêmement fertile pensaient pouvoir modifier la vision grâce à la chirurgie réfractive! » dit Jean-Réal Brunette, ophtalmologiste au Centre hospitalier universitaire de l'Estrie. Mais il constate aujourd'hui que cette technique est de plus en plus utilisée et que, dans 15 ans, elle permettra probablement de traiter toutes les myopies.

Il s'agit d'une des premières applications civiles d'une technologie issue du programme d'initiative de défense stratégique des États-Unis, mieux connu sous le nom de « Guerre des étoiles ».

Utilisée pour la première fois en 1988, la chirurgie réfractive s'est rapidement répandue. Par exemple, l'an dernier, pas moins de 2 000 Québécois y ont eu recours. Par contre, ce n'est pas un traitement miracle et le meilleur taux de succès — 90% — est obtenu avec des myopes dont la dioptrie est inférieure à 6. Les dioptries mesurent le degré du handicap, une dioptrie 0 correspondant à une vue normale et une dioptrie 12, à une forte myopie.

Isabelle Brunette, spécialiste de la chirurgie réfractive à l'hôpital Maisonneuve-Rosemont de Montréal, s'inquiète cependant de l'absence de contrôle gouvernemental dans ce secteur d'activité. Pour l'instant, ce type de chirurgie n'a pas besoin d'être homologué au Canada et il est possible qu'un jour une technique plus risquée soit introduite au pays. De plus, il n'existe pas de normes d'utilisation. Si bien qu'on pourrait voir des cliniques privées proposer de corriger des myopies sans pouvoir obtenir de résultats vraiment concluants.

La chirurgie réfractive est également utilisée pour traiter les problèmes oculaires occasionnés par le diabète, la cause la plus fréquente de cécité entre l'âge de 40 et 60 ans. « Avant le laser, on ne pouvait rien faire, dit Alain Rousseau, du Centre hospitalier de l'Université Laval. Aujourd'hui, on peut contrôler 70 % des rétinopathies. Les États-Unis se sont fixé comme objectif d'éliminer la cécité causée par le diabète d'ici l'an 2 000, ajoute le médecin. Au Québec, il faudrait atteindre un objectif semblable. »

(Tiré de *Interface*, vol. 16, n° 3, mai-juin 1995, p. 30-39)

### **Le sida : une épidémie comme les autres ?**

La variole, cette épidémie jusqu'à présent la plus meurtrière de l'histoire, est déclarée comme totalement éradiquée de la planète depuis 1977. Victoire! Mais voilà qu'en plus des très nombreuses autres qui continuent de frapper, une nouvelle épidémie sévit depuis 1981 : le sida. Saurons-nous vaincre cette maladie qui risque, en quelques décennies seulement, de faire plus de victimes que la variole en plusieurs millénaires? La partie n'est pas encore gagnée.

On estime à 22 millions par année le nombre d'individus qui meurent d'infections causées par des microbes, qu'il s'agisse de bactéries, de virus, de champignons ou de parasites. Les infections constituent la première cause de mortalité à l'échelle internationale, suivies des maladies cardiaques (12 millions de morts par an) et du cancer (5 millions). Les éléments pathogènes se retrouvent partout : dans le sol, l'air, l'eau, les aliments, chez les animaux, les insectes, et les humains de tout âge et de tout sexe. Aucun continent n'est épargné.

Il est important toutefois de préciser que toutes les infections ne sont pas contagieuses et, surtout, que toutes les maladies contagieuses ne donnent pas lieu à une épidémie. Pour qu'on puisse parler d'épidémie, le nombre de cas d'infection doit être, pour une population donnée, plus élevé que la normale et en croissance rapide. Par exemple, le choléra dans les camps de réfugiés rwandais à Goma, à l'est du Zaïre, a véritablement pris à l'automne 1994 les proportions d'une épidémie (environ 20 000 cas). Par contre, l'infection à streptocoque du groupe A (ou « bactérie mangeuse de chair »), dont le nombre de cas, par exemple au Québec, ne dépasse pas la cinquantaine, n'a aucune caractéristique d'une épidémie pour le moment. Il n'y a donc pas de raison de s'affoler actuellement, même s'il est justifié de surveiller la progression de l'infection.

De fait, les épidémies, quand il s'agit vraiment d'épidémies, ont de quoi faire peur. À toutes les époques, elles ont marqué de leurs sinistres effets l'évolution des sociétés (*encadré*). Et les temps

modernes ne sont pas épargnés. On n'a qu'à penser à l'épidémie du sida, qui risque bien d'entraîner, à moins que de nouveaux moyens préventifs ou thérapeutiques ne soient découverts, la plus grande hécatombe de l'histoire de l'humanité. Reliée au sang et au sexe, symboles de vie, cette infection mortelle remet en question les valeurs propres de notre société. Quelles leçons pouvons-nous tirer de l'histoire des grandes épidémies? Nous présenterons d'abord les parallélismes et divergences entre plusieurs épidémies et le sida, afin d'amorcer la réflexion.

## LE SIDA

L'épidémie du sida pourrait devenir encore plus dévastatrice que la peste ou la grippe espagnole. En effet, on estime que d'ici l'an 2000, entre 50 et 100 millions d'individus seront infectés avec le virus responsable de cette maladie (VIH — virus de l'immunodéficience humaine). Depuis cinq ans, le nombre de cas de sida a triplé en Afrique et, en 1995, près de quatre millions d'enfants seront orphelins par suite du sida. Il y a actuellement à l'échelle de la planète 100 fois plus de sidéens et de sidéennes qu'il y a 10 ans. La distribution géographique du sida, selon les estimés de l'Organisation mondiale de la santé (OMS), changera énormément d'ici le début du troisième millénaire : 42 p. cent des sujets infectés se trouveront alors en Asie; 31 p. cent en Afrique; 8 p. cent en Amérique latine et 19 p. cent dans le reste du monde, y compris en Amérique du Nord et en Europe. Il y aura à cette période plus de femmes et d'enfants infectés que d'hommes adultes infectés.

Existe-t-il des points communs à toutes les épidémies? Un premier vient à l'esprit : celui de l'existence, pour chacune d'elles, de boucs émissaires, laissant ainsi libre cours aux préjugés et au racisme. Quand la peste noire frappa au Moyen Âge, on accusa et persécuta les Juifs. Au début du siècle, ce sont les Irlandais et les Italiens qui furent respectivement accusés d'amener à New York le choléra et la poliomyélite. Quant à la syphilis, c'était la faute des Noirs américains. Et pour le sida? Pourquoi ne pas accuser les homosexuels? les Haïtiens? Depuis la Haute Antiquité, les épidémies sont perçues comme le signe d'une colère divine, un châtement pour une faute commise. Et il semble, si l'on regarde la façon dont certaines

personnes abordent encore le problème du sida, que cette vision des choses n'ait pas totalement disparu, et ce, malgré les progrès de la science et de la médecine.

Toutefois, cette constante mise à part, l'épidémie du sida se distingue largement de toutes les autres épidémies connues jusqu'à présent. Et cette différence est d'une grande importance.

Tout d'abord, contrairement aux autres infections, le sida est une maladie mortelle à 100 p. cent. Son mode de transmission est également unique (*tableau 1*), car en dehors de quelques très rares cas de transmission sanguine de la syphilis, le sida constitue avec l'hépatite l'une des seules maladies véritablement transmises par voie sexuelle et sanguine (*encadré*).

La vitesse de la progression de la maladie est également très particulière. Alors que dans le cas d'infections comme le choléra, la mort peut survenir rapidement en quelques heures, les personnes infectées par le VIH peuvent demeurer asymptomatiques pendant plusieurs années — parfois même plus de 10 ans —, ce qui ne les empêche pas d'être contagieuses. La vitesse de progression du sida varie d'ailleurs énormément d'un individu à un autre. Cette période de latence s'explique par le fait que le virus du sida est en fait un rétrovirus. Intégré au génome de son hôte, ce rétrovirus peut se présenter sous une forme active ou dormante. Or, même si la plus grande proportion de ce virus se trouve probablement sous la forme active et qu'un fort pourcentage de cellules cibles sont effectivement détruites, l'organisme, qui est capable de produire des milliers de cellules par jour, compense pour les dommages créés. Il le fera tant et aussi longtemps qu'il le peut, permettant ainsi à la maladie de rester silencieuse à ses débuts.

Toutes les grandes épidémies deviennent tôt ou tard un phénomène international. On les appelle alors « pandémies ». Mais là encore, le sida se distingue. La peste ou le choléra, par exemple, subsistent dans plusieurs pays, mais ils ne touchent que des régions propices à son expansion, là où les conditions d'hygiène ou la qualité de l'eau font défaut. Le sida, lui, est en train de devenir un fléau mondial en raison de son mode même de transmission, qui n'est pas strictement lié à des conditions socio-économiques particulières.

Le virus du sida s'attaque au système immunitaire de l'hôte. Par conséquent — et il s'agit là encore d'une caractéristique propre au sida —, il accélère la progression de certaines maladies, telles les MTS (maladies transmises sexuellement), en plus d'augmenter la contagiosité d'autres infections comme la tuberculose. On assiste d'ailleurs depuis quelques années à une recrudescence de la tuberculose chez les sidéens et sidéennes, mais aussi chez leurs proches en bonne santé et non affectés par le VIH. Le sida favorise également l'apparition de cancer.

Une fois déclaré, le VIH s'attaque tout particulièrement aux cellules du système immunitaire : les lymphocytes T. Aux fins de suivi épidémiologique, le Centre for Disease Control (CDC) américain considère toute personne ayant un taux de lymphocytes T inférieur à 200 ( $CD4 < 200$ ), qu'elle soit symptomatique ou non, comme un cas de sida. Cette nouvelle définition n'est toutefois pas partagée par le Canada ni par plusieurs autres pays comme la France. Retenons surtout que pour être considérée comme sidéenne, une personne doit présenter des complications sérieuses qui sont en général associées à une détérioration marquée des défenses de l'hôte, et tout particulièrement à une baisse du nombre de lymphocytes T. Toutefois, certaines complications liées au sida peuvent survenir avec des taux de lymphocytes T normaux.

## LA LUTTE CONTRE LES ÉPIDÉMIES

Le 26 octobre 1977, Maow Maalin, un jeune Somalien de la ville de Merca, devint le dernier cas de variole recensé par l'Organisation mondiale de la santé. Cette épidémie est maintenant, après mille ans de lutte (*encadré*), considérée comme totalement éradiquée de la planète. Une belle réussite due à la vaccination.

Toutefois, la lutte contre les infections ne donne pas toujours des résultats aussi probants (*tableau 2*). À preuve, les cas de la tuberculose et de la peste, deux maladies qui continuent de décimer des populations malgré l'existence d'un vaccin. La raison? Ces deux infections, tout comme le choléra, sont causées par des bactéries et non par des virus (cas de la grippe, de la variole et du sida). Or l'efficacité de certains vaccins antiviraux sont en général très efficaces.

À quand un vaccin contre le sida? Malheureusement, le développement d'un tel produit risque de demeurer difficile. C'est qu'il n'existe pas un seul virus VIH, mais au moins deux familles (VIH-1 et VIH-2) de virus VIH, dont les membres présentent une grande variabilité, selon les nombreuses mutations qu'ils subissent. Les scientifiques sont encore incapables de trouver l'antigène commun à tous ces membres.

Même chez les patientes et patients infectés avec le VIH, les anticorps produits par l'organisme qui servent à la détection de ce virus semblent avoir un pouvoir neutralisant limité. Ces anticorps « signent » la maladie, mais protègent peu. De plus, comme l'ont montré les années de lutte contre plusieurs MTS, il semble difficile de développer un vaccin capable de bloquer la pénétration d'un virus au niveau des muqueuses vaginales ou rectales.

L'amélioration des conditions d'hygiène, qui fait partie de l'arsenal de moyens utilisés contre des infections classiques comme la peste et le choléra, n'est par ailleurs d'aucune utilité contre le sida. En attendant un vaccin efficace, on devra donc recourir à des barrières physiques et développer des barrières chimiques.

### DES BARRIÈRES PHYSIQUES ET CHIMIQUES

Malgré des campagnes nationales et internationales de prévention pour encourager l'utilisation du condom masculin ou féminin, un fort pourcentage de personnes à risque n'utilisent pas ce moyen très efficace de prévention. Le constat fait peur, d'autant plus qu'une étude portant sur la sexualité de 3432 hommes et femmes âgés entre 18 et 59 ans démontre qu'un fort pourcentage de gens ont de nombreux partenaires sexuels : 42 p. cent des personnes interrogées avaient eu plus de cinq partenaires sexuels depuis l'âge de 18 ans (*tableau 3*). Les campagnes de prévention n'ont pas eu l'effet escompté. D'autres campagnes de publicité ou d'éducation mieux organisées devront être mises sur pied. Et comme il est très difficile de changer les habitudes sexuelles des adultes, il faudra également s'adresser à l'avenir aux jeunes et aux adolescents, et les informer non seulement sur la mécanique de la sexualité, mais aussi sur les relations amoureuses.

Par ailleurs, l'Organisation mondiale de la santé a décrété comme priorité de recherche le développement de microbicides vaginaux capables de prévenir la dissémination de l'infection à la fois chez les hommes, les femmes et les enfants. Quelques spermicides, dont le nonoxynol, le chlorure de benzalkonium et le menfégol, se sont révélés efficaces *in vitro* et même *in vivo* contre le VIH et d'autres agents responsables de MTS. Toutefois, certains provoquent des lésions muco-sales et cervicales qui pourraient favoriser l'entrée du virus. Il faut donc mettre au point de nouveaux microbicides sous forme de crème ou de gel qui s'appliqueraient sur les muqueuses vaginales, rectales ou sur la peau des travailleurs de la santé qui auraient pu accidentellement, en se blessant, être en contact avec du sang contaminé. Ces microbicides pourraient contenir différents antiviraux ou antibiotiques et ainsi protéger non seulement contre l'infection par le VIH, mais aussi contre toute forme de MTS. Nous travaillons à concevoir dans notre laboratoire de tels produits, qui devront être sécuritaires et efficaces. Ils pourraient même prévenir la transmission du VIH de la mère à l'enfant au moment de l'accouchement (*encadré*).

### LE CONTRÔLE DE LA PROGRESSION DE LA MALADIE

L'histoire naturelle de l'infection par le VIH est indissociable des thérapeutiques qui, depuis 1985, influencent et modulent la progression de cette maladie chez les personnes atteintes. Les cliniciens qui ont, depuis 1981, suivi de nombreux patients et patientes, constatent ceci : le diagnostic précoce de l'infection avec le VIH et de ses complications, l'utilisation de médicaments en prophylaxie pour prévenir tout particulièrement les infections associées au VIH et l'utilisation d'antiviraux ont non seulement amélioré la qualité de vie, mais aussi augmenté la survie des sujets infectés avec le VIH. Un ensemble de facteurs — un meilleur support psychologique et familial, une meilleure nutrition, une prise de conscience des patients eux-mêmes et de la société — ont également contribué à modifier l'histoire naturelle de cette maladie.

Les études suisses, danoises et québécoises nous portent à croire que la survie moyenne d'une personne après qu'elle a contracté le VIH, est d'environ 10 ans. La survie moyenne une fois le sida déclaré

est cependant beaucoup plus courte. Une étude européenne multicentrique menée auprès de 6578 patients et patientes démontre qu'elle est d'environ 17 mois. La survie est toutefois nettement influencée par la pathologie sous-jacente au sida : la tuberculose et le sarcome de Kaposi donnent une moyenne de survie de trois ans, alors que la survie des sidéens ou sidéennes développant un lymphome (tumeur) non hodgkinien est de six mois seulement.

Les études nous laissent percevoir également un effet géographique notoire. Alors que les malades du nord de l'Europe survivent plus longtemps au sida que ceux du sud, la mortalité hospitalière est plus élevée dans l'État de New York (30 p. cent) qu'en Californie (21 p. cent). Enfin, chez certains [sic] personnes, la maladie évolue extrêmement lentement alors que chez d'autres — par exemple, au Zaïre —, la médiane de survie après la séroconversion est de 14 mois. En somme, on doit retenir que la survie varie d'une population à une autre, mais qu'avec la thérapeutique, la qualité de vie des personnes sidéennes semble aujourd'hui améliorée.

## LA THÉRAPEUTIQUE DE L'INFECTION AVEC LE VIH

Contrairement aux autres épidémies comme la tuberculose, la lèpre, la peste ou le choléra, pour lesquelles il existe un traitement, aucun des moyens thérapeutiques actuels ne guérit le sida. Cependant, plusieurs traitements sont utilisés pour ralentir l'évolution de l'infection. Chez les personnes symptomatiques qui ont le sida, l'AZT est le médicament de premier recours. Toutefois, ses effets néfastes et le développement rapide de la résistance du VIH à l'AZT en limitent l'efficacité. Le ddl ou le ddc seuls sont également utilisés à la place de l'AZT, mais ils peuvent être toxiques et la résistance à ces médicaments est répandue. Les combinaisons AZT-ddl, AZT-ddc, AZT-foscarnet ou AZT-3TC, qui semblent avoir un effet additif ou synergique *in vitro*, pourraient être plus efficaces *in vivo*. L'utilisation intermittente d'antirétrovirus seuls ou en combinaison pourrait également être une approche prometteuse.

Même si beaucoup de personnes asymptomatiques dont le taux de lymphocytes T est inférieur à 500 recourent à l'AZT, les études récentes démontrent que ce médicament ne semble pas augmenter leur temps de survie. Il pourrait même leur être néfaste. Nous travaillons actuellement à mettre au point des

méthodes de ciblage spécifique des cellules infectées à l'aide de nanoparticules ou de liposomes, lesquels serviraient de véhicule de transport des antiviraux. De telles méthodes pourraient diminuer les effets toxiques de ces derniers tout en augmentant leur efficacité.

## LES LEÇONS DE L'HISTOIRE

Quelles leçons tirer de l'histoire des épidémies? Tout d'abord, que les épidémies ont toujours existé, qu'elles existent et continueront encore d'exister, et ce, malgré les progrès de la médecine. Saurons-nous y faire face et en particulier, saurons-nous nous adapter aux nouvelles épidémies comme le sida? Comme le sida frappe tous les pays, sa progression risque d'être particulièrement dramatique sur certains continents comme l'Afrique ou l'Asie, où, de plus, les moyens disponibles pour maintenir en vie les personnes infectées sont limités. Continuerons-nous alors à promouvoir une médecine du Nord et une médecine du Sud? Saurons-nous également réviser nos priorités? Par exemple, tout semble indiquer qu'il y aura bientôt autant de sidéennes que de sidéens. Or la médecine propre aux femmes accuse encore de sérieux retards si on la compare à d'autres domaines médicaux où les prouesses techniques ne manquent pas.

Voilà autant de questions qui demandent réflexion. Phénomène social unique, le sida est au cœur de nombreux débats sociaux, politiques et scientifiques. Touchant nos valeurs les plus profondes, cette maladie brise toutes nos règles. Elle a permis un dialogue jamais vu, voire une confrontation, entre les gouvernements, les scientifiques, le monde médical, les compagnies pharmaceutiques, les groupes communautaires et les personnes atteintes. Pour la première fois, les victimes de cette maladie sont descendues dans la rue et ont ébranlé l'*establishment* médical qui, du jour au lendemain, s'est retrouvé dans une tour de verre fragile et transparente. Je crois que, de toutes les épidémies, le sida est celle qui aura le plus de conséquences sur la société.

(Encadrés de « Le sida : une épidémie comme les autres? » tirés de *Interface*, vol. 16, n° 3, mai-juin 1995, p. 30-39)

### **Encadré 1**

Les microbes ayant 3,5 milliards d'années d'expérience, on devine que les épidémies sont aussi vieilles que l'humanité. L'examen des textes et des tombeaux de la Mésopotamie (3 000 ans avant J.-C.) de même que l'étude des momies égyptiennes le confirment d'ailleurs en nous révélant que des infections comme la variole sévissaient déjà à ces époques. De fait, la variole aura été, jusqu'à son éradication, l'épidémie la plus meurtrière de toute l'histoire : elle aurait tué plus de 100 millions d'individus.

On ne peut non plus passer sous silence la peste noire qui ravagea l'Europe au Moyen Âge. Apparue à Marseille à la fin de l'année 1347, en provenance d'Asie centrale, elle avait avant l'été suivant traversé toute l'Italie, la moitié orientale de l'Espagne et la France jusqu'à Paris. Elle se propagea ensuite en Allemagne, en Angleterre, en Irlande, dans les Pays-Bas, au Danemark, en Norvège avant de continuer sa course plus loin.

Elle se termina en 1377. Bilan : 20 à 25 millions de morts, soit entre le tiers et le quart de la population européenne! Plus récemment, entre 1900 et 1950, en Inde, plus de 10 millions de personnes sont mortes de la peste. Cette infection est d'ailleurs encore endémique dans une vingtaine de pays.

D'autres grandes épidémies ou pandémies firent malheureusement leur marque. De 1817 à 1899, le choléra fera de 30 à 40 millions de morts en Europe. Le relais sera pris plus tard par la grippe espagnole : 21 millions de morts de 1918 à 1919. Cela sans parler de la fièvre jaune, de la lèpre, de la syphilis, de la tuberculose, de la diphtérie, du typhus, du paludisme...

### **Encadré 2**

#### **La transmission sanguine**

La transmission sanguine par transfusion est maintenant à peu près inexistante dans les pays qui disposent de méthodes de détection du VIH ou de traitement par chauffage des échantillons de sang collectés. Dans les pays industrialisés, la transmission sanguine ne se voit plus que chez les toxicomanes (qui sont, par

contre, de plus en plus décimés par cette maladie) ou accidentellement chez les travailleurs et travailleuses de la santé exposés directement à du sang contaminé. L'incidence chez ces personnes est estimée à deux à quatre cas de contamination pour 1000 expositions au VIH alors que le risque de se contaminer avec du sang infecté par le virus de l'hépatite B est de 10 p. cent. La transmission materno-fœtale survient soit pendant la grossesse, soit pendant l'accouchement (contact avec les sécrétions vaginales), ou encore, au cours de l'allaitement.

#### **La transmission sexuelle par voie génitale ou anorectale**

Il est intéressant de noter que même si l'on connaît à fond la biologie moléculaire du VIH, les données concernant sa transmission au niveau des muqueuses génitales et anorectales sont limitées. Que ce soit chez l'homme ou chez la femme, plusieurs études suggèrent que le bris des muqueuses semble un facteur facilitant la pénétration du virus dans l'organisme. Plusieurs maladies transmises sexuellement (MTS) occasionnant des ulcérations ou des lésions mucosales semblent favoriser l'entrée du virus. De plus, le risque de transmission du VIH de l'homme à la femme est 20 fois plus élevé que celui de la transmission de la femme à l'homme.

