République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de La Recherche Scientifique
Université Kasdi Merbah Ouargla

FACULTE DES SCIENCES ET SCIENCES DE L'INGENIEUR

DEPARTEMENT DES MATHEMATIQUES ET INFORMATIQUE

Mémoire

Présenté en vue d'obtenir le diplôme de

Magister en informatique

Spécialité : Informatique et Communication Electronique

Un serveur dédié à la recherche d'informations médicales basé sur le raisonnement à partir de cas

---

Présenté et soutenu publiquement le **25/05/2009** Par :

Mr **Mohamed Salim MEFLAH**

Devant le jury composé de : MM

ZIDANI Abdelmajid	Maitre de conférences (Université de Batna)	**Président de jury**
BILAMI Azeddine	Maitre de conférences (Université de Batna)	**Examinateur**
KAZAR Okba	Maitre de conférences (Université de Biskra)	**Examinateur**
BELATTAR Brahim	Maitre de conférences (Université de Batna)	**Rapporteur**

Remerciements

-Je tiens à remercier Monsieur Belattar Brahim, Maître de conférences à l'université de Batna de m'avoir fait l'honneur d'examiner ce mémoire et d'en être rapporteur. Je tiens à le remercier aussi pour la pertinence de ses remarques et sa patience pendant ce travail. J'admire beaucoup ces travaux et sa manière de diriger qui furent pour moi une grande source d'inspiration et de motivation. Il a su m'encourager lorsque je doutais et il m'a permis de travailler dans une ambiance scientifique exceptionnelle et je tiens à lui témoigner ma gratitude et ma reconnaissance.

-Je tiens à remercier Monsieur Herrouz Abdelahakim, Chef de département informatique de la faculté des sciences et sciences de l'ingénieur de l'université de Ouargla pour ces conseils. Je tiens à le remercier aussi pour les efforts considérables qu'il a fourni durant toute la période des études et aussi durant la phase de déroulement du mémoire.

- je tiens à exprimer mes respects et ma gratitude à Mr Zidani Abdelmajid, Maitre de conférences à l'université de Batna d'avoir accepter de présider le jury.

- J'adresse mes remerciements à Mr Azeddine Bilami Maître de conférences à l'Université de Batna, et Mr Kazar Okba Maître de conférences à l'Université de Biskra, qui m'ont fait l'honneur de juger ce travail.

-Je tiens à remercier mes collègues :Bellaouar slimane, Gasmi mounira, Khelili khalida, Mahjoub bachir pour les échanges d'informations et aussi la documentation, ainsi que leur présence et soutien moral durant toute la phase de déroulement du mémoire.

-Je tiens à remercier Monsieur Amghar A.Malek médecin spécialiste en radiodiagnostic de m'avoir reçu dans son centre d'imagerie médicale de Ouargla et de m'avoir apporté son aide dans le domaine médical choisi pour l'expérimentation de mon système.

-Je tiens à remercier Mme Daniel Christel Le Bozec Docteur d'état spécialité informatique médicale de l'université paris 6 pour son intérêt et aussi pour la documentation qu'elle m'a envoyé.

-Je tiens à remercier Monsieur Eric Zapletal, Docteur d'état spécialité informatique médicale de l'université paris 6 pour son intérêt et pour les échanges que j'ai eu avec lui.

-A toute personne qui a contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire.

Résumé

Nous étudions dans ce mémoire, les méthodes de recherche d'images dans le domaine médical. Nous nous basons pour cela sur le principe de la recherche d'images par le contenu (CBIR : Content Based Image Retrieval) et celui du raisonnement à partir de cas (Case Based Reasonning). L'application visée est l'aide au diagnostique dans le cadre médical : la base de cas est constituée des comptes rendu médicaux des patients contenant les images et les informations cliniques contextuelles à propos du patient. Notre objectif est de développer un service Internet permettant l'exploration d'une collection de cas médicaux illustré dans un domaine médical. Plus précisément notre système permet, à partir de la description de cas à résoudre, de retrouver dans la base le(s) cas le(s) plus similaire(s) et également de visualiser, par une navigation qui utilise des liens de similarités, les cas « proches » du cas répondant à la requête. A cet effet nous avons proposé une architecture fonctionnelle pour un système de RàPC nommé SRimCas ***, «Système de Recherche d'Images Médicales par Cas »****, comportant trois modules : le module de* ***gestion des connaissances*** *permettant la définition et la mise à jour des connaissances du domaine, le module de* ***description*** *gérant l'annotation des images et la structuration des informations associées, des cas et le module de* ***remémoration*** *permettant l'interrogation de la base de cas.*