Une personne infectée avec le VIH est également plus sensible aux MTS, dont les manifestations sont alors plus sévères et les complications plus fréquentes. Les échecs thérapeutiques sont donc plus nombreux. Il semble que des difficultés à traiter les MTS soient associées à la résistance accrue de ces pathogènes aux antibiotiques. De plus, certains tests de dépistage des MTS sont parfois brouillés à cause de la présence d'une infection par le VIH.

### **Encadré 3**

#### **Mille ans de lutte pour vaincre la variole**

Les Chinois, au X<sup>e</sup> siècle, sont les premiers à essayer d'endiguer la variole à l'aide d'insufflation nasale d'escarres cutanés de personnes varioleuses. Cette technique, appelée « variolisation », sera également utilisée en Égypte au XIII<sup>e</sup> siècle. Au XVIII<sup>e</sup> siècle, la variole connaît, en Amérique et en Europe, plusieurs poussées meurtrières. Ces dernières déciment la cour de France, l'une d'elles emportant Louis XV. Lady Montagu importe alors de Constantinople le procédé de variolisation : « En inoculant à un sujet sain du pus d'un varioleux convalescent, on lui communique une variole plus bénigne, alors qu'il pourrait mourir d'une maladie contractée spontanément. » Malgré de farouches oppositions, la variolisation par inoculation se répand rapidement. La variolisation est alors en passe de devenir la première technique médicale de masse, non seulement pour prévenir une maladie ou empêcher sa contagion, mais aussi pour la rendre moins grave. Une découverte d'Edward Jenner (1749-1823), cependant, la supplante. Ce médecin de campagne,

en Angleterre, observe que les fermières et la valets dont les mains gardent les cicatrices d'une infection due à la maladie du pis des vaches, la « vaccine », ne contractent pas la variole en période d'épidémie. Il démontre qu'en introduisant du pus provenant de la vaccine dans l'organisme humain, on empêche celui-ci de contracter la variole. Entre 1795 et 1831, la vaccination permet de réduire la mortalité de 35,5 p. cent à 6,8 p. cent et de faire passer la longévité de 23 à 38 ans. Elle se répand progressivement au cours des siècles, mais c'est grâce à un programme de vaccination intensif proposé en 1958 par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) que l'on peut éliminer complètement cette maladie. La dernière personne atteinte de variole fut recensée au Zaïre en 1977. Une question se pose alors : si la variole semble avoir totalement disparu de la planète, doit-on éliminer le virus de la variole conservé en laboratoire pour produire le vaccin?

#### **Encadré 4**

##### **Transmission du VIH au cours de relations sexuelles**

Le VIH, comme la plupart des virus, doit pénétrer les cellules pour survivre ou se multiplier. Le VIH se trouve la plupart du temps à l'intérieur des cellules mais il peut également se retrouver libre dans les sécrétions génitales. Les spermatozoïdes ne semblent pas constituer un réservoir important de VIH. Ce sont plutôt les macrophages présents dans les sécrétions génitales de l'homme qui jouent un rôle prédominant dans la transmission du virus. Le VIH libre peut également pénétrer la muqueuse, mais plus difficilement.

Au cours des relations sexuelles, les cellules infectées contenant du VIH se fusionnent avec des cellules vaginales réceptrices (cellules de Langherans) et transmettent le VIH du sperme à la muqueuse vaginale. Si la relation est anorectale, les cellules de la muqueuse rectale servent de voie de transition pour permettre au VIH de s'intégrer aux macrophages de la muqueuse intestinale. Les cellules de Langherans, qui se transforment en cellules dendritiques, et les macrophages ont la propriété de permettre la multiplication du VIH sans être détruits par le virus. Ces cellules infectées voyagent par les circulations sanguine et lymphatique jusqu'aux ganglions lymphatiques, qui servent de réservoir pour le virus.

Une fois installées dans les tissus lymphoïdes, les cellules dendritiques infectent d'autres cellules, tels les lymphocytes T. Ceux-ci sont la cible ultime du VIH, qui les détruit à des rythmes variables. Le VIH peut toucher aussi d'autres types de cellules et atteindre plusieurs organes. Le neuro sida, par exemple, est dû à une infection des cellules hôtes du cerveau.

#### **Des microbicides à l'encapsulation des médicaments**

Les travaux de recherche menés dans notre laboratoire portent sur des moyens de prévenir l'entrée du VIH au niveau des muqueuses vaginales et rectales, et sur le ciblage spécifique des ganglions lymphatiques qui servent de réservoir au virus du sida. Comme barrière préventive, nous avons élaboré un gel qui, à 37 °C,

crée un réseau intermicellaire; celui-ci devient visqueux et, en s'insérant dans les irrégularités des muqueuses, pourrait bloquer l'entrée du VIH, ou même d'autres pathogènes responsables de MTS, au cours de relations sexuelles.

Nos études, jusqu'à maintenant, ont démontré à l'aide d'un modèle *in vitro* d'infection par le VIH que ce gel bloquait à lui seul l'infection des cellules ciblées par le VIH. Nous croyons que l'encapsulation de microbicides (spermicides ou antiviraux) dans les liposomes et l'incorporation de ceux-ci dans ces gels, pourraient servir à la fois de barrière chimique (microbicide) et de barrière physique (gel) pour empêcher la dissémination de l'infection. Nos travaux démontrent que les antiviraux encapsulés et intégrés à ces gels sont libérés lentement et pourraient éventuellement éviter non seulement la transmission sexuelle, mais aussi, nous l'espérons, la transmission de mère à enfant à l'accouchement (l'enfant étant à ce moment en contact avec les sécrétions vaginales infectées de la mère).

Par ailleurs, comme les ganglions servent de réservoir au VIH, nous croyons fermement que le ciblage des ganglions à l'aide d'antirétroviraux encapsulés dans des liposomes, pourrait constituer une approche thérapeutique efficace. Nos travaux démontrent clairement que l'encapsulation du ddl, du ddC et du foscarnet permet d'obtenir dans les cellules et dans les ganglions infectés par le VIH des concentrations d'antiviraux nettement supérieures à celles obtenues avec le médicament non encapsulé. De plus, l'activité antirétrovirale du ddC et du foscarnet contre le VIH est nettement augmentée. Comme le micro-environnement des tissus lymphoïdes est essentiel pour la réponse immune et que les particules virales s'accumulent rapidement dans les tissus lymphoïdes très tôt après le début de l'infection, nous croyons essentiel d'inhiber la réplication du VIH et de diminuer la charge virale le plus tôt possible après ce moment.

(Tiré de *Interface*, vol. 13, n° 2, mars-avril 1992, p. 12-15)

### **La médecine des gènes**

CE N'EST PLUS DE LA SCIENCE-FICTION : CERTAINES ERREURS DE NOTRE MATÉRIEL GÉNÉTIQUE, RESPONSABLES DES MALADIES HÉRÉDITAIRES, POURRONT BIENTÔT ÊTRE « CORRIGÉES » PAR UNE VÉRITABLE « CHIRURGIE » DE NOS GÈNES. DES ESSAIS CLINIQUES SONT MÊME EN COURS. C'EST POURQUOI NOUS VOUS PRÉSENTONS ICI UN ARTICLE SUR LES RÉCENTS DÉVELOPPEMENTS DE CETTE NOUVELLE MÉDECINE, LA THÉRAPIE GÉNIQUE, ET SUR LES TRAVAUX EFFECTUÉS À LA SOCIÉTÉ CANADIENNE DE LA CROIX-ROUGE DE MONTRÉAL.

La thérapie génique est un sujet à la mode et plusieurs auteurs en ont fait récemment une revue. Mais de quoi s'agit-il exactement? Le concept est relativement simple. À l'origine de plusieurs maladies, on trouve ce qu'il est convenu d'appeler un « défaut génétique ». Le matériel génétique ou les gènes, c'est un peu comme les plans et devis d'un organisme vivant : il arrive quelquefois qu'une erreur se glisse dans les instructions visant à la réalisation et au bon fonctionnement d'un être vivant. Un peu, si l'on veut, comme une faute de frappe. L'idée de la thérapie génique, c'est tout simplement de corriger la situation en fournissant les bonnes instructions, ou encore, en faisant la correction des fautes. Simple à dire, mais pas si facile à faire, car il y a beaucoup d'éléments à considérer.

#### **Les types de maladies**

En principe, tout défaut génétique pouvant être corrigé par l'apport d'un seul gène fonctionnel, pourrait être candidat à la thérapie génique (*figure 1 A*).

C'est généralement le cas pour les maladies génétiques dites « récessives », c'est-à-dire celles où il est nécessaire que les deux gènes, l'un reçu de notre père, l'autre de notre mère, soient défectueux pour qu'apparaisse la maladie. Bon nombre des maladies héréditaires (transmises par nos parents), telle la fibrose kystique, sont de ce type. Certaines maladies somatiques (acquises au cours de notre vie) sont aussi le résultat de défauts génétiques récessifs; c'est le cas de certains cancers.

Nous pourrions également envisager de faire la thérapie génique pour les maladies génétiques dominantes, c'est-à-dire celles où il suffit qu'une seule de nos deux copies de gènes soit atteinte, pour autant que l'on corrige directement le défaut par « rapiéçage » (*figure 1 B*).

### **Le gène correcteur**

Évidemment, la thérapie génique suppose que l'on ait en main le gène permettant la correction. Ce qui veut dire que le gène concerné a été localisé sur la carte génétique humaine et qu'il a été cloné. Également, cela suppose que l'on connaît le ou les tissus qui expriment ce gène ainsi que le ou les tissus qui sont la cible de son action. Enfin, il doit avoir été démontré dans un modèle *in vivo* ou tout au moins *in vitro*, que la réinsertion de ce gène permet la correction de la maladie.

À l'heure actuelle, peu de gènes rencontrent ces critères, mais les progrès récents sont exponentiels. De plus, avec le projet HUGO de cartographie totale du génome humain (*encadré 1*), le rythme d'identification et de clonage des gènes ira encore en s'améliorant.

### **Les tissus cibles**

La problématique en ce qui concerne le tissu cible, c'est-à-dire le tissu où sera introduit le gène correcteur, se pose de la façon suivante : est-ce que l'action du gène est intra-cellulaire ou extra-cellulaire? Autrement dit, est-ce que le gène agit directement sur la cellule où il est exprimé, ou est-ce que le produit du gène est exporté à l'extérieur de la cellule pour agir ailleurs? Lorsque l'effet est intra-cellulaire, la thérapie génique doit nécessairement être faite sur le tissu en question; c'est le cas, par exemple, pour la dystrophie musculaire (muscle), la fibrose kystique (poumon) et certaines anémies (globules rouges). Mais se pose alors le problème d'accessibilité du tissu. Car, ce n'est pas évident : comment introduire les gènes dans les poumons ou les muscles, ou pire, dans des endroits comme le cerveau? Cependant, on entrevoit déjà certaines solutions : aérosols pour les poumons ou injections directes pour les muscles.

Pour les gènes dont l'action est extra-cellulaire, impliquant la plupart du temps des protéines circulant dans le sang, on dispose de plus de solutions. D'abord, si le tissu producteur normal n'est pas facilement accessible, il suffit d'en prendre un autre. Un bon exemple serait le cas de l'hémophilie de type A, qui résulte d'un défaut dans la production d'un facteur de coagulation. Celui-ci est produit normalement dans le foie, un tissu qui ne se prête pas bien à la thérapie génique. On a donc envisagé d'utiliser la moelle osseuse, qui est beaucoup plus accessible et qui peut, tout aussi bien que le foie, exporter des protéines dans le sang. D'autres solutions sont à l'étude. L'une d'entre elles est d'utiliser des organoïdes artificiels composés de matériel inerte et de cellules contenant le gène correcteur. On a constaté que lorsque ceux-ci sont implantés sous la peau ou dans la cavité péritonéale, ils sont rapidement vascularisés et peuvent libérer dans le sang les produits du gène correcteur. Un avantage de cette approche serait que, si besoin est, de tels implants pourraient être retirés et remplacés. Pourquoi parler de remplacement? Parce qu'on a observé que, selon les tissus cibles et d'autres facteurs — tel le vecteur (*voir plus bas*) —, le gène correcteur fonctionne plus ou moins longtemps. Il serait donc avantageux de pouvoir faire des remplacements au besoin.

### **Les méthodes d'introduction du gène**

Une des étapes cruciales de la thérapie génique est l'intégration du gène correcteur dans le matériel génétique de la cellule cible. Les différentes méthodes développées pour l'introduction d'un gène visent à faire parvenir celui-ci dans le noyau. Ceci accompli, le gène peut s'intégrer dans le matériel génétique de la cellule cible de deux manières : il peut le faire un peu n'importe où, et c'est ce qui se produit dans la très grande majorité des cas; il peut également aller s'insérer au niveau du gène défectueux déjà présent, ce qui se produit beaucoup plus rarement.

Il existe actuellement plusieurs méthodes permettant d'introduire des gènes dans des cellules mises en culture. Mais seules certaines peuvent être utilisées pour introduire directement un gène dans un organisme vivant. D'où l'importance des contraintes mentionnées précédemment quant au tissu cible. Si celui-ci n'est pas facilement accessible et n'offre pas la possibilité d'être maintenu en culture à l'extérieur du

corps, il faut nécessairement pouvoir le traiter « sur place ». Or, pour le moment, les moyens mis à notre disposition sont restreints; ils se résument à l'infection par un virus contenant le gène correcteur, à l'introduction d'un gène correcteur dans des vésicules (liposomes) qui peuvent se fusionner aux cellules, ou encore, à l'injection directe du gène dans le tissu cible. Les deux dernières méthodes sont inefficaces dans la mesure où peu de cellules peuvent être atteintes puisque le contact avec les cellules cibles est dans les deux cas aléatoire. En effet, il faut qu'un nombre suffisant de cellules soient atteintes pour que le gène correcteur puisse avoir un effet. Par contre, l'infection avec un virus porteur du gène correcteur peut être très efficace lorsque les cellules cibles ont un récepteur pour le virus, ce qui n'est malheureusement pas toujours le cas. Un bel exemple de cette situation est l'approche présentement développée pour la fibrose kystique, où les tissus cibles sont les poumons; dans ce cas-ci, l'intervention doit pouvoir se faire directement sur place. On a donc eu recours à un adénovirus comme porteur du gène correcteur puisque ces virus infectent nos poumons de façon naturelle.

Lorsque le tissu cible peut être prélevé et maintenu à l'extérieur du corps — c'est le cas, notamment, pour la moelle osseuse et le sang, — d'autres méthodes peuvent être envisagées. Encore là, un facteur primordial est leur efficacité à générer suffisamment de cellules corrigées pour produire l'effet désiré. Encore ici, l'infection avec un virus est souvent la méthode la plus efficace. Alors, pourquoi ne pas toujours l'utiliser? Parce que, comme nous allons le voir un peu plus loin, les virus en tant que vecteurs nous imposent d'autres contraintes. On peut pallier le problème d'efficacité en mettant le tissu cible en culture, en ne sélectionnant et en n'amplifiant que les cellules qui ont reçu le gène correcteur. Le risque? Ce faisant, on pourrait changer les propriétés de la cellule et la rendre inapte à remplir ses autres fonctions, ou encore, changer ses propriétés de croissance au point de développer son potentiel cancérigène. Voilà qui augmente l'intérêt des organoïdes mentionnés précédemment, qui pourraient, rappelons-le, être enlevés au besoin.

### Les vecteurs

Qu'entend-on par « vecteur »? Le gène correcteur doit, avant son introduction dans la cellule, être inséré dans d'autre matériel génique, ce qui permettra, d'une part, sa production en grande quantité et,

d'autre part, l'utilisation de la méthode d'introduction choisie tout en assurant la fonctionnalité du gène, une fois celui-ci introduit dans la cellule. C'est quant à ce dernier point qu'il nous reste encore le plus de chemin à parcourir. Les essais en laboratoire de thérapie génique avec des modèles animaux nous ont clairement fait voir que s'il était possible dans bien des cas d'introduire un gène de sorte qu'il soit fonctionnel, il était cependant très difficile d'atteindre le niveau de fonction désirable et encore plus de maintenir ce niveau de façon prolongée. Cela semble lié en grande partie au fait qu'en plus du gène correcteur, il faut d'autres éléments génétiques qui assurent la régulation et le maintien de la fonction du gène. Une conséquence immédiate est que le vecteur choisi doit pouvoir accommoder de plus en plus de composantes; or, certains vecteurs sont très limités quant à leur taille. C'est malheureusement le cas, entre autres, pour les vecteurs viraux, qui peuvent rarement contenir plus de 10 000 nucléotides. Or, on voudrait pouvoir insérer 20 000, voire 30 000 nucléotides. Le problème est encore plus aigu pour certains gènes qui sont très longs; par exemple, ceux de la fibrose kystique, de l'hémophilie de type A et de la dystrophie musculaire de Duchenne.

Une solution envisagée est celle du « rapiéçage ». Lorsqu'un gène est inactif, cela résulte souvent d'une mutation ne touchant qu'une petite partie de ce gène. La technique de « rapiéçage » vise la correction de cette partie seulement. Elle offre de plus l'avantage de corriger le gène à son site naturel, ce qui permet de contourner les problèmes de régulation et de maintien de fonction. Malheureusement, cette technique est pour le moment très peu efficace, sans que l'on comprenne vraiment pourquoi.

### **Les perspectives actuelles**

La thérapie génique est passée en quelques années du domaine de la science-fiction à celui des essais cliniques. Aux États-Unis, deux essais cliniques de thérapie génique sont en cours et plusieurs autres sont à l'étude pour approbation. D'autres pays, dont la Grande-Bretagne et le Canada, devraient suivre sous peu. La perspective actuelle est qu'on ne s'achemine pas vers une technique universelle de thérapie génique, mais plutôt vers une multitude de variantes représentant des adaptations spécifiques à des problèmes particuliers. Par exemple, pour la fibrose kystique, l'approche la plus prometteuse pour l'instant est d'introduire le gène correcteur dans un vecteur viral et d'infecter les poumons à l'aide d'un aérosol

contenant ce virus. Par contre, pour la dystrophie musculaire, on tente d'injecter directement le gène correcteur dans le muscle ou d'implanter des cellules musculaires porteuses du gène correcteur. Les plus gros problèmes auxquels on doit faire face en ce moment sont celui de l'obtention d'un niveau de fonction suffisant et celui du maintien de cette fonction pour des périodes prolongées, ce qui a d'ailleurs changé quelque peu les perspectives quant à la thérapie génique. Idéalement, nous aurions souhaité que la thérapie génique implique une seule intervention menant à une correction finale. Aujourd'hui, on pense plus en termes d'interventions répétées périodiquement.

Il reste également à évaluer de façon rigoureuse ce que l'on pourrait appeler les « effets secondaires » potentiels de la thérapie génique. J'ai mentionné précédemment que le fait de manipuler des cellules en culture pourrait modifier leurs propriétés de façon indésirable. Nous savons également que l'introduction d'un gène dans le matériel génétique d'une cellule, est un processus qui est en soi potentiellement mutagène. La raison en est que le gène introduit s'insère un peu n'importe où. Si le hasard veut que cette insertion se fasse dans un autre gène, celui-ci sera muté. Il y a donc un risque qu'en voulant corriger un défaut génétique, on en crée un autre. Pour diverses raisons, ce risque est faible, mais il existe tout de même et doit être pris en considération, surtout dans l'éventualité d'une procédure faite à répétition.

### **Le cas de l'hémophilie**

Les Services transfusionnels de Montréal de la Société canadienne de la Croix-Rouge sont directement concernés par la thérapie génique (*encadré 2*). Pourquoi? D'une part, parce que les tissus cibles de choix pour de nombreux gènes correcteurs sont le sang et la moelle osseuse; d'autre part, parce que certaines maladies candidates à la thérapie génique, telles l'hémophilie et certaines anémies, ont un impact sur les besoins d'approvisionnement en produits sanguins. Notre groupe de recherche s'intéresse particulièrement à l'hémophilie. Nous sommes les fournisseurs des facteurs sanguins nécessaires au traitement des hémophiles. Malheureusement, nous ne sommes pas auto-suffisants sur le plan de la production canadienne et devons importer ces produits de l'extérieur. De plus, il y a toujours le risque de contamination par des virus tels l'HIV et ceux de l'hépatite. La thérapie génique représente donc pour nous

une solution dans le sens où au lieu de fournir le produit nécessaire, on fournirait l'information pour faire ce produit.

Du point de vue de la thérapie génique, l'hémophilie offre des perspectives intéressantes. La maladie est bien caractérisée et peut être corrigée par l'apport des produits manquants. Les gènes concernés ont été identifiés et clonés. Ces gènes ont été utilisés pour produire *in vitro* des produits qui sont fonctionnels. Le site d'action des produits des gènes concernés est le sang. On peut donc utiliser comme tissu cible n'importe quel tissu capable de relâcher des produits dans le sang. Cela nous donne le loisir de choisir un tissu qui peut être manipulé à l'extérieur du corps. Les candidats favoris sont, d'une part, la moelle osseuse et, d'autre part, les organoïdes. Des essais préliminaires de thérapie génique de l'hémophilie avec des modèles animaux ont été réalisés aux États-Unis. Les résultats sont encourageants. Les problèmes majeurs sont encore une fois les niveaux de correction qu'on peut atteindre et la durée de ceux-ci. Dans ces essais, les vecteurs utilisés sont de type viral. Il faudra sans doute trouver une solution de rechange, car ces vecteurs ne pourront probablement pas accommoder tout le matériel nécessaire pour obtenir une correction efficace et durable.

De notre côté, notre objectif immédiat est de pouvoir introduire dans les cellules de la moelle un vecteur de grande taille contenant, selon le cas, l'un ou l'autre des gènes correcteurs pour l'hémophilie, mais également tous les éléments nécessaires pour assurer une correction efficace et stable. Il a déjà été démontré que certaines techniques d'introduction de matériel génétique pouvaient permettre l'introduction de vecteurs de grande taille. C'est le cas notamment pour la technique d'électroporation. Celle-ci consiste à soumettre les cellules cibles à un choc électrique de durée très courte qui a pour effet de créer de façon temporaire des ouvertures dans la membrane des cellules. Le vecteur peut alors pénétrer dans la cellule en passant par ces ouvertures. Un des problèmes liés à cette approche est que le vecteur, une fois à l'intérieur, va s'insérer dans le génome un peu n'importe où et n'importe comment. Or, nous avons démontré que cela menait à des modifications importantes du génome de la cellule hôte au site d'insertion, ce qui pouvait causer notamment de grandes délétions. Cette approche comporte donc le risque de créer de nouvelles

mutations. Il est possible d'obtenir une insertion préservant à la fois la structure du vecteur et celle du site d'insertion mais jusqu'ici, on n'avait réussi à obtenir ce type de résultat que très rarement. Ce dernier est, en effet, basé sur la présence dans le vecteur d'un segment de matériel génétique très semblable (homologue constitué des nucléotides complémentaires) à un même segment déjà présent dans le matériel génétique de la cellule cible. Ces segments peuvent alors interagir et diriger l'insertion de façon prévisible par un mécanisme appelé « recombinaison homologue ». Malheureusement, sans que l'on sache pourquoi, la recombinaison homologue se produit rarement. Une partie de nos efforts a porté sur la caractérisation de ce mécanisme. Une des raisons est peut-être le fait que cette approche a été tentée avec des segments homologues présents en seulement un ou deux exemplaires dans le matériel génétique de la cellule cible. Ce dernier est composé au total de plusieurs milliards de nucléotides; peut-être est-ce difficile pour un segment de quelques milliers de nucléotides de trouver l'âme sœur? Que se passera-t-il si on tente l'expérience avec un segment présent à des dizaines de milliers d'exemplaires?

Or, le matériel génétique humain contient de tels segments — qu'on appelle « éléments répétitifs » — qui sont répétés des dizaines de milliers de fois. Quel est le rôle de ces éléments répétitifs? Il existe beaucoup d'hypothèses, mais peu ou pas de données pour les appuyer. Un fait qui apparaît certain est que sur une base individuelle, peu de ces éléments semblent jouer un rôle essentiel. On pourrait donc insérer un vecteur dans l'une ou l'autre de ces copies sans causer de préjudice à la cellule hôte. De plus, comme il existe des dizaines de milliers de ces éléments, cela devrait augmenter la fréquence à laquelle ce type d'insertion devrait se produire.

Nous avons amorcé une série d'expériences pour évaluer la possibilité d'utiliser les éléments répétitifs comme sites d'insertion. La première chose à faire était de vérifier si les éléments répétitifs étaient bel et bien accessibles à la reconnaissance par un élément de même nature présent dans un autre vecteur. Les résultats que nous avons obtenus sont encourageants puisque non seulement il y a reconnaissance, mais un grand nombre des éléments répétitifs présents dans notre matériel génétique peuvent agir comme sites de reconnaissance.

C'est un premier pas et il reste encore beaucoup d'étapes à franchir. Nous travaillons présentement au design des vecteurs contenant différentes composantes susceptibles d'en améliorer l'efficacité et la stabilité, dont, entre autres, des éléments répétitifs. Ces vecteurs devront être testés de façon exhaustive. Bref, beaucoup de travail et surtout un peu de chance! Mais le jeu en vaut certes la chandelle.

(Encadrés de « La médecine des gènes » tirés de *Interface*, vol. 13, n° 2, mars-avril 1992, p. 12-15)

### 1. Le projet Hugo

Le but du projet Hugo, un mégaprojet auquel participent de nombreux pays dont le Canada, la France, les États-Unis et l'Angleterre, est de lire la totalité du matériel génétique nécessaire au développement et au fonctionnement d'un être humain. Pour ce faire, les scientifiques tentent d'établir la carte physique précise des 23 paires de chromosomes humains et de séquencer un à un les quelque trois milliards de nucléotides (adénine, cytosine, guanine, thymine) contenus dans les quelque 100 000 gènes répartis sur nos chromosomes (voir *Interface*, mai-juin 1991, vol. 12, n° 3, p. 15-22 et p. 34-41).

### Figure 1

#### **Intégration d'un gène correcteur dans une cellule porteuse d'un gène défectueux**

De nombreuses techniques nous permettent d'introduire un vecteur porteur d'un gène correcteur dans une cellule porteuse du même gène, mais défectueux. Le but visé par toutes les techniques est de faire parvenir le vecteur dans le noyau de la cellule. Une fois sur place, le vecteur pourra s'intégrer dans le matériel génétique de la cellule qui se présente sous forme de chromosomes. Dans la très grande majorité des cas (environ 99,9 p. cent du temps), l'intégration se fera au hasard (A). On obtient donc une cellule encore porteuse du gène défectueux, mais avec en plus une copie du gène correcteur avec son vecteur. Très rarement (environ 0,1 p. cent du temps), le gène correcteur reconnaît son homologue défectueux et interagit (recombinaison homologue) avec celui-ci de façon à le corriger (B). On obtient alors une cellule porteuse du seul gène corrigé, sans son vecteur.

## **2. La recherche à la Croix-Rouge de Montréal**

C'est à l'automne 1986 que les Services transfusionnels de Montréal de la Société canadienne de la Croix-Rouge ont constitué un Service de recherche et de développement.

Aujourd'hui, une quinzaine de personnes font de la recherche axée sur trois volets principaux. Dans tous les cas, il y a une composante de recherche fondamentale et une composante de développement d'un produit ou d'un service.

Le premier volet porte sur l'étude des mécanismes de recombinaison permettant le réarrangement du matériel génétique. Le développement visé est celui de la thérapie génique, en particulier pour des maladies héréditaires impliquant des composants sanguins.

Le deuxième volet porte sur l'étude de la réponse immunitaire maternelle aux antigènes sanguins du fœtus. Le développement visé est le dépistage des femmes à risque en ce qui concerne la production d'anticorps, en particulier contre les plaquettes de leur fœtus.

Le troisième volet porte sur l'étude de la production par la moelle osseuse de cellules telles que les globules rouges et les plaquettes. Le développement visé est, à court terme, la culture de la moelle osseuse dans le cadre de notre service de cryopréservation pour l'autogreffe de la moelle osseuse. À plus long terme, nous voudrions explorer la possibilité de produire certains éléments sanguins par culture de la moelle *in vitro*.

Précisons que le Service de recherche et de développement de Montréal n'est qu'un des centres de la Croix-Rouge où se déroulent des activités de recherche. Plusieurs autres des 17 centres transfusionnels canadiens, dont notamment celui de Québec, font également de la recherche.

(Tiré de *Interface*, vol. 11, n° 6, novembre-décembre 1990, p. 10-19)

### Les réseaux de neurones

Aucun ordinateur, aussi puissant soit-il, n'arrive à la cheville du cerveau humain. Et pour cause : notre cerveau, un gigantesque réseau de neurones, n'est pas structuré comme un ordinateur. Peut-on alors imiter la nature et concevoir des machines à l'image de ce réseau? Des chercheurs tentent d'y arriver depuis quelques décennies. Mario Marchand nous présente ici cette aventure — ses réussites, ses échecs et ses récents développements.

Légendes de robots, d'automates ou d'humanoïdes mécaniques : depuis des millénaires, l'être humain rêve de construire une machine intelligente. Toutefois, il ne sait que depuis une centaine d'années environ qu'il est lui-même une machine, une machine neuronale d'une incroyable complexité, issue de plus d'un milliard d'années d'évolution darwinienne.

Mais comment le cerveau humain, avec ses 10 milliards de neurones organisés en un réseau fortement interconnecté — un neurone peut avoir jusqu'à 10 000 connexions avec d'autres neurones —, arrive-t-il à donner à l'être humain la faculté de se déplacer, de reconnaître des sons et des images, d'apprendre, de penser et de résoudre des problèmes? Certains croient que nous possédons ces facultés grâce à l'énorme puissance de calcul qu'offre un tel réseau de neurones. Pourtant, même si nous pouvions construire un superordinateur d'une complexité comparable, offrant une même puissance de calcul, nous ne saurions toujours pas comment organiser cette complexité pour obtenir un niveau comparable d'intelligence. Même la *Connexion Machine* commercialisée par la firme américaine Thinking Machines Inc., n'arrive pas, malgré ses 65 536 processeurs et sa capacité d'exécuter 10 milliards d'opérations par seconde, à la cheville du cerveau d'une abeille. Pourtant, les 850 000 neurones de l'abeille sont 100 000 fois plus lents que les processeurs de la *Connexion Machine*, qui n'est en fait qu'une supercalculatrice capable seulement d'exécuter un programme déterminé par l'utilisateur.

Si nous visualisons le réseau de neurones biologiques comme un système dynamique complexe dont les constituants de base — les neurones — ne sont capables que d'exécuter une fonction élémentaire, une question fondamentale se pose : comment l'intelligence peut-elle être une propriété émergente du comportement collectif d'un système dont les constituants de base sont en fait complètement dépourvus de cette vertu? Mais puisque cette question est un peu vague, en raison même de la définition floue de l'intelligence, concentrons-nous sur un des aspects qui a, jusqu'à maintenant, retenu l'attention d'une majorité de chercheurs : la possibilité d'apprentissage des réseaux de neurones. En effet, l'une des facultés les plus étonnantes de l'être humain est celle de pouvoir apprendre à partir d'exemples. L'apprentissage de la langue parlée par l'écoute et l'observation attentive, chez un jeune enfant, est probablement l'exemple le plus spectaculaire, mais il y en a beaucoup d'autres. Chacun d'entre nous est capable, par exemple, de dire si oui ou non un arbre est présent sur une photo qui nous est présentée pour la première fois. Il semble que dans le processus de mémorisation, nous emmagasinons l'information de manière à pouvoir en extraire des règles et des symétries qui nous permettent de reconnaître et de bien classer de nouvelles images, de nouveaux sons, etc.

Le but du présent article est d'explorer divers mécanismes d'apprentissage de réseaux neuronaux qui ont pour objet non pas une simple mémorisation de l'information, mais aussi la généralisation : comment, après avoir mémorisé un certain nombre d'exemples, un réseau peut-il arriver à reconnaître et à bien classer des objets qu'il n'a jamais explicitement observés? Cette propriété se révèle essentielle pour les applications pratiques. Si nous désirons, par exemple, qu'une machine neuronale soit capable de reconnaître des arbres, nous voulons également qu'elle puisse y arriver sans qu'il soit nécessaire de lui faire mémoriser toutes les photos possibles d'un arbre. La généralisation est incontestablement une qualité essentielle que doit posséder toute machine neuronale.

## La modélisation des neurones et des synapses

On peut aborder le problème de l'apprentissage des réseaux neuronaux par le biais de la modélisation, ce qui revient en quelque sorte à négliger les mécanismes que nous ne croyons pas pertinents par rapport au problème, pour ne retenir que l'essentiel. Ainsi, vous trouverez sans aucun doute que, même s'ils s'inspirent de la réalité biologique, les modèles que nous allons vous présenter ici en sont encore très éloignés. Mais cet exercice nous a permis de faire des simulations, de construire des circuits d'environ 1000 neurones et d'obtenir des résultats qui nous permettent maintenant d'envisager des applications pratiques. De plus, cela nous a permis de constater que, bien qu'ils représentent des simplifications grossières, ces modèles offrent des comportements riches, variés et sont doués de facultés d'apprentissage qui s'apparentent parfois à celles de l'être humain.

Les neurones biologiques (figure 1a) peuvent être visualisés comme des convertisseurs non linéaires tension-fréquence : la fréquence d'émission des pulsations électriques d'un neurone est une fonction non linéaire de son potentiel membranaire. Comment? Chaque neurone reçoit, par des ramifications appelées *dendrites*, de petites pulsations électriques émises par les neurones auxquels il est interconnecté. Ces pulsations sont transmises d'un neurone à l'autre par des connexions appelées *synapses*, lesquelles peuvent être de nature excitatrice ou inhibitrice. Dans le premier cas, le neurone émetteur a tendance à activer le neurone récepteur en augmentant son potentiel membranaire; dans l'autre cas, il a tendance à inhiber le neurone récepteur en diminuant son potentiel membranaire. Ensuite, le neurone récepteur émet une série de pulsations électriques dont la fréquence est une fonction non linéaire de la valeur de son potentiel membranaire, celui-ci étant déterminé par l'effet cumulé des neurones émetteurs auxquels il est connecté. Pour fins de modélisation, retenons qu'un neurone émet un signal qui est une fonction non linéaire de la somme pondérée par l'action des synapses des signaux émis par les neurones incidents. La non-linéarité est essentielle si l'on désire qu'un réseau puisse supporter des opérations logiques, un réseau d'éléments linéaires ne pouvant exécuter que des fonctions linéaires.

L'une des premières fonctions non linéaires pour modéliser un neurone fut introduite par W. McCulloch et W. Pitts en 1943. Il s'agissait d'une fonction escalier (figure 1b) qui ne permettait que de discriminer un neurone actif (état égal à +1; fréquence d'émission maximale) d'un neurone inactif (état égal à -1; fréquence d'émission minimale). Cette fonction est encore très utile aujourd'hui en raison de sa simplicité et de sa rapidité. La fonction sigmoïde, qui permet au neurone de conserver son caractère analogique, est aussi très populaire.

Mais comment faire apprendre à un réseau de neurones les objets qu'il devra reconnaître par la suite? En 1949, Donald Hebb fit une contribution remarquable à ce sujet en proposant explicitement, pour la première fois, un mécanisme de mémorisation pour réseaux neuronaux biologiques. Ce mécanisme est fondé sur la modification des synapses : si un neurone a tendance à activer un autre neurone, alors la connexion entre ces deux neurones augmente (augmentation de l'efficacité synaptique). Aujourd'hui, ce principe de Hebb est de plus en plus vérifié en neurobiologie. Il se trouve présent dans presque tous les modèles sous une forme ou une autre; il nous apparaît évident que si les connexions ne changent jamais dans un réseau, les neurones produiront toujours le même signal (ou la même séquence) et le réseau exécutera toujours la même fonction. Pour que l'apprentissage soit possible, il faut que le réseau puisse changer de fonction et donc que les efficacités synaptiques puissent changer de valeur. Ainsi, l'information et la connaissance d'un réseau de neurones se trouvent stockées et distribuées parmi ses connexions.

### **Le perceptron**

Le modèle du perceptron, proposé par Rosenblatt en 1958, est l'un des premiers où l'on utilisa un apprentissage de type Hebb. D'une importance historique considérable, il a fait l'objet de beaucoup de débats dans les années 60. L'objectif initial était d'obtenir une machine neuronale qui puisse apprendre à partir d'exemples.

Lors de l'apprentissage, une série d'objets (par exemple, des photos) et leurs classes respectives, c'est-à-dire les catégories auxquelles ils appartiennent (chaise, arbre, humain...), sont présentés simultanément à l'entrée et à la sortie d'une machine (figure 2). Celle-ci contient, d'une part, une partie intelligente, le perceptron, lequel peut modifier lui-même l'efficacité de ses synapses incidentes et, d'autre part, un préprocesseur constitué d'un certain nombre de neurones dont chacun a pour fonction de détecter une certaine particularité de l'objet à l'entrée. Ces neurones n'ont pas la faculté de pouvoir modifier leurs connexions incidentes et sont soit actifs (sortie = +1), soit inactifs (sortie = -1) suivant qu'une particularité donnée est présente ou non dans une certaine région de l'image (objet). Par exemple, le premier neurone du préprocesseur pourrait nous indiquer si oui ou non il y a une arête verticale dans le coin supérieur droit de l'image, le deuxième neurone pourrait nous indiquer si la partie gauche de l'image est identique à sa partie droite, un autre neurone pourrait nous indiquer si une région au centre de l'image est de couleur rouge, etc. Le nombre de particularités à détecter est généralement très grand et difficile à identifier.

Les neurones du préprocesseur sont quant à eux connectés au perceptron constitué d'un neurone du type de McCulloch et Pitts, c'est-à-dire que ce neurone peut être à l'état actif (+1) ou inactif (-1). Ce neurone du perceptron est lui-même relié à un autre neurone toujours actif (sortie = +1) par l'intermédiaire d'une efficacité synaptique que nous appelons *biais du perceptron*. La sortie du perceptron est obtenue en calculant tout d'abord la somme des entrées (neurones du préprocesseur plus neurone toujours actif) pondérées par les efficacités synaptiques. Si la somme est supérieure à zéro, la sortie sera égale à +1. Dans le cas contraire, elle sera égale à -1 (le biais du perceptron est en fait égal à l'inverse d'un seuil). On compare ensuite cette valeur de sortie à la sortie désirée  $\tau$ , qui peut prendre elle aussi la valeur +1. Cette sortie désirée  $\tau$  représente la classe de l'objet qui se trouve à l'entrée de la machine. Elle prendra, par exemple, la valeur +1 si l'objet est un arbre et -1 s'il n'est pas un arbre. S'il y a accord entre la sortie désirée et celle obtenue, les efficacités synaptiques ne seront pas modifiées car l'objet sera alors correctement classifié. Par contre, s'il y a désaccord entre ces deux valeurs, l'efficacité de chacune des synapses reliant le perceptron à un neurone incident ayant une valeur de sortie  $\xi_j$ , sera augmentée par  $\tau \times \xi_j$ . Cela constitue la

*règle d'apprentissage du perceptron*. Elle a la propriété de diminuer l'écart entre la sortie désirée et celle obtenue du perceptron lorsqu'il y a désaccord entre ces deux valeurs.

En présentant successivement à cette machine des exemples d'objets avec leurs classes, on espère que le réseau trouvera éventuellement les valeurs des efficacités synaptiques pour que tous les exemples présentés soient correctement classifiés. On dira alors que le perceptron a *mémorisé* les exemples.

Cependant, le perceptron n'est pas une machine universelle et il n'a pu résoudre jusqu'ici que des problèmes de classification très simples (encadré 1). Pour les problèmes plus complexes, nous devons avoir recours à des réseaux contenant plusieurs perceptrons. Mais nous verrons plus loin que le problème d'apprentissage devient alors très ardu.

### **Les réseaux attracteurs**

Lorsque l'on envoie un stimulus à l'entrée du perceptron, sa réponse est calculée instantanément. Il n'y a pas de recirculation de l'information contrairement à ce qui se passe dans le cerveau humain, où la perception d'un objet ne se fait pas instantanément. Par exemple, la vue d'une personne peut provoquer l'image mentale d'un proche parent jusqu'à ce que la perception de certains traits nous informe du contraire. D'ailleurs, certaines illusions bien connues exploitent cette caractéristique et provoquent l'oscillation entre deux images mentales différentes. Par exemple, le dessin d'un vase peut ressembler aux profils de deux personnes qui se regardent. Ces expériences mettent en évidence l'aspect dynamique des réseaux de neurones biologiques.

Une caractéristique essentielle de tout système dynamique est la présence d'états stables, c'est-à-dire d'attracteurs. Lorsqu'un système se trouve au voisinage d'un de ses attracteurs, sa dynamique le force à passer par une série d'états successifs pour aboutir finalement à cet état stable. C'est en partie ce qui se

passé lorsque nous reconnaissons un objet à partir d'une image embrouillée. Par exemple, en examinant la figure 3, le lecteur pourra éventuellement identifier la présence d'un chien. Cela illustre bien la capacité remarquable qu'a le cerveau de reconstituer un objet, une idée ou un concept qui lui est familier à partir d'une information confuse ou vague.

L'idée centrale des réseaux attracteurs est de mémoriser de l'information en créant, à l'aide d'une règle d'apprentissage, des attracteurs dans un système dynamique. Si nous présentons alors au système une information confuse mais similaire à celle qu'il a apprise, sa dynamique lui permettra alors de retrouver l'information qu'il a mémorisée en l'entraînant sur l'attracteur. L'exemple le plus connu est sans aucun doute celui du modèle de Hopfield (figure 4). Ici, chacun des neurones, dont l'état vaut  $\pm 1$  suivant qu'il est actif ou inactif, est connecté à tous les autres. Puisque chacune des efficacités synaptiques est symétrique (l'effet du neurone  $i$  sur le neurone  $j$  est le même que celui du neurone  $j$  sur le neurone  $i$ ), la rétroaction, soit l'influence du neurone  $j$  sur le neurone  $i$  est aussi importante que l'action du neurone  $i$  sur le neurone  $j$ . De plus, dans ce modèle, le signal  $S_j$  émis par le neurone  $j$  au temps  $t + \Delta t$  dépend des signaux reçus des autres neurones au temps  $t$ . Les configurations d'activités des neurones se modifient donc au cours du temps et le système prend un certain temps à se stabiliser : c'est un système dynamique. L'information que nous pouvons stocker dans un tel réseau de  $N$  neurones est représentée par des configurations d'activité neuronale. Chacune de ces configurations est décrite par un vecteur  $\vec{\xi}$  à  $N$  composantes, où chacune des composantes  $\xi_i = \pm 1$  décrit l'activité du neurone  $i$ . Ainsi, dans le modèle de Hopfield, chacun des neurones est une unité visible car il participe au codage de l'information.

La règle d'apprentissage la plus étudiée est celle où, pour chaque configuration  $\vec{\xi}$  que l'on veut mémoriser, l'on augmente chacune des efficacités synaptiques  $\omega_{ij}$  par  $\xi_i \xi_j$ . En d'autres mots, il s'agit d'une règle de type Hebb où l'efficacité synaptique entre deux neurones augmente si leur activité est du même signe; dans le cas contraire, l'efficacité diminue. Une expérience typique consiste à associer à chacun des neurones un pixel binaire, chaque pixel représentant un morceau d'une image. On commence avec cette

règle d'apprentissage pour faire mémoriser un certain nombre de caractères (A, B, C...) au réseau. Par la suite, lorsqu'on présente à ce dernier une configuration légèrement déformée d'un de ces caractères (par exemple, B), il retrouve au bout d'un certain temps le caractère mémorisé qui lui est le plus semblable (c'est-à-dire B). Nous avons alors une mémoire associative pouvant corriger les erreurs, ou encore, une mémoire adressable par le contenu. Ainsi, contrairement à la mémoire d'un ordinateur conventionnel, où l'information emmagasinée n'est accessible qu'à l'aide d'une adresse qui n'a rien à voir avec le contenu de sa case mémoire, nous avons ici un réseau où l'adresse est identique au contenu.

Une contribution importante de Hopfield fut de montrer qu'il existe une fonction énergie (figure 5) toujours décroissante dans le temps, les attracteurs étant les minimums locaux de cette fonction. Ainsi, l'action de stocker de l'information peut être visualisée comme un processus de formation de minimums locaux de cette fonction dans l'espace des configurations d'activité neuronale. Ce modèle a permis de plus de faire le lien avec la mécanique statistique, car cette fonction énergie est la même que celle du modèle de verre de spin, bien connu des physiciens.