Mots clés : *Recherche d'image médicale par le contenu, Raisonnement à partir de cas, similarité, base de cas.*

Abstract

*We study in this memory, the methods of images retrieval in the medical field. We base ourselves for that on the principle of CBIR: Content Based Retrieval Image and that of the CBR: Case Based Reasoning. The application concerned is the assistance with diagnostic within the medical framework: the base of case is consisted of the accounts made medical of the patients containing the contextual images and clinical information concerning the patient. Our objective is to develop a service Internet allowing the exploration of a collection of medical cases illustrated in a medical field. More precisely our system allows, starting from the description of case to be solved, to find in the base the case(s) more similar(s) and also to visualize, by a navigation which uses bonds of similarities, the "similar(s)" case(s) to the case answering the request. So we propose a functional architecture of CBR system called SRimCas "****System Retrieval for Medical Images by Case"*** *. It comprises three modules: the module of* ***knowledge management*** *allowing the definition and the update of knowledge of the field, the module of* ***description*** *managing the annotation of the images and the structuring of associated information, the cases and the module of* ***recollection*** *allowing the interrogation of the base of case*

Key words: *Medical Image Retrieval by content, Case Based Reasoning, similarity, case bases*

TABLES DES MATIERES

Tables des matières iii

Liste des figures vii

Liste des Tables viii

Introduction générale 9

1. **Introduction** 9
2. **Positionnement** 10
3. **Objectifs** 11
4. **Organisation du mémoire** 11

Chapitre 1: Généralités 12

1. **Définitions** 12
   - 1.1. **Opérations** 12
   - 1.2. **Caractéristiques visuelles de l'image** 12
     - 1.2.1. La couleur 13
     - 1.2.2. La texture 14
     - 1.2.3. Forme et segmentation 14
     - 1.2.4. Autres caractéristiques extraites de l'image 14
   - 1.3. **Compression** 15
   - 1.4. **Formats d'images** 15
     - 1.4.1. Format DICOM 16
   - 1.5. **Techniques d'Imagerie medicale** 17
2. **Les Systèmes de Recherche d'Informations (SRI)** 18
   - 2.1. **Introduction** 18
   - 2.2. **Architicture d'un SRI** 19
   - 2.3. **Spécifités de l'image** 21
3. **Les Systèmes de Recherche d'Images (SRIm)** 22
   - 3.1. **Modèle de recherche d'informations** 22
   - 3.2. **Composantes principales d'un SRIm** 24
     - 3.2.1. Indexation 24
     - 3.2.2. Interrogation 25
   - 3.3. **Particularités d'un système de recherche d'images sur le web** 26

Chapitre 2 : Systèmes de gestion d'images 28

1. **Introduction** 28
2. **Les Systèmes de Gestion de Base de Données Multimédia (SGBDMM)** 28
   - 2.1. **Indexation de l'image** 29
   - 2.2. **Définition de la similarité entre images** 30
   - 2.3. **Les SGBDMM médicaux** 30
     - 2.3.1. Description de région d'intérêt d'une série d'images 31

3. Les Systèmes de Gestion de Connaissances (SGC) 31
3.1. Introduction 31
3.2. Systèmes de gestion de connaissances 31
3.3. Systèmes à base de connaissances 31
3.4. Modélisation d'un domaine 32
3.4.1. Processus de Modélisation 32
3.4.2. Concepts et connaissances 33
3.4.3. Modèles semi-formels 33
3.4.4. Modèles formels « Des connaissances du domaine aux ontologies » 34
3.4.5. Méthodes de construction d'ontologies 35
3.4.5.1. Recueil des connaissances des experts 36
3.4.5.2. MéthOntology 36
3.4.5.3. Construction d'ontologies à partir de textes 36
3.4.5.4. Languages utilisés 37
3.5. Modèles du domaine en imagerie médicale 37
3.5.1. Langages médicaux pour l'interprétation des images 37
3.5.2. Les ontologies médicales 38

4. Les Systèmes de Raisonnement à Partir de Cas (RàPC) : un cas particulier de système à base de connaissance 38
4.1. Introduction 38
4.2. Définitions 39
4.3. Utilité du RàPC 39
4.4. Les concepts de base du RàPC 40
4.4.1. Qu'est-ce qu'un cas ? 41
4.4.2. Représentation des cas 42
4.4.2.1. Structure d'un cas 42
4.4.2.2. Modèles d'organisation des cas 42
4.4.3. Cycle de raisonnement du RàPC 47
4.5. Les mésures de similarités dans le cadre du RàPC 49
4.5.1. Evaluation de la similarité 50
4.5.2. Classification des mésures de similarité 51
4.5.2.1. Mesure de similarité propositionnelle 51
4.5.2.2. Mesure de similarité relationnelle 53
4.5.2.3. Mesure de similarité informée 54
4.5.3. Choix d'une mesure de similarité 54

Chapitre 3 : Etat de l'art des systèmes de recherche d'images dans le domaine médical 55

1. Introduction 55

2. Modèles de description d'images 55
2.1. Le contexte et le paradigme orienté contexte 56
2.1.1. Définition 56
2.1.2. Systèmes de recherche d'images par le biais du contexte : 57
2.1.3. Synthèse portant sur la description de l'image par le biais du contexte 58
2.1.4. Limites des systèmes de recherche d'images basés sur le contexte 59
2.2. Le contenu physique et le paradigme orienté-contenu 60
2.2.1. Définition 60
2.2.2. Fonctionnement général des systèmes CBIR 62
2.2.3. Méthodes de recherche d'images par le contenu 62
2.2.3.1. Méthodes d'interrogation par la couleur 63

2.2.3.2. Méthodes d'interrogation par la Texture 64
2.2.3.3. Méthodes d'interrogation par la forme et segmentation 64
2.2.3.4. Méthodes d'interrogation par l'aspect spatial 64
2.2.4. Les Systèmes CBIR généraux 64
2.2.5. Limites des systèmes de recherche d'images généraux 66
2.2.6. Systèmes de recherche d'images adaptés au domaine médical 66
2.2.6.1. Particularités de ces systèmes 67
2.2.6.2. Quelques systèmes 68
2.2.7. Limites de la description de l'image par ses caractéristiques physiques 69
2.2.8. Synthèse portant sur la description de l'image par ses caractéristiques physiques 70
2.3. Le contenu sémantique de l'image et le paradigme orienté sémantique 70
2.3.1. Méthodes de description du contenu sémantique de l'image 71
2.3.2. Systèmes de recherche d'images par le contenu sémantique 72
2.3.3. Synthèse portant sur la description de l'image par le contenu sémantique 73
2.3.4. Limites de la description par le contenu semantique de l'image 73

3. Tableau récapitulatif des paradigmes de description d'images 75

3. Les techniques raisonnement à partir de cas pour la recherche d'images médicales 76

4. Langages de recherche d'images 77
4.1. Langages textuels 78
4.1.1. Langages naturels 78
4.1.2. Structured Query Language(SQL) 79
4.2. Langages graphiques 80
4.2.1. Langages tabulaires 80
4.2.2. Langages à base de formulaire 81
4.2.3. Langages schématiques ou diagrammatiques 82
4.3. Langages visuels 82
4.3.1. Langages iconiques 83
4.3.2. Langages sketch 83
4.3.3. Langages pictoriels 84
4.4. Hypermédia 85

5. Conclusion 86

Chapitre 4 : Modélisation et conception : SrimCas Système de recherche d'images médicales par cas 88

1. Introduction 88

2. Méthodologie de conception 88

3. Modèles conceptuels du RàPC 89
3.1. Modèle de tâche de raisonnement 90

4. Les cas d'uitilisation de SRimCas 93

5. Diagramme de composants de SRimCAs 94

6. Architecture du système 94

7. Modélisation et conception du module de description 96
7.1. Introduction 96
7.2. Qu'est ce qu'un cas ? 96
7.3. Principe de Description du cas 97

7.4. Modèle d'un cas dans SRimCas 98
7.5. Diagramme de classe/objets du cas 99
4.1. Diagramme des cas d'utilisation du module description des cas 100

8. Modélisation et conception du module remémoration 100
8.1. Introduction 100
8.2. Principe de la remémoration 100
8.3. Modèle de la tâche « Remémorer » 101
8.4. Déploiement de SrimCas 103