Cette analogie déclencha un énorme intérêt chez les physiciens, qui ne tardèrent pas à utiliser leurs méthodes de physique statistique pour aborder ces problèmes. Par exemple, bien qu'il existe  $2^N$  configurations possibles dans un réseau de  $N$  neurones, Daniel J. Amit montra, à l'aide d'un calcul exact, qu'il est possible de stocker plus de  $0,14N$  configurations (choisies au hasard) dans le modèle de Hopfield. Au-delà de ce nombre, c'est une catastrophe car la mémoire est perdue : tous les attracteurs perdent leur stabilité. Cependant, Elizabeth Gardner montra qu'il est possible d'augmenter cette limite jusqu'à  $2N$  si nous utilisons une règle d'apprentissage itérative comme celle du perceptron.

Si nous n'ajoutons pas des unités cachées, soit des neurones non reliés à l'extérieur, il est possible de faire mieux. En effet, dans un réseau de Hopfield, tous les neurones sont visibles car ils participent tous au codage de l'information à stocker. Pour pouvoir stocker plus d'exemples, il est nécessaire d'avoir des neurones cachés qui ne participent pas au codage de l'information et dont la fonction est uniquement d'augmenter la capacité de calcul du réseau. En fait, s'il n'y a pas d'unités cachées, les réseaux attracteurs

ont les mêmes limites que ceux du perceptron et il est impossible de stocker autre chose que des fonctions linéairement séparables. Ces considérations ont donné naissance à la machine de Boltzmann : un réseau à la Hopfield avec des unités cachées. Mais l'apprentissage de cette machine nécessite de longues itérations et ce processus est trop lent du point de vue pratique. Les efforts les plus fructueux pour inclure des unités cachées furent sans aucun doute obtenus en étudiant les réseaux multicouches de perceptrons.

### Les réseaux en couches

L'objectif de l'utilisation des réseaux en couches est de trouver une solution satisfaisante au problème de l'apprentissage supervisé en introduisant cette fois-ci une ou plusieurs couches de perceptrons entre les unités d'entrée et de sortie (figure 5). En ajoutant ces unités cachées, nous permettons au réseau d'exécuter des fonctions non linéairement séparables. L'information, ici, ne recircule pas et voyage dans un seul sens.

En 1986, Rumelhart, Hinton et Williams proposèrent une règle d'apprentissage pour ces réseaux, laquelle est, sans aucun doute, la plus utilisée aujourd'hui : la rétropropagation des erreurs. Leur objectif était de résoudre le problème suivant : étant donné une tâche (une série d'exemples à stocker) et une architecture (le nombre total de neurones et leurs interconnexions), quelle devra être la valeur de chacune des connexions pour que cette architecture exécute la tâche demandée? Pour résoudre ce problème, considérons l'écart entre la valeur de sortie désirée et la valeur de sortie obtenue du réseau pour un choix donné des efficacités synaptiques. Une approche sensée consisterait à modifier les efficacités de manière à diminuer cet écart. Rumelhart, Hinton et Williams ont montré que lorsqu'on utilise des neurones exécutant la fonction sigmoïde de la figure 1, le gradient de cet écart (la direction de l'accroissement maximal) peut être obtenu simplement en rétropropageant l'erreur dans le sens inverse des connexions. Ainsi, la règle de la rétropropagation consiste à modifier couche par couche les efficacités synaptiques en procédant de la sortie vers l'entrée, d'où l'appellation de *rétropropagation*. On se dirige ainsi dans le sens inverse du gradient calculé.

Cette règle d'apprentissage a connu un énorme succès. Elle a permis de trouver des solutions intéressantes pour certains problèmes concrets où l'apprentissage se fait à partir d'exemples. Ainsi, il fut possible d'obtenir le réseau NETTALK (encadré 2), qui apprend à lire un texte écrit en anglais, le réseau ALVINN (encadré 3), qui apprend à conduire un véhicule, et un réseau qui apprend à reconnaître les caractères manuscrits. Ces succès sont importants : ils montrent qu'il est possible d'obtenir un réseau avec une bonne capacité de généralisation pour certains problèmes où il est impossible de mémoriser explicitement tous les exemples possibles. Mais les échecs sont nombreux aussi.

L'une des raisons de ces échecs est que contrairement à la règle d'apprentissage du perceptron, la rétropropagation n'est pas assurée de converger vers une solution à erreur nulle même si elle existe. En effet, la fonction erreur possède en général plusieurs minimums locaux (figure 5) qui ne sont pas des solutions avec une erreur nulle. Or, ces minimums sont susceptibles d'être atteints par une méthode du gradient. La solution consiste à augmenter artificiellement l'erreur pour passer par-dessus un maximum. Ce qui veut dire que nous devons voyager d'un minimum à l'autre pour voir s'il n'existe pas un minimum absolu avec erreur nulle. En fait, le problème fondamental est que nous ne savons pas au départ s'il existe une solution, c'est-à-dire si l'architecture choisie peut exécuter la tâche demandée! Judd a d'ailleurs démontré que ce problème est d'une telle complexité qu'il appartient à une classe de problèmes (problèmes NP-complets) pour lesquels il n'existe pas encore d'algorithmes pouvant toujours trouver une solution en un temps qui augmente moins vite qu'une exponentielle en fonction de la taille du problème. Il n'est donc pas surprenant de constater aujourd'hui que la rétropropagation requière généralement des temps d'apprentissage excessifs.

Nous n'avons pas encore abordé le problème de la généralisation et nous venons de voir que le problème plus simple de mémoriser une tâche donnée dans une architecture fixe est en fait trop complexe pour être résolu de manière satisfaisante. Mais si nous abandonnons la contrainte — maintenir l'architecture fixe durant l'apprentissage —, le problème de mémorisation devient trivial! En effet, pour chacun des exemples que nous voulons mémoriser, nous pouvons associer un neurone et choisir ses connexions de

manière qu'il soit actif si et seulement si l'exemple qui lui est associé est présent à l'entrée (figure 6). Ainsi, après avoir mémorisé  $n$  exemples de cette manière, nous obtenons une couche de  $n$  unités cachées où chacune des unités ne s'allume qu'en présence de l'exemple qui lui a été associé. On détermine aussi la valeur des connexions allant aux unités de sortie en examinant les exemples une seule fois, car ceux-ci sont stockés indépendamment les uns des autres comme dans un ordinateur conventionnel.

Cependant, cette façon de stocker des exemples est inintéressante du point de vue de la généralisation car la réponse du réseau à un exemple non mémorisé sera toujours la même (par exemple, toutes les unités de sortie seront inactives) indépendamment de ce qui a été stocké. Pour que la généralisation soit possible, il faut que la réponse du réseau quant aux exemples non mémorisés soit en corrélation avec les exemples mémorisés. Pour obtenir cette corrélation, il faut chercher à réduire le plus possible le nombre d'unités cachées utilisées lors du processus de mémorisation. Ainsi, le problème fondamental de l'apprentissage supervisé des réseaux neuronaux consiste à trouver l'architecture minimale (en termes de nombre de neurones et de connexions) qui puisse exécuter une tâche donnée dans une architecture fixée arbitrairement, comme c'est le cas pour toutes les règles d'apprentissage décrites jusqu'ici. De plus, il est intéressant de constater en neurobiologie que les systèmes ont non seulement la possibilité de pouvoir varier leurs efficacités (valeurs des connexions), mais qu'elles possèdent en plus de la plasticité, c'est-à-dire la possibilité de pouvoir interrompre une connexion ou d'en former une autre ailleurs; ce qui a pour effet de varier l'architecture.

### **Les algorithmes de croissance**

Les considérations précédentes nous ont amenés à proposer (en collaboration avec Pal Rujan, maintenant de l'Université d'Oldenburg en Allemagne, et Mostefa Golea de l'Université d'Ottawa) des algorithmes de croissance pour l'apprentissage de réseaux neuronaux. L'idée centrale que nous avons exploitée consiste à construire un réseau en activant des neurones au besoin au fur et à mesure que les exemples sont présentés, et ce, jusqu'à ce que tous les exemples soient appris. Ainsi, les tâches simples

nécessiteront moins de neurones que les tâches plus complexes. Bien que le problème de trouver l'architecture minimale soit NP-complet (problème quasi insoluble), nous espérons obtenir des algorithmes rapides qui puissent donner des réseaux ayant de bonnes propriétés de généralisation sans pour autant avoir l'architecture minimale. Cette idée fut aussi exploitée par Jean-Pierre Nadal et Marc Mézard, de l'École normale supérieure à Paris, ainsi que par Stephen I. Gallant de l'Université Northeastern. Nous nous concentrerons ici sur un seul de nos algorithmes, celui que nous croyons le plus prometteur : la construction d'un réseau hiérarchique à partir d'exemples.

Limitons-nous au cas où nos exemples forment une fonction booléenne (à valeur binaire). Nous cherchons à construire un réseau en couches ayant une seule unité de sortie qui reproduit une série d'exemples donnés. La première étape consiste à construire le premier neurone (qui formera à lui seul la première couche) en utilisant une variante de l'algorithme du perceptron appelée *l'algorithme du pocket*. Dans cette variante, nous conservons en mémoire (dans notre *pocket*) le vecteur des efficacités synaptiques correspondant à la bonne classification du plus grand nombre d'exemples. Si au cours de l'apprentissage, nous trouvons un meilleur vecteur que celui se trouvant dans le *pocket*, nous le remplaçons par cette nouvelle solution. Il a été montré par Gallant que cet algorithme conduira toujours à un vecteur d'efficacités synaptiques donnant le minimum d'erreurs au bout d'un nombre fini d'itérations. Cependant, même si ce nombre d'itérations est fini, il peut être excessif. Heureusement, nous ne sommes pas intéressés à la solution optimale, mais plutôt à la solution raisonnable pouvant être obtenue dans un délai acceptable. Ainsi, selon le temps et la machine dont nous disposons, nous pouvons fixer arbitrairement un nombre limite d'itérations, au bout duquel nous arrêtons cet algorithme d'apprentissage et utilisons le vecteur d'efficacités synaptiques se trouvant dans le *pocket* pour construire notre premier neurone.

Notre neurone est du type McCulloch et Pitts, c'est-à-dire que sa sortie est de +1 pour un certain groupe d'exemples et de -1 pour le groupe complémentaire. Nous dirons alors qu'un exemple se trouve dans la région de décision positive de ce neurone si sa sortie est de +1. Dans le cas contraire, l'exemple se trouve dans la région de décision négative. De plus, nous dirons qu'une région de décision d'un neurone est

pure lorsque tous les exemples qui s'y trouvent sont correctement classifiés par ce neurone (lorsque la sortie du neurone est identique à la sortie désirée). Ainsi, si par chance les deux régions de décision de notre premier neurone sont pures, tous les exemples sont alors correctement classifiés et ce neurone constitue donc à lui seul le réseau recherché : un simple perceptron.

Malheureusement, la réalité n'est jamais aussi simple et il y a presque toujours au moins une des régions de décision qui est impure. Dans ce cas, ce neurone générera un ou deux neurones à la prochaine couche suivant qu'une ou deux de ses régions seront impures (figure 7). Le neurone de droite aura pour fonction de purifier la région de décision positive de son parent tandis que le neurone de gauche se chargera de purifier la région de décision négative. Si une seule des régions est impure, il n'y aura alors qu'un seul neurone qui se chargera de la purifier.

Lorsqu'un neurone doit purifier une région, nous entendons par là qu'il doit essayer de classifier correctement, à l'aide de l'algorithme du *pocket*, tous les exemples qui s'y trouvent. S'il n'y arrive pas, ce neurone devra générer à son tour un ou deux neurones à la couche suivante. De cette manière, chaque neurone génère à la couche suivante un ou deux neurones et ce processus de croissance s'arrête lorsque toutes les régions de décision sont purifiées. L'architecture résultant du réseau en couches est donc celle d'un arbre. De plus, puisque chaque neurone essaie de purifier seulement une seule des deux régions de décision de son parent, le nombre d'exemples qu'un neurone doit apprendre diminue typiquement de moitié lorsque l'on passe d'une couche à l'autre.

À la fin de ce processus de croissance, seules les efficacités synaptiques entre les unités d'entrée et les unités cachées (les nœuds de l'arbre) ajoutées pour purifier des régions de décision impures ont été trouvées. Pour ce qui est des connexions entre nœuds, nous choisissons les efficacités synaptiques de manière que la sortie de chacun des nœuds soit toujours de +1 lorsque l'on présente au réseau un exemple qui n'appartient pas à la région que doit purifier le neurone. Ainsi, pour que cet arbre exécute la tâche demandée, il suffit de connecter à l'unité de sortie seulement les nœuds (que nous appelons alors les *feuilles*

de l'arbre) possédant une région de décision négative pure. La valeur de ces connexions est facilement obtenue en constatant le fait que l'activité de chacune des feuilles est de +1 lorsqu'un exemple positif est présenté à l'entrée du réseau tandis qu'une seule des feuilles a une activité de -1 lorsque c'est un exemple négatif qui s'y trouve. Toutes les régions de décision négative sont en effet disjointes.

Cet algorithme possède plusieurs avantages en comparaison avec les algorithmes d'apprentissage traditionnels comme la rétropropagation. Entre autres, la convergence est assurée et l'on trouvera toujours un réseau reproduisant les exemples au bout d'un nombre fini d'itérations; dans le pire des cas, nous aurons un seul exemple par région, mais en général nous trouverons beaucoup mieux. Prenez, par exemple, la fonction parité, où la sortie désirée doit être de +1 si et seulement si un nombre impair de +1 se trouve aux unités d'entrée. Notre algorithme trouve toujours la solution optimale pour ce problème : un réseau avec un nombre d'unités cachées égal au nombre d'unités d'entrée (figure 8). Cette solution peut aussi être obtenue à l'aide de la rétropropagation, mais après un temps beaucoup plus long et en devinant au départ l'architecture optimale; ce que nous évitons justement de faire avec notre algorithme.

Reste maintenant le problème central de la généralisation : comment un réseau, construit à l'aide de notre algorithme à partir d'un certain nombre d'exemples, peut-il correctement classifier le reste des exemples non appris? Pour qu'il puisse y arriver, il faut que la fonction à apprendre contienne des régularités : il faut qu'elle puisse être prévisible. En effet, si notre fonction est complètement aléatoire, nous ne pouvons pas la prédire à partir d'un certain nombre d'exemples. Un bon exemple de fonction qui nous semble prévisible est celui du détecteur de la symétrie de réflexion : la valeur de sortie désirée doit être de +1 si et seulement si l'exemple à l'entrée reste inchangé par une réflexion par rapport au centre. En d'autres mots, nous voulons trouver un réseau (à partir d'un nombre restreint d'exemples) qui puisse nous dire si la première moitié d'un vecteur présenté à l'entrée est une réflexion miroir de sa seconde moitié. Pour répondre à cette question, nous avons procédé à l'expérience suivante. À l'aide de notre algorithme, nous avons construit un réseau à partir d'un certain nombre d'exemples positifs (qui sont invariants par une réflexion miroir) et d'autres exemples négatifs (qui ne sont pas invariants par une réflexion miroir). Ensuite,

nous avons testé le réseau ainsi obtenu à partir de tous les autres exemples non observés. Nos résultats se trouvent résumés à la figure 9. Nos exemples ont 10 unités d'entrée et 1 unité de sortie. Il y a donc  $2^{10}$  exemples possibles mais seulement  $2^5$  exemples parmi ceux-ci sont positifs. Il est donc nécessaire d'enregistrer séparément le score du réseau pour les exemples positifs et les exemples négatifs; sinon, un réseau trivial qui donne une sortie de -1 pour tous les exemples possibles obtiendrait un bon score sans pour autant avoir appris quoi que ce soit de la fonction.

Ainsi, après avoir appris une fraction de tous les exemples positifs et négatifs, le réseau résultant est testé à partir de tous les autres exemples et la fraction (ou le pourcentage) de réponses correctes (une réponse est correcte si la sortie du réseau est la même que celle désirée) est ensuite tracée séparément pour les exemples positifs et négatifs sur la figure. Nous voyons que plus de 95 p. cent des exemples négatifs donnent une réponse correcte après avoir mémorisé seulement 10 p. cent de tous les exemples. Par contre, le réseau ne reconnaît pas du tout les exemples positifs. En augmentant la fraction à apprendre, la performance pour les exemples positifs s'améliore et devient très bonne (environ 80 p. cent) lorsque cette fraction atteint les 50 p. cent. Notez que cette amélioration dans la généralisation s'accompagne d'une saturation du nombre d'unités cachées. Ce comportement est certainement universel. Lorsque le nombre d'unités cachées n'augmente plus en fonction du nombre d'exemples à apprendre, le réseau généralise bien à partir des autres exemples; de plus, il n'a plus besoin de ressources additionnelles pour stocker les nouveaux exemples car ils sont déjà correctement classifiés. Le réseau a alors appris la fonction sans avoir visualisé tous les exemples! Des performances similaires furent obtenues pour la fonction parité.

Cependant, les résultats sont tout à fait différents si la fonction à apprendre est une fonction aléatoire où les exemples sont générés en procédant à « pile ou face ». Dans ce cas, la généralisation n'excède jamais 50 p. cent car la fonction est, par définition, non prévisible. De plus, une augmentation du nombre d'exemples à apprendre se trouve accompagnée par une augmentation (exponentielle) du nombre d'unités cachées : le réseau doit alors apprendre « par cœur » les exemples et pour cela, il a besoin de ressources

additionnelles. Le réseau n'est pas capable alors d'exploiter les symétries de la fonction car elle n'en possède tout simplement pas.

Les résultats positifs obtenus pour les fonctions parité et symétrie miroir nous ont encouragés à tester notre algorithme sur d'autres fonctions. Malheureusement, nous avons trouvé des fonctions pour lesquelles notre algorithme n'est pas efficace du tout. Une de ces fonctions consiste à dire si oui ou non la seconde moitié d'un exemple est une translation (plus précisément une permutation cyclique) de la première moitié. Quoiqu'elle soit plus complexe que la symétrie miroir, cette fonction possède manifestement des symétries et des régularités. Elle est donc prévisible. Cependant, face à cette fonction, notre algorithme agit un peu comme si elle était aléatoire; la généralisation n'excède jamais 50 p. cent et le nombre d'unités cachées augmente toujours en fonction du nombre d'exemples à mémoriser. Le réseau apprend par cœur la fonction et il est incapable de tirer profit des régularités.

Ainsi, bien que notre algorithme soit capable de mémoriser n'importe quelle fonction en un temps qui peut être relativement court, il est parfois incapable de construire un réseau possédant une bonne représentation pour certains problèmes. Nous avons jusqu'ici étudié plusieurs algorithmes de croissance et nous nous sommes toujours heurtés à ce constat : une stratégie d'apprentissage qui est bonne pour certains problèmes ne l'est pas pour d'autres. Cependant, la recherche dans cette direction est encore au stade embryonnaire et plusieurs avenues sont à explorer. L'une des avenues qui nous (en collaboration avec J.-P. Nadal) semble prometteuse avec celle qui consiste à permettre au réseau de poser des questions, c'est-à-dire que le réseau peut choisir lui-même l'exemple à apprendre et demander « au professeur » quelle est sa sortie désirée. En effet, si le réseau choisit lui-même l'exemple pour lequel la réponse du professeur lui donne le maximum d'information, l'apprentissage devient beaucoup plus efficace que si on lui impose des exemples qu'il a déjà observés des milliers de fois. De plus, puisque les exemples choisis sont alors plus représentatifs de la fonction à apprendre, nous nous attendons à ce que le réseau puisse généraliser avec moins d'exemples. Mais ceux-ci nécessitent toujours la présence d'un professeur qui doit répondre aux questions.

## Conclusion et perspectives d'avenir

Nous assistons depuis quelques années à une véritable explosion de travaux scientifiques portant sur les réseaux de neurones. Des revues spécialisées dans ce domaine sont apparues, les congrès se multiplient et plusieurs chercheurs tentent d'utiliser ces techniques « connexionnistes » dans des secteurs comme la robotique, la reconnaissance d'images, de caractères et de parole. Certains parlent même d'une contre-révolution connexionniste. Mais cet engouement est-il justifié?

Il faut sûrement prendre garde de ne pas répéter les erreurs du passé et ne pas faire de promesses irréalisables. Même s'il est vrai qu'on a obtenu certains succès récemment, plusieurs obstacles se dressent sur la route des applications, dont le plus important est sans aucun doute celui de l'apprentissage. Nous venons de voir qu'il est possible de mémoriser n'importe quoi dans un réseau; mais il est beaucoup plus difficile d'obtenir un réseau qui puisse véritablement apprendre et généraliser à partir d'exemples qu'il n'a pas explicitement mémorisés. Ainsi, certains croient qu'il suffit d'utiliser la rétropropagation pour résoudre n'importe quel problème d'apprentissage supervisé. C'est faux! En fait, ça ne marche presque jamais. Pour obtenir du succès à l'aide de cette méthode, il faut au départ deviner la bonne architecture et avoir beaucoup de patience car la convergence n'est pas assurée. Nous croyons que les algorithmes de croissance représentent une approche généralement plus efficace parce qu'ils nous donnent toujours un réseau « compact » après un nombre fini d'étapes. Cependant, là aussi nous nous heurtons à de grandes difficultés car le réseau obtenu reflète parfois mal la géométrie de la fonction à apprendre et ne généralise alors pas.

Ainsi, il est important de comprendre que ce n'est qu'après avoir résolu ce problème de l'apprentissage que nous pourrions vraiment tirer profit des implantations électroniques ou optiques des réseaux de neurones. En effet, bien qu'il soit possible d'obtenir un gain important dans la vitesse d'exécution, nous en sommes quand même réduits à utiliser une règle d'apprentissage fixe. En fait, en raison de sa versatilité, un ordinateur conventionnel est beaucoup mieux adapté pour étudier les mécanismes d'apprentissage qu'un circuit intégré.

L'ensemble des résultats obtenus jusqu'ici tendent à suggérer qu'il n'existe pas de mécanisme universel de cognition : un mécanisme d'apprentissage qui est bien adapté pour certaines tâches ne l'est pas nécessairement pour d'autres. Certaines fonctions, comme l'invariance de translation, semblent être intrinsèquement difficiles à apprendre bien qu'elles confèrent indéniablement un avantage aux organismes vivants (capacité de reconnaître un objet quel que soit l'endroit de la rétine où l'image se forme). La circuiterie du tissu nerveux est manifestement déterminée en partie par des facteurs héréditaires sélectionnés par l'évolution. Ainsi, il faut à notre avis formuler des hypothèses supplémentaires concernant la distribution des fonctions qu'il est possible d'apprendre en un temps raisonnable et trouver les mécanismes (non universels) d'apprentissage appropriés. Vu la quantité et la qualité des chercheurs qui se penchent actuellement sur ces problèmes, nous assisterons probablement d'ici quelques années à plusieurs développements intéressants dans ce domaine.

(Encadrés de « Les réseaux de neurones » tirés de *Interface*, vol. 11, n° 6, novembre-décembre 1990, p. 10-19)

### Figure 1

La fréquence d'émission d'impulsions électriques d'un neurone biologique (a) est une fonction non linéaire de son potentiel membranaire, qui lui-même dépend de la somme de toutes les impulsions reçues des autres neurones. Le signal de sortie  $S$  du neurone modélisé (b) est quant à lui une fonction non linéaire  $f$  de la somme de tous les signaux reçus  $\xi_j$  pondérés par les efficacités synaptiques  $W_j$ . Les deux types de fonction  $f$  les plus utilisés sont, d'une part, la fonction sigmoïde continue (en trait plein) et, d'autre part, la fonction escalier (en trait interrompu) introduite par McCulloch et Pitts. Dans ce dernier cas, le neurone est soit à l'état actif (+1), soit à l'état inactif (-1).

### Figure 2

Lorsqu'un objet (ici la photo d'un arbre) est présenté à la machine, chaque neurone du préprocesseur, qui est chargé de détecter les particularités de l'objet, envoie un signal  $\xi_j$  égal à  $\pm 1$  selon que la particularité attribuée à ce neurone est présente ou non à l'entrée du perceptron. Le perceptron exécute ensuite la fonction escalier  $f$  de la somme de tous ces signaux (y compris  $\xi_0$  émis par un neurone toujours actif) multipliés par les efficacités synaptiques  $W_j$  correspondantes. La connexion  $W_0$  se nomme *biais du perceptron*. Si cette somme est supérieure à zéro, la sortie  $S$  devient égale à +1; sinon, elle prend la valeur de -1. Ensuite, la sortie  $S = +1$  du perceptron est comparée à la sortie désirée  $\tau$ , qui est ici = +1 car il y a un arbre sur la photo (dans le cas contraire, la sortie désirée est de -1). S'il y a accord entre ces deux valeurs, les connexions du perceptron ne sont pas modifiées car l'objet est bien classifié. Si, par contre, il y a désaccord, alors les connexions  $W_j$  sont augmentées de  $\tau \xi_j$ , ce qui a pour effet de diminuer l'écart entre la sortie désirée et la sortie obtenue. Cette procédure constitue la règle d'apprentissage du perceptron.

## 1. Les limites du perceptron

Oui, le perceptron a des limites et il ne peut exécuter n'importe quelle fonction booléenne (à valeur binaire). Seulement un sous-ensemble de ces fonctions lui sont accessibles, soit les fonctions linéairement séparables. En effet, la sortie du perceptron ne pouvant prendre que deux valeurs, celui-ci agit comme un séparateur linéaire dans l'espace des solutions. Celles-ci doivent donc pouvoir être séparées en deux zones distinctes (par une droite, un plan ou un hyperplan, tout dépendant du nombre d'entrées), ce qui n'est pas le cas des fonctions booléennes non séparables.

Par exemple, les fonctions booléennes « ou » et « et » telles que représentées en a) et b) peuvent être séparées linéairement en deux zones distinctes (les sorties égales à -1 sont en noir et celles égales à +1 sont en blanc).

Par contre, celles de la fonction « ou exclusif » (c) ne peuvent l'être et cette fonction n'est pas linéairement séparable. Les solutions de cette fonction sont de fait séparées par les séparateurs des fonctions « ou » et « et ». On peut donc réaliser la fonction « ou exclusif » en ajoutant au perceptron deux neurones cachés (perceptrons) exécutant respectivement la fonction « ou » et la fonction « et » (d).

Rosenblatt a montré que, si les exemples sont linéairement séparables, alors la règle d'apprentissage du perceptron trouvera toujours, après un nombre fini de corrections, les efficacités synaptiques mémorisant tous les exemples. Cependant, Minsky et Papert ont souligné que le nombre de corrections pour trouver une solution peut augmenter exponentiellement avec le nombre d'exemples! Pire encore, il n'y a pas de moyen efficace de savoir *a priori* si nos exemples sont linéairement séparables. De plus, Cover montra en 1965 que la probabilité de trouver une fonction booléenne qui soit linéairement séparable tend vers zéro lorsque le nombre d'exemples est supérieur à deux fois le nombre d'entrées (pour un nombre infini d'entrées). Cet important résultat signifie que les fonctions booléennes sont presque toujours non linéairement séparables et qu'il faut alors plus qu'un perceptron pour les mémoriser.

### Figure 4

Dans le modèle de Hopfield, chacun des neurones est connecté à tous les autres et les efficacités synaptiques sont symétriques ( $W_{ij} = W_{ji}$ ). Le signal  $S_j$  émis par le neurone  $j$  au temps  $t + \Delta t$  dépend des signaux reçus des autres neurones au temps  $t$ . Les configurations d'activités neuronales se modifient donc au cours du temps. Il s'agit d'un système dynamique. En b) se trouvent quelques exemples de trajets empruntés par ces configurations. Les points D et C représentent des configurations instables (situées sur des sommets d'où les lignes divergent) tandis que B et A représentent des configurations stables appelées attracteurs (situées au fond d'une vallée où les lignes convergent). Si le système se trouve initialement sur la configuration « a », il aboutira éventuellement à l'attracteur A. Par contre, s'il se trouve initialement en « b », il aboutira à B.

### Figure 5

Les vecteurs d'entrée  $\vec{\xi}$  et de sortie désirée  $\vec{\tau}$  sont présentés successivement aux unités d'entrée et de sortie du réseau en couches. L'erreur  $E$  entre la valeur désirée  $\vec{\tau}$  et la valeur de sortie  $\vec{\gamma}$  obtenue du réseau est une fonction possédant plusieurs minimums locaux dans l'espace des connexions. La règle d'apprentissage par rétropropagation des erreurs consiste à modifier les efficacités synaptiques d'une quantité  $\delta \vec{W}_{ij}$  pointant dans la direction de la pente maximale de l'erreur  $E$ . Cette modification des efficacités synaptiques se fait des neurones de sortie vers les neurones d'entrée, d'où le nom de *rétropropagation*.

## 2. NETTALK : un réseau qui apprend à lire

L'une des premières (et des plus spectaculaires) applications de la méthode d'apprentissage par rétropropagation des erreurs est le réseau NETTALK. Il s'agit d'un réseau de neurones qui apprend à lire à haute voix du texte écrit en anglais sans qu'on lui enseigne explicitement les règles de prononciation. Ce

Le système, conçu par Terrence Sejnowski de l'Université John Hopkins, est composé d'un réseau à trois couches (l'entrée, la sortie et une couche d'unités cachées), d'un préprocesseur pour reconnaître les caractères manuscrits et transmettre le code correspondant aux unités d'entrée, et d'un dispositif de synthèse de la parole pour prononcer correctement le phonème se trouvant aux unités de sortie. Le réseau lui-même est entièrement simulé sur un ordinateur conventionnel.

La couche d'entrée comprend sept groupes de 29 unités où chaque groupe code pour un caractère (une lettre ou un signe de ponctuation). Il comprend également 80 unités cachées et 26 unités de sortie correspondant à 26 caractéristiques de prononciation. À l'intérieur d'un groupe, le codage des caractères est dilué, car une seule des unités est active à la fois, chacune des unités d'un même groupe représentant un seul caractère. Le réseau voit donc sept caractères à la fois. Toutefois, après le calcul des bonnes efficacités synaptiques, la valeur de sortie désirée du réseau est le phonème correspondant au caractère central. Les six autres caractères fournissent un contexte dont dépend la prononciation de la lettre centrale. Tout se passe donc comme si le réseau lisait à travers une fenêtre glissante.

L'apprentissage se fait en déplaçant cette fenêtre d'un caractère à la fois vers la droite sur une ou plusieurs pages de texte. Les connexions sont modifiées en « rétropropageant » l'écart entre la sortie désirée et celle calculée. De cette manière, il est possible de mémoriser un texte de 1024 mots (avec un taux de succès de 95 p. cent) en le lisant une cinquantaine de fois (cela prend environ 24 heures sur un VAX 11/780 FPA). Après cet apprentissage, le réseau arrive à lire une page de texte inconnue (mais extraite de la même source) avec un taux de succès d'environ 75 p. cent. Ainsi, nous pouvons conclure que le réseau a appris certaines règles et régularités de la prononciation. Bien que la prononciation soit loin d'être parfaite, le réseau n'a tout de même pas uniquement mémorisé les exemples indépendamment les uns des autres.

L'examen du réseau après l'apprentissage révèle certains faits intéressants. Ainsi, on a remarqué que la plupart des unités cachées ont tendance à être activées par un groupe de caractères (les voyelles, par

exemple) au lieu de répondre sélectivement à un seul caractère. L'information est distribuée plutôt que d'être localisée.

Sejnowski a enregistré, sur un ruban magnétique, la performance du réseau au cours de l'apprentissage et l'a fait jouer à certaines reprises lors de conférences. Après la première passe du texte, le réseau ne produit que des sons aléatoires; ensuite vient une phase de balbutiements. En fait, l'une des premières choses que le réseau apprend, c'est la distinction entre voyelles et consonnes. Après quelques autres passes, les sons deviennent saccadés : le réseau découvre les pauses. Ainsi, les progrès de l'apprentissage sont réalisés par étapes successives, qui ne sont pas sans nous rappeler celles que franchit un enfant qui apprend à parler.

### 3. ALVINN : un réseau qui apprend à conduire une voiture

La conduite automobile est un autre cas où la capacité de généralisation est déterminante, les conditions routières étant trop diverses pour être toutes mémorisées. ALVINN (pour *Autonomous Land Vehicule in a Neural Network*) est un réseau de neurones que l'on a attaché à un véhicule (le Navlab, à l'Université Carnegie-Mellon) pour qu'il puisse apprendre à le diriger dans des conditions de route variées. Chacune des unités cachées est connectée à tous les 30 X 32 pixels d'une image vidéo ainsi qu'à tous les 8 X 32 pixels d'une autre image, une « rétine des distances », indiquant la proximité des objets (plus le pixel est foncé, plus l'objet correspondant est proche). En effet, il est important de connaître la distance car ici, il n'y a pas de vision stéréoscopique. La réponse des unités de sortie est une représentation linéaire de la direction de navigation du véhicule. L'unité de sortie centrale indique la direction « tout droit, en avant » tandis que les unités à droite et à gauche du centre indiquent les virages de plus en plus serrés vers la droite ou vers la gauche.

L'apprentissage se fait en utilisant la règle de la rétropropagation des erreurs sur les données enregistrées à bord du véhicule Navlab : images vidéo et rétine des distances pour l'entrée, position du volant pour la sortie désirée. Après un entraînement sur plus d'un millier d'images, un simulateur (sur une station Sun 3/160) du

réseau obtenu arrive à conduire [sic] correctement le véhicule sur certaines routes du campus de l'Université Carnegie-Mellon à une vitesse de 5 km/h. Encore une fois, l'analyse des unités cachées révèle certains faits intéressants. Lorsque l'apprentissage ne se fait que sur des routes de même largeur, le réseau choisit une représentation où les unités cachées agissent comme détecteurs d'orientations et de positions pour toute la route. Par contre, si l'entraînement se fait sur un échantillon de routes de largeur différente [sic], les unités cachées deviennent alors des détecteurs de bordures de routes, activées seulement en présence d'une des deux bordures.

### Figure 6

Une façon simple de mémoriser des paires d'exemples dans un réseau en couches où les neurones sont du type McCulloch et Pitts, est d'associer à chacun de ces neurones l'un des exemples à mémoriser. On active un neurone (état égal à +1) si et seulement si l'exemple qui lui est associé est présenté à l'entrée. Par exemple, pour stocker un exemple où l'entrée est  $\xi$  et la sortie  $\tau$ , à l'aide du neurone  $\mu$ , on choisit comme vecteur  $\vec{W}$  des efficacités synaptiques entre l'entrée et le neurone  $\mu$ , le vecteur d'entrée  $\vec{\xi}$  ( $W = \vec{\xi}$ ). On fait de même avec le vecteur des efficacités synaptiques  $\vec{U}$  entre  $\mu$  et la sortie en mettant  $\vec{U}$  égal au vecteur de sortie  $\vec{\tau}$  ( $\vec{U} = \vec{\tau}$ ). Le réseau reproduit tous les exemples comme voulu lorsque le biais de l'unité cachée (toujours active) est  $W_0 = 1/N_i$  (où  $N_i$  est le nombre d'unités d'entrée) et que le biais de l'unité de sortie est  $U_{i,0} = \sum_{\mu}^p = 1/p$  (où  $p$  est le nombre d'exemples à mémoriser).

Cependant, ce réseau n'aura aucune capacité de généralisation car la sortie est toujours = -1 (pour toutes les unités de sortie) lorsqu'un exemple non appris se trouve à l'entrée, et ce, peu importe ce qui a été appris.

### Figure 7

#### Apprentissage par construction d'un arbre neuronal

Chacune des unités cachées (les nœuds de l'arbre) sépare l'ensemble des vecteurs d'entrée (représenté schématiquement par un cercle) en deux régions de décision : l'une positive et l'autre négative. Un exemple se trouve dans la région de décision positive si sa sortie est de +1 (-1 pour une région de décision négative). Le neurone générera un autre neurone à la couche suivante à sa droite (comme en b et c) lorsque sa région de décision négative sera impure. L'arbre se construit ainsi couche après couche (e) jusqu'à ce que toutes les régions de décision soient purifiées. Seuls les neurones dont la région de décision négative (comme en a et c) est pure, sont reliés à la sortie. (Note : tous les neurones générés sont reliés aux unités d'entrée, mais pour plus de clarté, nous n'avons pas représenté les connexions.)

### Figure 8

Pour la fonction parité représentée en a), la sortie désirée est de +1 si le nombre de valeurs +1 à l'entrée est impair. Si ce chiffre est pair, la sortie doit être de -1. Les valeurs du biais de chaque neurone sont indiquées dans le cercle correspondant. Pour la fonction symétrie de réflexion en b), la sortie désirée doit être de +1 si et seulement si la moitié gauche de l'exemple à l'entrée est l'image miroir de sa moitié droite.

### Figure 9

Après avoir obtenu un réseau (à l'aide de notre algorithme) qui mémorise une fraction d'exemples (positifs et négatifs) choisis au hasard parmi les  $2^{10}$  exemples possibles, nous testons le réseau pour tous les autres exemples et nous indiquons en a) la fraction de réponses correctes. Les cercles blancs indiquent les exemples négatifs tandis que les carrés noirs indiquent les exemples positifs. Le nombre d'unités cachées nécessaires pour mémoriser la fraction est indiqué en b). Chaque point indique la moyenne obtenue sur 20 réseaux et les barres d'erreur indiquent l'écart type. On remarque qu'avec seulement 10 p. cent des

exemples mémorisés, le nombre d'exemples négatifs correctement classifiés est excellent (plus de 95 p. cent). Pour les exemples positifs, par contre, il faut mémoriser 50 p. cent des exemples pour obtenir un taux de bonnes réponses de 80 p. cent. On note également que l'amélioration de la généralisation s'accompagne d'une saturation du nombre d'unités cachées.

(Tiré de *Biologie générale 301*, Montréal, Équipe Regain, Collège de Bois-de-Boulogne, fascicule 1, chapitre 3, 1989, p. 31-56)

## LA CELLULE

### INTRODUCTION

Il est aujourd'hui évident d'affirmer que tous les êtres vivants sont constitués de cellules. Au XIX<sup>e</sup> siècle, au moment du premier énoncé de la théorie cellulaire, cette évidence n'était pas universellement acceptée. En 1824, Dutrochet affirmait l'individualité des cellules. Mais l'idée n'a vraiment pris forme qu'en 1838 lorsque deux biologistes allemands ont publié séparément des travaux sur le sujet. Le botaniste Schleiden (1804-1881) affirma que la cellule était l'unité de base et structurale de tous les végétaux. Le zoologiste Schwann (1810-1882) appliquait le même énoncé aux animaux. Puis la théorie cellulaire se développa à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle grâce aux perfectionnements techniques dans le domaine de la microscopie. Toutefois, il faut attendre le début du XX<sup>e</sup> siècle et l'arrivée du microscope électronique pour découvrir les ultrastructures de la cellule.

Le principal rôle d'une cellule dans les systèmes vivants s'exprime par la théorie cellulaire qui dit...

- que tous les êtres vivants sont formés de cellules (unité de structure ou morphologique);
- que chaque cellule présente les propriétés fondamentales du vivant, incluant le pouvoir d'obtenir de l'énergie de l'environnement et d'utiliser cette énergie pour construire ses molécules (unité de fonction ou physiologique);
- que toute cellule naît d'une autre cellule et qu'un être ne se développe pas directement à partir de la matière inorganique (unité de croissance et de reproduction).

## **2. Les formes des cellules.**

Les cellules, observables à l'état libre et dépourvues de structure enveloppante, sont de forme sphérique ou ovoïde. Par contre, les cellules végétales qui possèdent un cadre de cellulose, ont des formes plus géométriques. D'autre part, les cellules animales associées entre elles pour former un tissu, ont des formes spécifiques. Enfin, chez plusieurs organismes unicellulaires la forme de la cellule est déterminée et caractéristique de l'espèce.

## **3. Les dimensions des cellules.**

La taille des cellules varie considérablement. La majorité des cellules sont petites, mesurant entre 5 et 40 micromètres. Un globule rouge humain mesure 7 micromètres, l'ovule humain 100 micromètres, une amibe 600-700 micromètres. Sauf pour une cellule gigantesque comme l'œuf d'oiseau (Poule : 60 mm, Autruche : 175 mm), les cellules sont généralement trop petites pour être vues à l'œil nu. Il est donc nécessaire d'utiliser un instrument approprié comme le microscope qui permet de grossir et voir les cellules.

Lors de la croissance cellulaire, des raisons biologiques et physiques déterminent la grandeur maximale des cellules. Parmi celles-ci, il faut mentionner un contrôle génétique grandissant du cytoplasme par le noyau défini et limité, et une demande accrue de nourriture commandée par l'augmentation du cytoplasme versus les échanges limités à travers la membrane plasmique. Il faut aussi considérer l'augmentation de la masse de liquide cytoplasmique qu'il faut contenir par une membrane définie et ne pouvant supporter plus. Au-delà d'une certaine masse, la membrane pourra rompre sous le poids du cytoplasme. Les rapports cytoplasme/noyau et surface/volume peuvent aider à la compréhension de la limite des dimensions cellulaires.

Le rapport cytoplasme/noyau est un facteur important qui peut déterminer la taille des cellules. En effet, il faut un certain bagage génétique pour contrôler le volume cytoplasmique; le noyau est le principal organe régulateur de la cellule et il n'exerce un contrôle que sur une certaine quantité de cytoplasme. Si la

cellule grandit, le noyau ne peut contrôler le cytoplasme au-delà d'une certaine limite. La division cellulaire (mitose) rétablit le rapport cytoplasme/noyau (Fig. 3.1).

Le rapport surface/volume peut aussi limiter la taille des cellules. En grandissant, le volume de la cellule augmente plus rapidement que sa surface : le volume d'une sphère augmente au cube du rayon tandis que la surface augmente au carré du rayon. Ainsi une grande cellule a proportionnellement moins de membrane pour satisfaire son volume qu'une petite cellule. Un exemple simple pourra faire comprendre ce concept. Préfères-tu peler une très grosse pomme de terre ou huit petites pommes de terre? La quantité de purée peut être la même mais la surface à peler des petites pommes de terre est beaucoup plus grande. La figure 3.2 illustre le cas de huit petites cellules dont le rapport surface/volume est plus grand que celui d'une grande cellule.

La demande de nourriture et la production de déchets sont proportionnelles au volume cellulaire, mais la cellule échange avec son environnement par sa surface. La surface maintenue trop petite par rapport au volume, ne peut plus pourvoir de façon adéquate au volume grandissant du cytoplasme. Ceci n'est pas un problème majeur pour les cellules qui ont un métabolisme très bas comme pour les œufs d'oiseaux. Toutefois, la majorité des cellules ne peuvent vivre en ne maintenant qu'un métabolisme minimal essentiel aux fonctions vitales. D'où l'importance de la division cellulaire afin de ramener le rapport surface/volume à un niveau fonctionnel.

## **L'ORGANISATION DE LA CELLULE**

La cellule, peu importe son appartenance, sa forme ou sa taille, est une masse tridimensionnelle de cytoplasme délimitée dans l'espace par une membrane plasmique qui lui assure une individualité. Au microscope photonique, cette membrane s'observe comme une ligne, une sorte d'interface là où finit le cytoplasme. À l'intérieur du cytoplasme il y a une substance fondamentale, le hyaloplasme, où baignent un noyau et différents organites. Certains organites sont visibles au microscope photonique, d'autres ne peuvent être observés qu'au microscope électronique.

### **1. La membrane plasmique**

Toute cellule se délimite dans le milieu par une membrane plasmique (Fig. 3.3) qui sert de frontière entre le milieu extérieur et son milieu interne appelé cytoplasme. La structure de base de cette membrane est sensiblement la même dans toutes les cellules. Il s'agit d'une composition moléculaire d'origine cytoplasmique. De plus, quel que soit le type de membranes (membrane des vacuoles, membranes du noyau), elles ont la même structure et des fonctions analogues. Dans le second cours de biologie, l'étude biochimique de la membrane permettra d'en connaître la composition.

La membrane assure la stabilité du milieu intérieur par rapport au milieu extérieur changeant. La membrane plasmique est un organite versatile jouant plusieurs rôles. Elle maintient ensemble tous les organites de la cellule. C'est aussi une frontière sélective entre l'intérieur et l'extérieur. Enfin la cellule peut également dépenser de l'énergie pour assurer l'entrée ou la sortie de molécules déterminées à travers la membrane. Il s'agit toutefois d'un processus particulier de la membrane appelé transport actif qui sera vu lors de l'étude biochimique de la membrane.

La cellule permet à certaines petites molécules de traverser sa membrane. Ce phénomène physique correspond à un déplacement de particules d'une région vers une autre chaque fois qu'il y a un

gradient de concentration, c'est-à-dire lorsqu'il y a une différence de concentration entre deux régions. La membrane plasmique est poreuse et capable d'assurer le passage de petites molécules (perméabilité). Elle est aussi une barrière qui bloque le passage à d'autres molécules (imperméabilité). On dit de la membrane qu'elle est semi-perméable et sélective ce qui sera étudié dans les phénomènes de membrane à la fin de ce chapitre.

## 2. La paroi cellulaire

La paroi cellulaire est une couche recouvrante protectrice et de support pour la cellule. Cette paroi est sécrétée par la cellule et donne la forme et la rigidité à celle-ci. La structure et la nature chimique de la paroi cellulaire varient selon le type de cellule et ses fonctions (Fig. 3.3).

Chez les Bactéries et les Cyanophytes, la paroi cellulaire est constituée de polymères complexes sécrétés par la cellule et dont la structure varie assez peu d'une espèce à l'autre. L'existence de cette paroi chez les Bactéries est la cible de certains agents anti-bactériens lors de la lutte contre les microbes.

Chez les Protozoaires, la paroi cellulaire n'est qu'une pellicule protéique, souple, déformable au besoin et pouvant reprendre sa forme initiale; tel est le cas des paramécies. Par contre chez les dinoflagellés, la paroi est un [sic] enveloppe cellulosique qui donne une rigidité structurale à la cellule.

Chez les Métaphytes, la nature de la paroi cellulaire varie selon le type, l'âge et les fonctions des cellules. Les cellules composant les tissus jeunes et mous ont une paroi formée de deux couches. D'abord l'apparition d'une membrane primitive, à la fin de la division cellulaire, donne naissance à la lamelle moyenne que se partagent les deux cellules contiguës. Puis le cytoplasme de ces cellules sécrète, de part et d'autre de la couche lamelle moyenne, une seconde couche formée de cellulose et de composés pectiques : c'est la paroi primaire. La paroi de certaines cellules reste toujours au stade primaire. Par contre, dans la plupart des cellules âgées, un certain nombre de couches s'ajoutent pour constituer la paroi secondaire (Fig. 3.4).

Son apparition s'accompagne d'un arrêt de l'accroissement de la cellule. Enfin cette paroi secondaire peut subir des modifications chimiques menant à la subérification (cellules de liège), la cutinisation (cellules de l'épiderme de feuille) ou à la lignification (vaisseaux du xylème). Le suber, la cutine et la lignine sont des substances qui donne [sic] un fort épaissement à la paroi de la cellule.

### 3. Le cytoplasme

Le cytoplasme forme une partie très importante de la cellule. Lorsque le cytoplasme est dépourvu de ses organites, il ne reste que le hyaloplasme qui est "l'environnement" d'une grande variété d'organites et le site de nombreuses réactions métaboliques.

Le cytoplasme, vu au microscope photonique, apparaît assez uniforme. C'est un liquide visqueux et transparent, composé d'un pourcentage élevé d'eau. Une proportion de cette eau est liée à des protéines ou des macromolécules. Quant à l'eau libre, elle sert de solvant ou participe aux phénomènes biochimiques.

La plupart des protéines qui s'y trouvent, jouent un rôle enzymatique (catalyseur) lors des réactions métaboliques. Ces protéines ont un poids moléculaire élevé et sont de taille moyenne; elles ne forment avec l'eau ni une vraie solution ni une suspension. C'est un état colloïdal qui apparaît dans le milieu cytoplasmique. Les propriétés colloïdales des protéines affectent parfois la structure et la fonction du cytoplasme et lui donnent l'aspect de gel, semi-gélatineux, ou de sol, semi-fluide.

#### Solution colloïdale

Une solution colloïdale se différencie d'une solution vraie par la grosseur des particules qui crée un système n'ayant pas les propriétés d'une solution. De ce fait, les colloïdes cytoplasmiques peuvent subir des transformations "sol-gel" et "gel-sol". À l'état sol, les particules sont dispersées au hasard alors qu'à l'état gel, les particules interagissent entre elles pour former un réseau (Fig. 3.5).

La gélification peut s'obtenir par refroidissement d'une solution colloïdale. C'est le cas du Jello lorsque la solution contenant de la gélatine (une protéine) prend en masse pour former un état "gel" relativement malléable, présentant à la fois une certaine élasticité et une certaine rigidité. S'il y a un réchauffement de la masse gélifiée, le gel se liquifie [sic] pour prendre un état "sol".

Un gel peut s'obtenir par réaction chimique comme c'est le cas de la coagulation enzymatique du sang. Enfin, une variation de pH cytoplasmique ou une élévation de la température du cytoplasme peuvent aussi provoquer la formation d'un gel. Le blanc d'œuf (une albumine), lorsque chauffé, coagule.

Ces gélifications sont habituellement irréversibles. Toutefois, il existe des conditions physiologiques pour lesquelles le cytoplasme doit changer d'états : "sol à gel" et "gel à sol". Plusieurs cas sont faciles d'observation : mouvements du cytoplasme chez les amibes et les plantes chlorophylliennes. D'autres cas de réversibilité des états colloïdaux s'observent chez les animaux et les végétaux aux changements de saison.

Les mouvements cytoplasmiques de l'amibe sont causés par un état sol du cytoplasme circulant (endoplasme) migrant dans le centre de la cellule et un état gel du cytoplasme périphérique cortical (ectoplasme). Une transformation "sol à gel" se fait à l'extrémité avant des pseudopodes et la transformation "gel à sol" en arrière de la cellule. Tel est le mouvement amiboïde par lequel la cellule peut avancer (Fig. 3.6).

La cyclose est une [sic] autre mouvement cytoplasmique observé dans les cellules végétales et causé par la réversibilité des états "sol à gel" et "gel à sol". Il s'agit d'un mouvement actif qui doit forcément emprunter un parcours circulaire autour de la vacuole centrale. La cyclose s'observe bien dans les cellules chlorophylliennes par le fait que les chloroplastes visibles tournent autour de la vacuole centrale (Fig. 3.7).

La résistance au froid des organismes vivants peut s'expliquer entre autres par la gélification réversible du cytoplasme pendant la période défavorable. Ainsi, les pattes de moineaux à des températures

de  $-20^{\circ}\text{C}$  au cours de l'hiver, et les animaux hibernants sont des cas de gélification. Les gels sont constitués d'un réseau de filaments moléculaires protéiques entrelacés ayant la propriété de retenir entre ses mailles une importante quantité d'eau qui résiste à la congélation.

#### 4. Le noyau

Très visible au microscope photonique, le noyau est un organite relativement dense, opaque, et mesurant entre 5 et 50  $\mu\text{m}$ . Habituellement rond, le noyau [sic] peut avoir des formes diverses : ovoïde jusqu'à fusiforme (noyau des fibres musculaires), réniforme ou multilobé (noyau des globules blancs). Il contient le nucléoplasme dans lequel se trouvent un réseau de chromatine et un ou plusieurs nucléoles.

Le noyau est responsable de contrôler l'ensemble des activités cellulaires par la présence de chromosomes, éléments permanents de la cellule, mais dont l'observation n'est possible qu'en période de division. Entre deux divisions, les chromosomes sont de fins rubans constituant un réseau de chromatine.

Le nucléoplasme est la substance fondamentale délimitée par une enveloppe composée d'une double membrane chez les êtres vivants eucaryotes. Lorsque cette enveloppe n'est pas présente et que le réseau de chromatine se trouve baignant dans le cytoplasme, les êtres vivants sont qualifiés de procaryotes. On dit de ces derniers qu'ils n'ont pas de vrai noyau (Fig. 3.8).

Chez les êtres vivants eucaryotes, la chromatine est l'ensemble filamenteux des molécules d'ADN qui apparaît sous la forme d'un réseau et qui se trouve dispersé dans le noyau d'une cellule au repos (noyau quiescent). Lorsque la cellule se divise, la chromatine se condense sous forme de chromosomes qui deviennent visibles dans la cellule.

Le nucléole, dépourvu de membrane et formé d'ADN, d'ARN et de protéines, est une région distincte dans le noyau interphasique et qui disparaît lors d'une division cellulaire. Après la division, le nucléole se

reformé. En nombre défini, les nucléoles sont fréquemment visibles dans le noyau. Le nucléole est le siège de la synthèse des ARN.

Les cellules sont généralement uninucléées. Quelques unicellulaires animaux sont binucléés ainsi que certaines cellules à dicaryon des Champignons. Certaines structures d'Algues et de Champignons ont plusieurs noyaux et sont nommées coenocytes alors que des structures animales aussi plurinucléées sont nommées syncytium. Certains protozoaires ont deux noyaux : l'un pour assurer les fonctions métaboliques, l'autre pour des fonctions de reproduction.

Chez les êtres vivants procaryotes, l'appareil nucléaire est plutôt rudimentaire. Il consiste en une seule masse d'ADN circulaire, sorte de chromosome primitif, baignant dans le cytoplasme de la cellule sans être entouré d'une membrane. Il n'y a pas de nucléole.

## 5. Les plastes

Les plastes sont des organites végétaux responsables de synthèses et de mise en réserve de la nourriture. Il existe deux classes de plastes : les leucoplastes et les chromoplastes.

Les leucoplastes sont incolores et présents dans les cellules de plusieurs plantes. Ces plastes emmagasinent généralement de l'amidon (amyloplast) (Fig. 3.9); ils peuvent servir aussi à stocker des graisses, des huiles (oléoplastes) ou des protéines (protéoplastes).

Plusieurs chromoplastes peuvent contenir des caroténoïdes : les carotènes de couleurs jaune, orange ou rouge, et les xanthophylles de couleurs brun ou jaune. Ce sont eux qui donnent les teintes aux fruits, aux fleurs et aux feuilles. Parfois ces plastes peuvent masquer le vert des chloroplastes, comme dans certains feuillages rouges. Au contraire, ces plastes peuvent être masqués tout l'été par les chloroplastes pour n'apparaître qu'à l'automne lorsque la chlorophylle est moins abondante, comme dans les feuilles

d'étable. De tous ces plastes, le plus important est le pigment de la chlorophylle à cause de son importance dans la photosynthèse.

Chez les plantes supérieures, les chloroplastes (Fig. 3.9) ont une forme ovale ayant entre 2 à 4 µm par 5 à 10 µm. Les cellules de certaines algues ont des chloroplastes beaucoup plus volumineux en forme de ruban spiralé (*Spirogyra*), d'autres en forme d'étoile (*Zygnema*) ou de forme très particulière comme chez les Desmidiées (Fig. 3.10). Sur ces chloroplastes volumineux, on observe souvent des granulations protéiques autour desquelles sont élaborés des grains d'amidon : ce sont les pyrénoides.

D'autres pigments, brun (Algues brunes) ou doré (Diatomées), sont également observables dans les chromoplastes.

Certaines bactéries colorées et les Cyanophytes n'ont pas de plastes et leur coloration est due à des chromatophores qui peuvent apparaître avec une coloration variée suivant la nature et la quantité des pigments.

## 6. Les vacuoles

La plupart des plantes, quelques cellules animales et certains protistes possèdent des vacuoles visibles au microscope photonique. Elles sont prédominantes dans les cellules végétales car elles occupent une grande partie du volume interne de la cellule contrairement aux cellules animales. De fait, plus de la moitié du volume d'une cellule végétale est occupée par une vacuole géante repoussant le cytoplasme, les organites et le noyau contre la membrane plasmique.

La vacuole renferme un liquide visqueux délimité par une membrane vacuolaire et elle contient en solution concentrée des substances de nature très variée. La vacuole de certaines cellules végétales

contient des pigments solubles dans l'eau, les anthocyanes. Ces pigments sont responsables des bleus, violets, rouges écarlates de plusieurs plantes (oignons rouges, betterave, radis).

Les vacuoles des cellules animales sont généralement beaucoup plus petites que celles des cellules végétales. Certaines vacuoles proviennent de l'invagination de la membrane plasmique : ce sont les vacuoles de phagocytose ou de pinocytose. Ces vacuoles seront étudiées dans les phénomènes d'ingestion cellulaire.

Enfin, certains organismes unicellulaires réagissent contre la pénétration de l'eau dans la cellule et assurent l'équilibre hydrique cytoplasmique par des vacuoles contractiles. La figure 3.11 montre une paramécie avec deux vacuoles contractiles dont le rôle est d'extraire l'eau du cytoplasme et qui, en se contractant, éliminent leur contenu en eau dans le milieu extracellulaire.

## **7. Les cils et les flagelles**

Les cils et les flagelles sont des structures allongées et étroites qui s'observent à la surface de la cellule. Les cils et les flagelles sont associés au mouvement de la cellule libre, et servent à la natation (Protistes animaux, gamètes flagellés). Pour les cellules fixes, le mouvement des cils assure le déplacement de particules sur la surface (épithélium cilié de la trachée).

Ces deux organites diffèrent entre eux. Premièrement les flagelles sont de beaucoup les plus longs. Deuxièmement, les deux organites se déplacent différemment : un flagelle se déplace par ondulation tandis qu'un cil bat (Fig. 3.12). Enfin, il y a un ou deux flagelles par cellule alors que les cils sont très nombreux.

## **LES CELLULES PARTICULIÈRES**

Pour des besoins de compréhension, certaines cellules présentent un intérêt spécifique dans la diversité et les cycles vitaux. Ainsi les cellules suivantes sont ici définies.

### **1. Le gamète**

Le gamète est une cellule sexuelle, reproductrice, mâle ou femelle. C'est une cellule haploïde, c'est-à-dire que le noyau ne possède qu'un seul jeu de chromosomes ( $n$  chromosomes). Le " $n$ " dans l'expression " $n$  chromosomes" signifie qu'il n'y a qu'un seul représentant chromosomique de chaque type dans le noyau.

### **2. Le zygote**

Le zygote est une cellule formée à la suite de l'union de deux gamètes lors de la fécondation. La cellule est diploïde parce que son noyau a reçu les chromosomes existant dans chaque gamète. Par conséquent, ce noyau reçoit un jeu de chromosomes du gamète mâle et un jeu de chromosomes du gamète femelle, donc un double jeu de chromosomes ( $2n$  chromosomes). Le " $2n$ " dans l'expression " $2n$  chromosomes" signifie couple ou paire de chromosomes, c'est qu'il y a deux représentants chromosomiques de chaque type dans le noyau.

### **3. Les spores**

Les spores sont des cellules résistantes capables de se développer directement en un organisme complet. La mitospore est une cellule haploïde obtenue par mitose à partir d'un organisme haploïde (spores des moisissures). La méiospore est une cellule haploïde obtenue par méiose à partir d'un organisme diploïde (spores des Métaphytes). La zygosporé est une cellule diploïde obtenue par fécondation mais

incapable de résister aux mauvaises conditions du moment (les zygospores des moisissures et de la spirogyre).

## **LES PHÉNOMÈNES DE MEMBRANES**

La perméabilité cellulaire requiert une connaissance des phénomènes physiques de la diffusion et de l'osmose. Appliqués à la cellule ces phénomènes montre [sic] que la membrane plasmique est une barrière perméable. Cette perméabilité est passive car elle n'obéit qu'à des lois physiques. Cependant l'entrée ou la sortie d'une substance à travers la membrane de la cellule peut être une perméabilité active qui demande de l'énergie pour se faire.

Dans les paragraphes qui suivent nous ne considérerons que les phénomènes physiques en gardant pour un autre cours la perméabilité active.

### **1. La diffusion**

Quand une membrane ne les sépare pas, deux solutions de concentrations différentes se mêlent selon un mécanisme appelé diffusion. La diffusion est un mouvement de particules à l'intérieur d'un système. Par exemple, si une solution concentrée de sucre est mise en contact avec de l'eau, il se produira un mouvement qui va de la région où les particules sont en forte concentration vers la région où les particules sont en faible concentration. Plus la différence de concentration entre les deux solutions est élevée (c'est-à-dire le gradient de concentration), plus la vitesse de diffusion est rapide. La diffusion vise à distribuer également les particules à l'intérieur du système.

La diffusion est aussi un passage de particules à travers la membrane perméable séparant deux solutions de concentrations différentes. Un mouvement de particules à travers la membrane s'effectue depuis la solution la plus concentrée en particules vers la solution la moins concentrée en vue d'une

distribution uniforme des particules de chaque côté de la membrane. La perméabilité de la membrane dépend de la grosseur des particules par rapport à la grandeur des pores de la membrane.

## **2. L'osmose**

L'osmose est un mouvement d'eau à travers une membrane. Ce mouvement va du milieu le moins concentré en particules vers le milieu le plus concentré en particules. Ce phénomène physique, sous la dépendance d'un gradient de concentration, tend à établir un équilibre entre les deux milieux séparés par la membrane (Fig. 3.14b).

## **3. L'endocytose et l'exocytose**

L'endocytose (Fig. 3.15) est un concept général qui englobe deux façons d'ingérer en vrac du matériel solide ou liquide par la cellule. Le phénomène commence lorsqu'une région de la membrane plasmique s'invagine et qu'elle entoure une portion du milieu ambiant. La vacuole ainsi formée se détache de la membrane proprement dite et se déplace dans la cellule. Si le contenu de la vacuole, appelée phagosome, est solide, c'est la phagocytose (Fig. 3.16); s'il est liquide, c'est la pinocytose (Fig. 3.17). Ces phénomènes sont actifs et nécessitent une dépense d'énergie cellulaire, l'ATP. Les globules blancs de notre organisme détruisent par phagocytose les corps étrangers qui s'y trouvent. La phagocytose est présente chez plusieurs protozoaires et dans certaines cellules des Métazoaires où elle joue un rôle de défense contre les bactéries.

Les cellules peuvent aussi excréter des substances présentes dans des vacuoles. Ce phénomène se nomme exocytose; la membrane de la vacuole se fusionne à la membrane plasmique et cela permet l'excrétion du contenu de la vacuole. Divers produits contenus dans des vacuoles et des sécrétions fabriquées par la cellule sont ainsi excrétés (Fig. 3.15). Par ce mécanisme, cela permet aussi d'ajouter des portions de membrane à la membrane plasmique existante.

### ÉTAPE 3.3 : OBSERVATIONS DES PROPRIÉTÉS OSMOTIQUES

*L'osmose est un phénomène de diffusion de l'eau à travers une membrane. Cette membrane est perméable au solvant, mais plus ou moins perméable au(x) soluté(s) ou aux particules qui composent la solution.*

*Il y a osmose lorsque l'eau diffuse à travers une membrane à partir de la solution la moins concentrée en particules de soluté vers la solution la plus concentrée en particules de soluté. En d'autres mots, il y a osmose lorsque l'eau diffuse à partir de la solution la plus concentrée en molécules d'eau vers la solution la moins concentrée en molécules d'eau.*

*Il y a aussi une osmose quand l'eau diffuse d'une solution peu concentrée vers l'intérieur de la cellule à travers la membrane plasmique; la solution est alors appelée solution hypotonique et le volume des cellules augmente. Enfin il y a osmose quand l'eau diffuse à travers la membrane plasmique depuis le cytoplasme vers la solution plus concentrée, appelée solution hypertonique. Dans une telle solution, le volume des cellules diminue.*

*Les phénomènes d'osmose terminés, cela entraîne les effets suivants. Il y a diminution du volume de la solution la moins concentrée ou hypotonique, alors que la solution la plus concentrée ou hypertonique voit son volume augmenté.*

### **A) Les cellules animales**

*Les globules rouges (érythrocytes) baignent à l'intérieur de notre corps dans un liquide jaunâtre, le plasma. Pour conserver une forme discoïde normale ces derniers doivent être placés dans une solution isotonique, c'est-à-dire dans une solution dont la concentration est égale à celle existant à l'intérieur même de ces cellules. Pour les globules rouges, une solution isotonique est équivalente à une solution de NaCl de 0,9 %.*

#### **1) Solution hypotonique (Fig. 3.18)**

*Si on place les globules rouges dans une solution dont la concentration est inférieure à du NaCl 0,9 % (solution hypotonique), l'eau a tendance à entrer (de la solution la moins concentrée vers la plus concentrée) ce qui augmente la pression interne. On observera bientôt l'hémolyse des cellules.*

#### **2) Solution hypertonique (Fig. 3.18)**

*Si, au contraire, on place les globules rouges dans une solution dont la concentration est supérieure à du NaCl 0,9 % (solution hypertonique) l'eau a tendance à sortir et l'on observera bientôt des cellules plasmolysées.*

### **B) Les cellules végétales.**

*Les mêmes propriétés osmotiques s'appliquent.*

#### **1) Solution hypotonique (Fig. 3.19)**

*En situation normale, une cellule végétale est en milieu hypotonique, son cytoplasme étant plus concentré que le milieu ambiant, et elle a tendance à gonfler mais n'éclate pas à cause de sa paroi cellulaire, c'est la turgescence.*

## 2) Solution hypertonique (Fig. 3.19)

*En milieu hypertonique la cellule diminue de volume et la membrane plasmique se détache de la paroi cellulaire. Celle-ci garde toutefois sa forme. C'est la plasmolyse de la cellule qui, lorsqu'elle n'est pas trop forte, peut être réversible. Cette réversibilité s'observe lorsque les feuilles flétrissent ou que les légumes en feuilles perdent de leur croustillant.*

## CONCLUSION

Suite à l'étude de la cellule, nous pouvons conclure qu'elle est l'unité morphologique, physiologique et de croissance des êtres vivants. Voyons ce que signifient ces trois expressions.

### 1. La cellule, unité morphologique

Les tissus sont constitués par de nombreuses cellules. Peu importe la nature du tissu étudié (tissu chlorophyllien ou tissu vasculaire chez les végétaux, tissu osseux ou tissu épithélial chez les animaux), nous le trouvons toujours formé de cellules. Ce plan unique de construction de la matière vivante justifie l'expression d'unité morphologique.

### 2. La cellule, unité physiologique

La fonction d'un organe dépend de celle de chacun des tissus qui le composent. De même, la fonction d'un tissu dépend de celle des cellules qui le composent. Tout comme dans un groupe, ce sont les individus qui travaillent; dans un tissu, ce sont les cellules qui accomplissent une fonction.

### **3. La cellule, unité de croissance**

La cellule est aussi l'unité de croissance des êtres vivants, ce qui signifie que les caractères [sic] héréditaires se transmettent grâce à des cellules spécialisées qui assurent cette transmission d'une génération à l'autre.

(Tiré de *Biologie générale 301*, Montréal, Équipe Regain, Collège de Bois-de-Boulogne, fascicule 2, chapitre 6, 1989, p. 31-39)

## LES MONÈRES

### INTRODUCTION

Les Monères constituent un règne formé d'êtres dont l'organisation se réduit à une structure microscopique simple. Dans leur cytoplasme, on ne distingue aucun organite spécialisé. Si la cellule est pigmentée, c'est dans le cytoplasme lui-même que se trouvent les lamelles membraneuses ultra-microscopiques portant le complexe pigmentaire. Il n'y a pas de chloroplastes comme chez les plantes supérieures. Leur appareil nucléaire n'a pas les attributs d'un véritable noyau car il n'y a pas d'enveloppe nucléaire, d'où la raison de qualifier les Monères de Procaryotes.

Les deux embranchements de Monères, Bactéries et Cyanophytes, renferment des êtres unicellulaires ou coloniaux, parfois filamenteux.

La majorité des Bactéries se reproduisent par fission binaire, donc sans aucun processus sexuel. Le taux de croissance peut être très élevé : une division à toutes les heures. Placées dans des conditions idéales, certaines espèces peuvent se diviser à toutes les 10 à 20 minutes. Les phénomènes de sexualité chez les Bactéries n'ont pas encore été observés dans la nature. Par contre, des bactéries en culture montrent des phénomènes de reproduction sexuée. Les Cyanophytes ne montrent aucun phénomène de sexualité. La multiplication végétative est leur seul mode de reproduction. La fission binaire des cellules assure l'augmentation des populations unicellulaires et la croissance des formes coloniales. La segmentation des filaments, appelés trichomes, s'effectue grâce à des cellules modifiées (hétérocystes) au niveau desquelles la coupure peut s'établir.

## LES BACTÉRIES

Les Bactéries forment un groupe très diversifié dont les individus possèdent une organisation cellulaire primitive. Comme Procaryotes, les Bactéries n'ont pas de noyau. Le matériel héréditaire est formé d'acides nucléiques dont l'ensemble donne l'unique chromosome circulaire. Il baigne directement dans le cytoplasme en un endroit appelé nucléoïde. Les Bactéries ne possèdent aucun organe propre aux Eucaryotes.

La paroi des Bactéries est une enveloppe rigide externe. Elle est constituée d'une substance particulière, le mucopeptide. La composition de la paroi diffère de celle des parois des cellules eucaryotes.

Les Bactéries sont de très petite taille (5 à 10  $\mu\text{m}$  de long); les plus grandes atteignent à peine une centaine de micromètres de longueur. Une goutte d'eau peut contenir plus d'un milliard d'organismes bactériens.

Les Bactéries sont classifiées selon leur forme en Coques, Bacilles et Spirilles (Fig. 6.1). Les Coques sont de petites sphères parfois associées par paires (Diplocoques), en chaînettes (Streptocoques) ou en grappes (Staphylocoques). Les Bacilles sont en forme de bâtonnet et peuvent se regrouper deux par deux (Diplobacilles) ou en chaînes (Streptobacilles). Les Spirilles sont de formes hélicoïdales et sont habituellement non associés.

La plupart des Bactéries sont hétérotrophes et se nourrissent de matière organique. En laboratoire, elles vivent sur un milieu de culture organique. La digestion est externe car les enzymes sont libérés à l'extérieur, les produits digérés sont ensuite absorbés. Quelques bactéries sont autotrophes par chimiosynthèse en oxydant des composés comme l'ammoniac, les nitrites ou le soufre, ou par photosynthèse grâce à des pigments différents de la chlorophylle des Algues ou des Métaphytes.

Les Bactéries jouent un rôle considérable dans la nature. La plupart des grands cycles biogéochimiques que nous verrons en écologie, sont bouclés par les Bactéries. Elles mènent une vie invisible mais d'une intensité forcenée, attaquant tout, transformant tout. Les unes sont utiles par les actions bénéfiques utilisées par l'Homme : la fabrication de yogourt, de fromage, d'alcool, de vitamines et d'enzymes. Certaines sont transformatrices de matière organique en matière minérales [sic]; elle [sic] sont essentielles dans la décomposition de la matière organique. D'autres pratiquent le mutualisme et procurent à leurs hôtes de l'azote organique en résidant dans les nodules des racines des plantes de la famille des Légumineuses. Dans notre gros intestin, certaines bactéries fabriquent des vitamines K et B12. Les bactéries de l'estomac des ruminants digèrent la cellulose. Par contre, certaines bactéries peuvent être pathogènes pour les plantes ou les animaux. D'autres peuvent détruire par fermentation les aliments ou certaines matières premières. On les rencontre dans tous les milieux qui peuvent être acides ou basiques, avec ou sans oxygène, dans les habitats très chauds ou très froids.

[...]

## **ÉTAPE 6.2 : LA DÉCOUVERTE DES BACTÉRIES**

Les Bactéries sont des organismes que l'on peut retrouver dans tous les milieux. Il n'est pas un endroit dont la surface n'est pas parsemée de bactéries vivantes à l'exception des lieux stériles. Dans ces lieux, la stérilisation a détruit toute forme de vie microbienne.

Pour t'en convaincre, nous te proposons l'expérience suivante, faite en deux temps, que tu devras réaliser en équipe de deux.

## **PREMIÈRE PARTIE**

Pour mettre en évidence la présence de bactéries, tu vasensemencer un milieu de culture contenu dans un vase de Pétri dont le tout a été préalablement stérilisé afin qu'il n'y ait aucune bactérie. Le milieu de culture est une gélose nutritive contenant une substance organique dans une gélatine.

[...]

Pour accélérer la croissance bactérienne, ton vase de Pétri sera placé à la température de 37°C. Les bactéries auront donc une croissance maximale à cette température.

Pendant ton expérience de prélèvement, le professeur ouvrira un vase de Pétri pendant 30 minutes sur sa table de travail. Juste à côté, un autre vase de Pétri restera fermé; étant stérile, il servira de témoin.

## **DEUXIÈME PARTIE**

Si des bactéries ont été prélevées et déposées sur la gélose, elles se sont multipliées au cours de la semaine puisque la nourriture incorporée à la gélose était abondante et que la compétition était faible. Elles forment à la surface de la gélose des colonies qui apparaissent sous la forme de taches. Ainsi sont apparues des colonies à chaque endroit où des bactéries avaient été déposées.

Il se peut que des colonies soient des taches lisses ou chevelues, rondes ou étalées, aux bords échancrés (bactéries mobiles). Des enchevêtrements de filaments peuvent être des Moisissures provenant de spores déposées sur la gélose.

[...]

## LES CYANOPHYTES

Les Cyanophytes sont des plantes procaryotiques dont l'aspect ressemble à des algues. Elles comptent environ 2000 espèces vivant pour la plupart dans la mer, les eaux douces et sur les sols humides. On les retrouve en eau courante, au voisinage des sources thermales ou dans les eaux froides. Certaines espèces sont extrêmement répandues, mais elles n'attirent pas notre attention à cause de leur très petite taille. Certaines espèces ont une association constante et obligatoire à bénéfique [sic] réciproque avec d'autres organismes. Par exemple, avec des Champignons pour constituer des Lichens, avec les racines de certaines plantes supérieures ou avec des Eponges [sic] marines dont les tissus sont envahis par des Cyanophytes.

En plus de leurs caractères primitifs (organisation cellulaire du type procaryote), les Cyanophytes ont une grande ancienneté géologique. En effet, les couches géologiques les plus anciennes, celles du Précambrien, renferment des fossiles qui appartiennent aux Cyanophytes.

Ces plantes procaryotiques jouent dans la nature un rôle extrêmement important car elles savent assimiler l'azote de l'air. C'est en grande partie à ces plantes ainsi qu'à des êtres encore plus primitifs, les Bactéries, que le sol se trouve pourvu de composés azotés nécessaires à la croissance des plantes supérieures. C'est qu'en particulier, l'azote entre dans le cycle de la matière vivante.

La majorité des Cyanophytes sont photosynthétiques par le fait qu'elles ont des chromoplastes feuilletés, ou en lames, et imprégnés de chlorophylle. Certaines sont chimio-autotrophes. Quelques espèces sont exceptionnellement hétérotrophes, ne vivant qu'en milieu organique.

## ÉTAPE 6.4 : LA DIVERSITÉ DES CYANOPHYTES

*Les Cyanophytes comprennent des espèces unicellulaires et d'autres coloniales massives ou filamenteuses. Nous observerons successivement **Anabæna**, **Oscillatoria**, **Stigonema** et **Glœocapsa** (Fig. 6.3).*

*Le genre **Anabæna** dont la teinte varie du brun au vert bleuâtre, se présente au microscope comme une masse gélatineuse composée de nombreux chapelets entrecroisés qui sont des filaments, appelés trichomes. Les trichomes sont formés de cellules arrondies, à contenu bleu-vert, avec çà et là des cellules plus grosse [sic], à parois épaissies, les hétérocystes. La masse de gelée origine des cellules des trichomes qui y sont inclus. Une gaine gélatineuse et mince enveloppent [sic] les trichomes.*

***Oscillatoria** est un genre terrestre, parfois aquatique, dont les individus forment des plaques d'un bleu-vert très sombre et composées d'une multitude de trichomes. L'observation microscopique fait voir des trichomes qui ne sont plus des chapelets mais des filaments cylindriques très longs et cloisonnés en cellules courtes, sans hétérocyste. À l'état frais, les filaments se déplacent en rampant. Cette reptation est un mécanisme lié à des contorsions hélicoïdales qui font que les extrémités du trichome oscillent constamment.*

*Le genre **Stigonema** se retrouve dans l'eau de mer ou dans les mares d'eau douce. Les individus sont filamenteux et dressés. Certaines espèces arrivent à structurer un axe qui se ramifie en filaments latéraux.*

*Le genre **Glœocapsa** apparaît en paquet gélifié fixé à un substrat ou flottant. Le massif est uniformément formé de cellules enveloppées dans une gaine de gélatine. La gélatine est formée par les cellules. Au microscope, on peut observer que chaque cellule est pourvue d'une gaine propre et bien distincte.*

*Pour chaque plante à observer au microscope, tu trouveras un pot contenant la plante (Anabaëna, Oscillatoria, Stigonema et Gloëocapsa) dans un liquide de préservation. Lorsque tu observeras la plante, rappelle-toi de son aspect macroscopique.*

(Tiré de *Biologie générale 301*, Montréal, Équipe Regain, Collège de Bois-de-Boulogne, fascicule 5, chapitre 16, 1989, p. 1-18)

## LA GÉNÉTIQUE

### INTRODUCTION

Ce chapitre va te montrer que les êtres vivants reçoivent de leurs parents un certain bagage qui régit leurs structures et leurs fonctions. Ce bagage, transmis avec régularité de génération en génération, est un programme inscrit dans la structure moléculaire des chromosomes qui se situent au sein du noyau de chacune des cellules. Plusieurs exemples peuvent démontrer que les deux parents transmettent à leurs descendants leurs principaux traits caractéristiques en fournissant la moitié de leur programme par l'intermédiaire des gamètes.

La capacité de transmettre les traits caractéristiques d'une génération à une autre s'appelle l'hérédité. La génétique est la science qui s'intéresse à la nature, aux mécanismes de fonctionnement et au mode de transmission de ces traits caractéristiques, à l'échelle de la cellule, de l'organisme pluricellulaire et des populations.

Les principales règles de transmission des caractères héréditaires ont été énoncées en 1865 par Gregor Mendel qui démontra que les caractères parentaux se retrouvent dans les générations des descendants suivant des proportions numériques fixes. Les résultats de ses expériences constituent ce que l'on appelle aujourd'hui les lois de Mendel. Le contexte des idées scientifiques à l'époque des expériences de Mendel n'a pas permis que celles-ci soient acceptées. Il faudra attendre une trentaine d'années pour qu'en 1900, à quelques mois d'intervalle, trois biologistes (De Vries, Correns et von Tschermak) redécouvrent les lois élémentaires de l'hérédité.

## **LES LOIS DE MENDEL**

Mendel fut le premier à appliquer de manière rationnelle la méthode des croisements. Il eut recours à des variétés de pois, différant entre elles par des caractères très marqués et faciles à repérer. Pour ses expériences, il sélectionne comme souches parentales des lignées pures. On désigne sous ce nom un groupe d'êtres morphologiquement semblables qui engendrent, en se reproduisant entre eux, des descendants toujours identiques aux parents.

### **1. L'uniformité des hybrides de la première génération filiale**

Mendel fit plusieurs croisements entre variétés de pois dont celui-ci : des plantes à tige longue croisées avec des plantes à tige naine. Le croisement est réalisé en prenant deux plantes dont l'une ne fournit que les gamètes femelles, l'autre que les gamètes mâles. La figure 16.1 illustre les organes reproducteurs des fleurs des deux individus impliqués et la façon d'assurer le croisement.

Les graines obtenues par le croisement entre individus de la génération des parents, ou P1 furent semées l'année suivante et donnèrent la première génération filiale, ou F1. Mendel constata que toutes les plantes de la génération filiale avaient des tiges géantes. On dit que la F1 est formée à 100% de plantes à tige géante.

Les individus de la première génération filiale sont appelés des hybrides car ils sont les descendants d'un croisement fait entre individus de deux lignées pures. Par opposition aux individus de lignée pure appelés homozygotes, les individus hybrides sont des hétérozygotes puisqu'ils ont reçu de leurs parents des bagages différents. Les hybrides de la première génération filiale de ce croisement sont tous semblables.

Mendel étudia six autres croisements entre des variétés de pois ne différant que par un seul caractère. Il observa que les résultats de chacun de ces croisements ont toujours donné des individus hybrides de F1 semblables.

## 2. Le principe de la ségrégation

Mendel fit l'autofécondation des individus de la F1 et mit en terre les graines obtenues des plantes de ce croisement. Ces graines produisirent la deuxième génération filiale, ou F2. L'observation de la deuxième génération filiale lui révéla que les deux facteurs impliqués dans le croisement se manifestent dans un rapport voisin de 3:1, 3 plantes à tige géante pour 1 plante à tige naine.

Interprétant ses résultats, Mendel parvint à dire que les plantes de la F1 doivent posséder un facteur déterminant le caractère de « tige naine » puisque ce facteur a dû passer par elles pour pouvoir agir et se manifester à la F2. De même, les plantes de la F1 doivent posséder un facteur déterminant le caractère de « tige géante » puisqu'elles possèdent le caractère correspondant et qu'elles l'ont transmis à certaines plantes de la F2. Il qualifia de dominant le facteur « tige géante » qui s'est manifesté en F1 et de récessif celui qui ne s'est pas manifesté « tige naine ».

Mendel supposa que le facteur déterminant de la tige naine et celui de la tige géante sont des facteurs héréditaires transmis par l'intermédiaire des gamètes puisque ceux-ci sont les seuls liens entre les générations. Il supposa aussi que les plantes de la F1 possédaient deux facteurs : l'un qui détermine le caractère tige géante; l'autre, le caractère tige naine.

Le facteur responsable du caractère dominant est représenté par une lettre majuscule et celui responsable du caractère récessif par une lettre minuscule. Ainsi, le facteur « tige géante » est représenté par G et le facteur « tige naine » par g. Les plantes de la F1 sont représentées par Gg. Il en est de même

pour les plantes de la P1 : les plantes à tige géante sont représentées par deux facteurs identiques, **GG**, et celles à tige naine par **gg** (Fig. 16.2).

Il conclut que les deux facteurs qui constituent une paire, se séparent au moment de la formation des gamètes afin que ces derniers ne contiennent qu'un facteur de la paire (Fig. 16.3).

### **LOI DE LA SÉGRÉGATION**

Les deux unités qui composent une paire de facteurs, à l'état homozygote (**GG** ou **gg**) ou à l'état hétérozygote (**Gg**), se séparent lors de la formation des gamètes, de sorte que tout gamète, mâle ou femelle, ne contient qu'une seule des deux unités qui forment une paire de facteurs.

### **3. La loi de la disjonction indépendante des facteurs**

Mendel utilisa d'abord des variétés [sic] de pois qui ne différaient que par un seul caractère. On parle alors de monohybridisme. Il utilisa aussi des croisements impliquant deux caractères. Il s'agit de dihybridisme.

Un croisement dihybride réalisé par Mendel se fit entre deux variétés de pois de lignées pures : l'une, à graines jaunes et lisses; l'autre, à graines vertes et ridées. La composition de la P1 est définie par des caractères (graines jaunes et lisses, graines vertes et ridées) qui se transmettent de génération en génération. La connaissance de la composition des hybrides de la F1 laisse supposer que ceux-ci sont prévisiblement tous identiques, ce qui fut confirmé par l'observation de plantes à graines jaunes et lisses. Il conclut que les facteurs « jaune » et « lisse » sont dominants alors que les facteurs « vert » et « ridé » sont récessifs.

Il assura l'autofécondation des individus de la F1, mit en terre les graines obtenues et obtint quatre groupes de plantes dans les proportions suivantes :

315 plantes à graines jaunes et lisses	101 plantes à graines jaunes et ridées
108 plantes à graines vertes et lisses	32 plantes à graines vertes et ridées

Si les facteurs « jaune » et lisse » avaient été liés, de même pour « vert et « ridé », c'est-à-dire se comportant comme un seul caractère, la F2 n'aurait permis d'observer que deux groupes de plantes : plantes à graines jaunes et lisses et plantes à graines vertes et ridées. Or, il apparaît également des plantes à graines jaunes et ridées et des plantes à graines vertes et lisses. Puisque le facteur « jaune » se retrouve avec le facteur « ridé » et que le facteur « vert » se retrouve avec le facteur « lisse » (fig. 16.4), Mendel conclut que la transmission des facteurs du caractère « couleur de graines » est indépendante de celle des facteurs du caractère « forme de graines ». Sur ces observations, il énonça sa deuxième loi.

### **LOI DE LA DISJONCTION INDÉPENDANTE**

Lorsqu'on étudie simultanément plus d'un caractère, les différentes paires de facteurs sont indépendantes les unes des autres, puisque les recombinaisons des facteurs dans les gamètes se font d'après les lois du hasard.

### **L'INTERPRÉTATION CYTOGÉNÉTIQUE**

Mendel croisa aussi une variété pure de pois à fleurs rouges avec une variété pure de pois à fleurs blanches. Il recueillit et sema les graines de ce croisement. À la maturité, les plantes hybrides n'ont produit que des fleurs rouges. Il conclut que le facteur « rouge » domine sur le facteur « blanc ». Une interprétation cytogénétique de ce croisement va permettre une terminologie nouvelle.

## 1. La notion de gène et d'allèle

En terme de génétique post-mendélienne et selon la théorie chromosomique de l'hérédité [sic], le caractère « coloration des fleurs » est un trait héréditaire représenté par deux facteurs héréditaires nommés gènes et localisés dans les chromosomes. Un gène est un [sic] unité fonctionnelle de matériel héréditaire. Il est responsable de l'apparition, du développement et de la transmission des caractères héréditaires. Plusieurs gènes sont disposés linéairement sur le chromosome et rangés selon un ordre précis. Les gènes responsables d'un trait héréditaire forment des paires tout comme les chromosomes qui les portent. Ces chromosomes, l'un d'origine paternelle et l'autre d'origine maternelle, sont de même longueur, ont leur centromère situé au même endroit et portent les gènes qui déterminent les mêmes caractères (Fig. 16.5). Ils sont des chromosomes homologues.

Un trait héréditaire, comme celui de la coloration des fleurs chez les pois, peut exister sous la forme rouge ou blanche. Les gènes gouvernant la couleur possèdent une information qui existe sous deux formes différentes : l'allèle « fleurs rouges » et l'allèle « fleurs blanches ». On appelle allèles les informations d'un couple de facteurs qui déterminent les deux aspects possibles d'un trait héréditaire donné.

Chaque gène porte un allèle et occupe sur le chromosome un emplacement défini appelé locus. Le locus d'un gène peut être occupé par l'un ou l'autre des allèles. Par exemple, pour la coloration des fleurs, un chromosome peut porter l'allèle « fleurs rouges » dans le locus du gène coloration des fleurs et son homologue peut porter, au même locus, soit l'allèle « fleurs rouges », soit l'allèle « fleurs blanches » (Fig. 16.5)

Les individus que Mendel choisit pour ses croisements, sont des individus homozygotes ayant les deux allèles « fleurs rouges » pour les uns et les deux allèles « fleurs blanches » pour les autres puisqu'ils sont de variétés pures. Par contre les individus hybrides de la F1 sont des individus hétérozygotes dont les chromosomes homologues ont l'allèle « fleurs rouges » et l'allèle « fleur branche » [sic] (Fig. 16.6) car il [sic]

ont reçu un allèle de chaque parent. À cause des hybrides de la F1, l'allèle « fleurs rouges » est un allèle dominant, d'où le R, et l'allèle « fleurs blanches » est un allèle récessif, d'où le r.

## 2. La notion de génotype et de phénotype

À cause de la dominance, on peut déterminer par un simple examen la composition génétique d'un individu ou son génotype. Le génotype est l'information génétique, le programme transmis d'une génération à l'autre. Le génotype correspond à l'ensemble des gènes soit à un ou quelques gènes particulièrement étudiés. Le génotype est représenté par deux allèles : les pois à fleurs rouges ont un génotype RR ou Rr, les pois à fleurs blanches ont un génotype rr (Fig. 16.6).

Par contre, la couleur de la fleur est l'expression de la composition génique : c'est le phénotype. Le phénotype fait référence à l'apparence de l'individu et s'applique aussi bien à des caractères physiologiques (la synthèse d'une protéine digestive) qu'à des caractères morphologiques (la coloration des fleurs). Il correspond à une manifestation résultant d'une réaction métabolique ou à un phénomène observable.

## 3. La prédiction des résultats d'un croisement

Il est possible de prédire les résultats d'un croisement si l'on ne connaît le génotype des parents, grâce à l'échiquier de Punnett. Pour construire un échiquier on place en colonne les allèles de chacun des gamètes d'un des parents et en rangée les allèles de chacun des gamètes de l'autre parent selon la figure 16.7. La combinaison des allèles obtenue par l'union des gamètes est affichée en remplissant les cases. Ces cases contenant chacune une combinaison d'allèles illustrent les génotypes possibles des individus de la génération filiale.

Considérons le croisement de plantes homozygotes à tige géante avec des plantes homozygotes à tige naine. L'échiquier de ce croisement ressemble à la figure 16.7.

La combinaison des allèles des gamètes montre qu'il n'y a que des individus au génotype Gg. Le phénotype de ces plantes est tige géante.

Considérons maintenant le croisement dihybride suivant fait entre individus de lignées pures.

Les hybrides de la F1 sont à 100% du génotype Jj,LI et du phénotype plantes à graines jaunes et lisses.

Si les individus de la F1 sont autofécondés, la construction de l'échiquier de Punnett permettra de connaître leur progéniture.

D'abord, établissons les gamètes des individus de la F1 en supposant la disjonction des facteurs :

- l'allèle J peut être joint à l'allèle L ou l      - l'allèle j peut être joint à l'allèle L ou l

	allèles			gamètes	
d'où	J	L	=	J,L	
	J	l	=	J,l	
et	j	L	=	j,L	
	j	l	=	j,l	

Les gamètes possibles des individus de la F1 sont :

J,L      J,l      j,L      j,l

Il y a seize génotypes dont neuf sont différents dans les proportions suivantes :

1 JJ,LL : 2 JJ,Ll : 2 Jj,LL : 4 Jj,Ll :  
 1 JJ,ll : 2 Jj,ll :  
 1 jj,LL : 2 jj,Ll :  
 1 jj,ll.

Nous observons quatre phénotypes dans les proportions suivantes :

9 plantes à graines jaunes et lisses  
3 plantes à graines vertes et lisses

3 plantes à graines jaunes et ridées  
1 plante à graines vertes et ridées

Le rapport génotypique est 1 : 2 : 2 : 4 : 1 : 2 : 1 : 2 : 1.

Le rapport phénotypique est 9 : 3 : 3 : 1.

Ces rapports proviennent du produit de deux rapports génotypiques monohybrides de la F<sub>2</sub> : (1:2:1) x (1:2:1) ou du produit de deux rapports phénotypiques monohybrides de la F<sub>2</sub> : (3:1) x (3:1).

Les résultats de la F<sub>2</sub> du croisement illustré à la figure 16.4 donnent un rapport phénotypique

315/32 : 101/32 : 108/32 : 32/32

ou

9,8 : 3,16 : 3,4 : 1

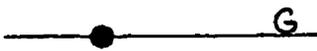
Ce rapport semble être près du rapport phénotypique théorique 9 : 3 : 3 : 1.

#### 4. La composition cytogénétique d'un individu

L'explication cytogénétique des croisements de Mendel s'appuie sur la structure des chromosomes dont l'existence était alors inconnue, pas plus qu'il ne connaissait la notion de la mitose et de la méiose.

Puisque les facteurs héréditaires sont localisés sur les chromosomes, la composition cytogénétique d'un croisement comme celui d'une plante à tige géante avec une plante à tige naine correspond à la figure 16.10.

Lors de la formation des gamètes, les individus parentaux (P1) ne produisent qu'un seul type de gamètes incluant un seul des deux facteurs ou allèles (loi de la ségrégation).

Gamète de la tige géante : 

Gamète de la tige naine : 

L'hybride de la F1 est obtenu par l'union d'un gamète G avec un gamète g, et a pour composition génotypique Gg (Fig. 16.11).

### CONCLUSION

Les croisements faits par Mendel ont toujours été des cas où les gènes responsables des caractères étudiés sont portés par des chromosomes différents. Le succès de Mendel est attribuable en partie au choix de son matériel expérimental : un certain nombre de variétés de pois, différant par des caractères visibles et dont les gènes sont toujours portés sur des chromosomes différents. Mais, sans enlever à son mérite de chercheur perspicace, Mendel eut la chance pour lui.

Sans vouloir étaler tous les cas particuliers, il serait intéressant de voir l'absence de dominance et la codominance qui font l'objet des deux encadrés suivants.

### ENCADRÉ 16.1 L'ABSENCE DE DOMINANCE

*Même si la dominance est un phénomène fréquent il faut penser qu'il y a des gènes dont les allèles présentent aucune dominance. Le muflier est une plante à fleurs rouges ou à fleurs blanches. Un croisement de ces plantes donne à la F1 des plantes à fleurs roses. Il y a absence de dominance car ni l'une ni l'autre des deux couleurs ne se manifeste. L'autofécondation des individus de la F1 révèle aussi qu'il n'y a pas de dominance car le rapport phénotypique n'est pas 3:1 mais 1:2:1, soit une plante à fleurs rouges pour deux plantes à fleurs roses pour une plante à fleurs blanches. La dominance de l'un des deux facteurs n'existe pas et le caractère produit est tout à fait différent sans être un caractère intermédiaire entre les deux parents.*

*La représentation graphique de ce croisement illustre que les mécanismes héréditaires impliqués sont les mêmes que dans un monohybridisme avec dominance.*

Posons	R pour l'allèle rouge		
	B pour l'allèle blanc.		
P1	RR	X	BB
gamètes	R		B
F1:		RB	
gamètes		R	B
F2		R	B
	R	RR	RB
	B	RB	BB

Rapport génotypique : 1 RR : 2 RB : 1 BB

**Rapport phénotypique :**

**1 plante à fleurs rouges :**

**2 plantes à fleurs roses :**

**1 plante à fleurs blanches.**

## ENCADRÉ 16.2 LA CODOMINANCE

*Il existe des cas montrant une dominance des deux allèles produisant ainsi chacun leur caractère. Il peut même y avoir plusieurs allèles qui affectent un même locus. Dans ces cas l'ensemble des différents allèles qui appartiennent à un même groupe, constitue une série d'allèles multiples. Un individu diploïde ne peut cependant avoir que deux allèles dans ces cellules somatiques.*

*Chez l'homme, les groupes sanguins du type ABO sont déterminés par une telle série formée de trois allèles :  $I^A$ ,  $I^B$ ,  $I^O$ .*

*Deux de ces allèles produisent des antigènes qu'on retrouve sur la membrane plasmique des globules rouges. Ces antigènes, appelés aussi agglutinogènes, sont des protéines spécifiques. Ces protéines sont susceptibles de provoquer des réactions d'agglutination avec le sérum d'un éventuel receveur qui contiendrait les anticorps correspondants, nommés agglutinines. Les agglutinines sont des protéines spécifiques de défense synthétisées par l'organisme vivant en réponse à la présence d'une protéine étrangère.*

*L'allèle  $I^A$  produit un antigène A; l'allèle  $I^B$  produit l'antigène B et l'allèle  $I^O$  ne produit pas d'antigène. Le tableau ci-dessous montre les antigènes et les phénotypes des différentes compositions génotypiques produites par les allèles des groupes sanguins ABO.*

<b>Génotypes</b>	<b>Antigènes</b>	<b>Phénotypes ou groupes sanguins</b>
$I^A I^A$	A	A
$I^A I^O$	A	A
$I^B I^B$	B	B
$I^B I^O$	B	B
$I^A I^B$	A et B	AB
$I^O I^O$	O	O

## BIBLIOGRAPHIE

- ARMS, Karen et Pamela S. CAMP. *Biologie*, tome 1, Montréal, Éditions Études Vivantes, (1<sup>re</sup> édition : 1987) 1989, 728 p.
- BASIRE, B. « Ironie et métalangage », *DRLAV*, 32, 1985, p. 129-150.
- BELISLE, Claire et Smaïl AIT EL HADJ (textes réunis par). *Vulgariser : un défi ou un mythe? La communication entre spécialistes et non-spécialistes*, Lyon, Éd. Chronique sociale, 1985, 163 p.
- BERGERON, Michel G. « Le sida : une épidémie comme les autres? », *Interface*, vol. 16, n° 3, mai-juin 1995, p. 30-39.
- BOLTANSKI, L. et P. MALDIDIER. *La vulgarisation scientifique et ses agents*, Paris, Centre de sociologie européenne, 1969, 165 p.
- BOLTANSKI, L. et P. MALDIDIER. « Carrière scientifique, morale scientifique et vulgarisation », *Information sur les sciences sociales*, IX, 3, 1970, p. 99-118.
- BOURQUIN, Guy. « L'humour de la langue, ou le double jeu de l'humour, du langage et du savoir », dans la revue *Humoresques*, Humour, science et langage (n° spécial), 1991, p. 35-46.
- CARO, Paul. *La vulgarisation scientifique est-elle possible?*, Nancy, Presses universitaires de Nancy, 1990, 45 p. (conférence prononcée dans le cadre du Cinquantenaire du C.N.R.C.)
- CARO, Paul. *La roue des sciences. Du savant à la société, les itinéraires de la connaissance*, Paris, Albin Michel, 1993, 236 p.
- CHARTRAND, Pierre. « La médecine des gènes », *Interface*, vol. 13, n° 2, mars-avril 1992, p. 12-15.
- CHUKWU, Uzoma et Philippe THOIRON. « Reformulation et repérage des termes », *La Banque des mots* (n° spécial), 1989, p. 23-50.
- CRÊTE, Jean et Louis-Marie IMBEAU. *Comprendre et communiquer la science*, Sainte-Foy, Presses de l'Université Laval, 1994, 232 p.
- DE VILLERS, Marie-Éva. *Multidictionnaire des difficultés de la langue française*, Coll. « Langue et culture », Montréal, Éditions Québec/Amérique, 1992, 1332 p.

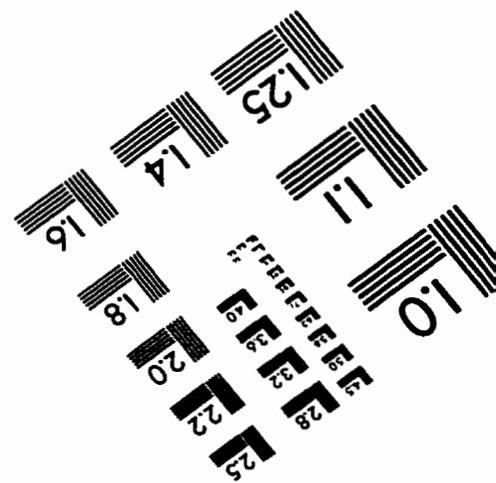
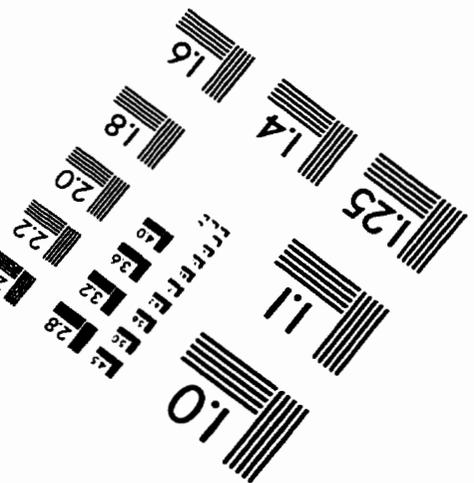
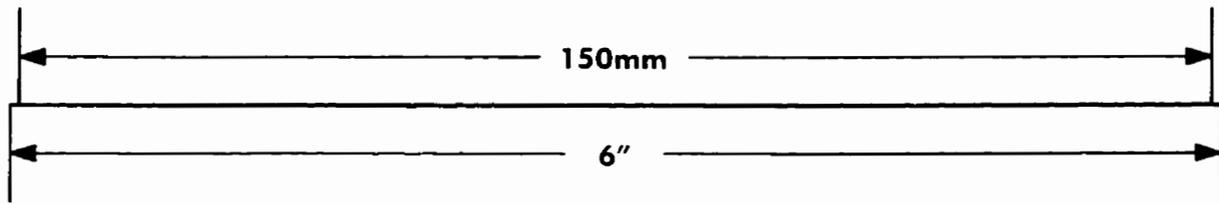
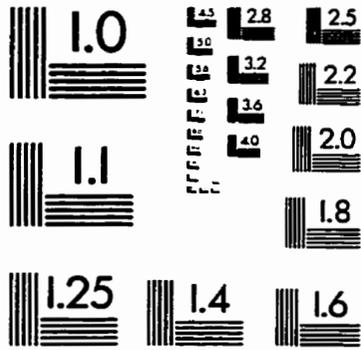
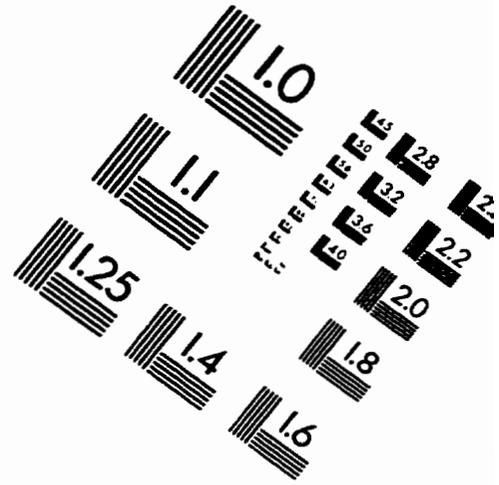
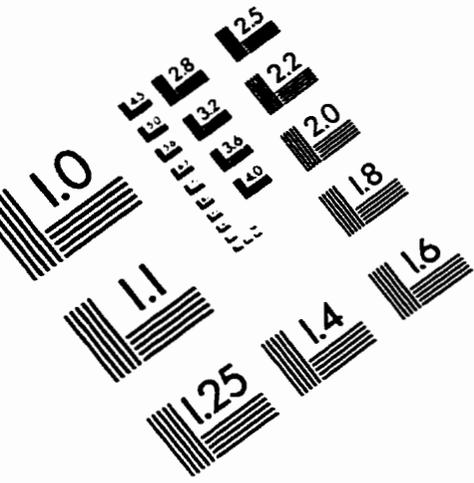
- DEMERS, Marthe. *La diffusion et l'enseignement des sciences à leur mieux*, Pierrefonds, Québec, Éditions Hélio, 1995, 166 p.
- DENIS, Christiane *et al.* « La cellule », chapitre 3, fascicule 1, *Biologie générale 301*, Montréal, Équipe Regain, Collège de Bois-de-Boulogne, 1989, p. 31-56.
- DENIS, Christiane *et al.* « Les Monères », chapitre 6, fascicule 2, *Biologie générale 301*, Montréal, Équipe Regain, Collège de Bois-de-Boulogne, 1989, p. 31-39.
- DENIS, Christiane *et al.* « La génétique », chapitre 16, fascicule 5, *Biologie générale 301*, Montréal, Équipe Regain, Collège de Bois-de-Boulogne, 1989, p. 1-18.
- FAYARD, Pierre. *La communication scientifique publique : de la vulgarisation à la médiatisation*, Coll. « L'essentiel », Lyon, Chronique sociale, 1988, 148 p.
- FLEURY, Jean-Marc. « Apoptose : le suicide des cellules enfin compris », *Québec Science*, vol. 34, n° 6, mars 1996, p. 35-39.
- FROST, H. *La Vulgarisation de la science, thème de recherche*, Conseil de l'Europe, doc. CCC/EES (Actes du colloque de Strasbourg), 1971, p. 105.
- GENTILHOMME, Yves. « Les lubrifiants didactiques », *Annales de l'Université de Besançon, Recherches en linguistique étrangère*, n° XIV, 1990, p. 25-29.
- GENTILHOMME, Yves. « Humour lexical dans les sciences : prospection liminaire », dans la revue *Humoresques*, Humour, science et langage (n° spécial), 1991, p. 13-34.
- GROULX, Michel. « Virus et bactéries : pourquoi ils nous menacent », *Québec Science*, vol. 34, n° 1, septembre 1995, p. 16-20.
- HESLOT, J. « Organisation textuelle de l'article scientifique primaire », dans *DISCOSS*, n°1, 1985, p. 45-52.
- JACOBI, Daniel. « Diffusion, vulgarisation et popularisation des connaissances scientifiques », *Éducation permanente*, 68, 1983, p. 109-126.
- JACOBI, Daniel. « Français technique et scientifique à re-formuler... », compte rendu d'une table ronde, dans la revue *Langue française*, Français technique et scientifique : reformulation enseignement, n° 64, décembre 1984, p. 5-16.
- JACOBI, Daniel. *Diffusion et vulgarisation : itinéraires du texte scientifique*, préface de Jean Peytard, Paris, Les Belles Lettres et Annales de l'Université de Besançon, 1986, 182 p.
- JACOBI, Daniel. *Textes et images de la vulgarisation scientifique*, Berne, Éditions Peter Lang SA, 1987, 172 p.

- JACOBI, Daniel. « Notes sur les structures narratives dans un document destiné à populariser une découverte scientifique », *Protée*, 16, n° 3, automne 1988, p. 107-117.
- JACOBI, Daniel et Bernard SCHIELE. *Vulgariser la science : le procès de l'ignorance*, Coll. « Milieux », Seyssel, Champ Valon, 1988, 284 p.
- JACOBI, Daniel. « Les séries superordonnées dans les discours de vulgarisation scientifique », dans la revue *Langages*, L'hyponymie et l'hyperonymie, n° 98, 1990, p. 103-114.
- JEANNERET, Yves. « Pensée métaphorique et vulgarisation scientifique », dans la revue *Communication et langages*, Le choc des mots, n° 93, 3<sup>e</sup> trimestre 1992, p. 99-113.
- JURDANT, Baudouin. « Vulgarisation scientifique et idéologie », *Communications*, 14, 1969, p. 150-161.
- JURDANT, Baudouin. *Vulgariser : trahir ou créer?*, Conseil de l'Europe, doc. CCC/EES (Rapport introductif au colloque de Strasbourg), 1969, p. 57.
- JURDANT, Baudouin. *Les Mécanismes textuels de la vulgarisation scientifique : du texte au mythe*, Conseil de l'Europe, doc. CCC/EES (Actes du colloque de Strasbourg), 1970, p. 75.
- KERBRAT-ORECCHIONI, C. *L'énonciation de la subjectivité dans le langage*, Paris, Éditions A. Colin, 1980, 290 p.
- KOREN, Roselyne. « Comique et linguistique pragmatique : "Quand dire, c'est faire"...rire. », dans la revue *Humoresques*, Humour, science et langage (n° spécial), 1991, p. 47-56.
- LAKOFF, Georges et Mark JOHNSON. *Les métaphores dans la vie quotidienne*, Paris, Éditions de Minuit, 1985, 254 p.
- LANDHEER, Ronald. « L'humour comme procédé argumentatif dans le discours scientifique », dans la revue *Humoresques*, Humour, science et langage (n° spécial), 1991, p. 57-68.
- LASZLO, Pierre. *La vulgarisation scientifique*, Coll. « Que sais-je? », 2722, Paris, Presses Universitaires de France, 1993, 128 p.
- LAURIAN, Anne-Marie. *Les discours scientifiques, étude de linguistique appliquée*, Paris, Didier-Érudition, 1983, 126 p.
- LEMIEUX, Raymond. « Comment le cerveau fabrique des images » et « On peut sauver des vues », *Québec Science*, vol. 34, n° 9, juin 1996, p. 69-73.

- LOFFLER-LAURIAN, Anne-Marie. « Typologie des discours scientifiques : deux approches », *Études de linguistique appliquée*, n° 51, 1983, p. 8-20.
- LOFFLER-LAURIAN, Anne-Marie. « Vulgarisation scientifique : formulation, reformulation, traduction », dans la revue *Langue française*, Français technique et scientifique : reformulation enseignement, n° 64, décembre 1984, p. 109-125.
- LÓPEZ BELTRÁN, Carlos. « Le vulgarisateur, un créateur », dans la revue *Problèmes politiques et sociaux*, La culture scientifique : enjeux et moyens, n° 634, 8 juin 1990, p. 22-24.
- MARCHAND, Mario. « Les réseaux de neurones », *Interface*, vol. 11, n° 6, novembre-décembre 1990, p. 10-19.
- MÉNARD, Nathan. « Mesure des relations lexico-sémantiques dans les textes scientifiques : problèmes méthodologiques », *Méta*, t. 34, n° 3 (Actes du colloque Les Terminologies spécialisées : approches quantitative et lexico-sémantique), 1989, p. 168-178.
- MORTUREUX, M.-F. « Linguistique et vulgarisation », *Information sur les Sciences sociales*, 24, 4, 1985, p. 825-845.
- MORTUREUX, M.-F. « La Vulgarisation scientifique : "métadiscours" ou "paraphrase"? », *DISCOSS*, n° 1, 1985, p. 133-142.
- MORTUREUX, Marie-Françoise. « La Terminologie scientifique est-elle un obstacle à la vulgarisation? », *Terminologie et technologies nouvelles : actes du colloque / organisé par l'Office de la langue française et Commissariat général de la langue française*, Québec, Office de la langue française, 1988, p. 123-136. (La Communication scientifique et technique).
- MORTUREUX, Marie-Françoise. « Vocabulaire scientifique et circulation du savoir », *Protée*, 16, n° 3, automne 1988, p. 99-105.
- OLBRECHTS-TYTECA, L. *Le comique du discours*, Bruxelles, Éditions de l'Université de Bruxelles, 1974, 433 p.
- OUELLET, Pierre. « La voix des faits : approche sémiotique du discours scientifique », *Protée*, 11, n° 3, p. 29-41.
- PÉTROFF, André Jean. « Sémiologie de la reformulation dans le discours scientifique et technique », dans la revue *Langue française*, Français technique et scientifique : reformulation enseignement, n° 64, décembre 1984, p. 53-67.
- ROQUEPLO, Philippe. *Le partage du savoir : science, culture, vulgarisation*, Coll. « Science ouverte », Paris, Éditions du Seuil, 1974, 258 p.

- SCHIELE, Bernard. « Les enjeux cachés de la vulgarisation scientifique », *Communication et information*, 5, n° 2-3, hiver-été 1983, p. 156-185.
- SOLOMON, Eldra Pearl et P. William DAVIS. *Anatomie et physiologie humaine*, Montréal, McGraw-Hill, (1<sup>re</sup> édition : 1978) 1981, 672 p.
- STAVINHOVA, Zdenka. « À propos de la mise en relief dans les textes de spécialité », *Études romanes de Bmo*, t. 18, 1987, p. 19-25.
- STAVINHOVA, Zdenka. « Les constructions participiales dans les textes de spécialité », *Études romanes de Bmo*, t. 14, n° 5, 1991, p. 65-70.
- THOIRON, Philippe et Henri BÉJOINT. « La place des reformulations dans les textes scientifiques », *Méta*, 36, n° 1, mars 1991, p. 101-110.
- TUKIA, Marc. « Observations sur le vocabulaire, sur les marques d'énonciateur et sur la construction dans le discours scientifique », dans la revue *Études de linguistique appliquée*, Les discours scientifiques, n° 51, 1983, p. 34-44.

# IMAGE EVALUATION TEST TARGET (QA-3)



**APPLIED IMAGE, Inc**  
1653 East Main Street  
Rochester, NY 14609 USA  
Phone: 716/482-0300  
Fax: 716/288-5989

© 1993, Applied Image, Inc., All Rights Reserved