Conclusion et perspectives 104

Bibliographie 107

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Différents types de précision 13
Figure 2 : Image initiale (256 niveaux de gris) et son histogramme de couleurs. 13
Figure 3 : Modèle utilisé pour le format DICOM [chebeir 2001]. 17
Figure 4 : Exemple d'échographie de foie 18
Figure 5 : Architecture d'un SRI 19
Figure 6 : Architecture générale d'un SRIm [Dioleti 2005] 23
Figure 7 : Principes d'un Système de Gestion de Base de Données Multimédia (SGBDMM) 29
Figure 8 : Le carré d'analogie 41
Figure 9 : Modèle d'organisation simple 43
Figure 10 : Modèle d'organisation à mémoire dynamique 44
Figure 11 : Modèle d'organisation à base de catégorie 46
Figure 12 : Cycle de raisonnement du Ràpc (cycle Adapté de Aamodt 94) 48
Figure 13 : Première interface proposée par I.S.I.S pour sélectionner des images 58
Figure 14 : Image d'un cerveau sur laquelle une procédure de détection des bords est exécutée 60
Figure 15 : Image d'un cerveau où une procédure de transformation binaire est exécutée. 61
Figure 16 : Image segmentée par région 61
Figure 17 : Architecture générale d'un système de recherche d'images par le contenu 62
Figure 18 : Exemple d'une description de radiolographie cérébrale par le contenu sémantique 71
Figure 19 : Exemple d'une radiographie cérébrale contenant une tumeur maligne dans le lobe gauche. 78
Figure 20: Exemple d'une requête tabulaire 80
Figure 21 : Exemple d'une requête formulée à laide d'un formulaire 81
Figure 22: Exemple d'une requête schématique 82
Figure 23: Exemple d'une interface iconique qui reprend la requête de la Figure 19 83
Figure 25: Exemple d'un langage Sketch qui traduit la requête de la Figure 19 84
Figure 26: Exemple d'une image à comparer aux images du corpus. 85
Figure 27: Navigation avec les systèmes hypermédias 85
Figure 28 : Modélisation conceptuelle d'un système de RàPC : les modèles de connaissances et les modèles des tâches du RàPC [Fuchs 2000] 90
Figure 29 : Modèle de spécification de la tâche principale « Raisonner à partir de cas » [Fuchs 2000]. 92
Figure 30 : Digramme des cas d'utilisation de SRimCas 93
Figure 31: Diagramme des composants de SRimCas 94
Figure 32 : Architecture du système SRimCas 95
Figure 33: Description d'un cas sous forme d'un ensemble de caractéristiques radiologiques(CRs) associées à des régions d'intérêt (organes) dans l'image. 96
Figure 34 : Modèle de tâche « Ajouter un cas » dans SRimCas 97
Figure 35 : Modèle de cas dans SRimCas 98
Figure 36 : Digramme de classe objet du cas 99
Figure 37: Cas d'utilisation pour la description des cas 100

LISTE DES TABLES

Tableau 1 : Mesures de similarité locales classiques pour comparer des attributs booléens. 51
Tableau 2 : Table de contingence pour des vecteurs de données booléennes 52
Tableau 3 : Mesures de similarités pour comparer des attributs booléens [Auriol 1995] 52
Tableau 4 : Mesures de similarités classiques globales selon [Auriol 95] 53
Tableau 5 : Différents type d'images et systèmes utilisant ces images [Müller 2007a] 68
Tableau 6: Tableau récapitulatif des paradigmes de description d'image [Chebeir 2001] 75

Introduction générale

1. INTRODUCTION

Ces dernières années ont témoigné une immense migration vers l'usage des services offerts par l'Internet. Cette migration se justifie par le développement très rapide de cette dernière et en particulier des services tels que la messagerie électronique, l'enseignement à distance, le commerce électronique, la vidéo conférence, la médecine à distance et la recherche d'informations.

La recherche d'informations demeure parmi les préoccupations majeures des internautes, et qui est d'une grande importance et ceci dans tout les domaines, le mot information tout seul est vaste et pour préciser, il ne se limite pas au texte seulement, comme clé de recherche mais aussi peut s'étendre à d'autres types de média tels que: l'image, le son, la vidéo…etc. L'usage de ces nouveaux médias en tant qu'information est devenu une nécessité dans plusieurs domaines notamment le domaine médical [Chebeir 2001]

Les images constituent une source d'information qui prend une part de plus en plus importante dans la démarche diagnostique en médecine. Les images numériques sont produites par des sources de plus en plus variées en radiologie (rayons X avec numériseurs de plaques, scanner, IRM, échographie), en médecine nucléaire, en radiologie interventionnelle, en endoscopie, en anatomie pathologique, en hématologie en dermatologie, etc. Par ailleurs, l'arrivée à maturité des systèmes d'archivage et de communication des images et leur intégration aux systèmes d'information hospitaliers dépositaires des informations cliniques, éducatives et de recherche associées à ces images constituent autant d'arguments incitant à développer des recherches pour l'exploitation de ces données spécifiques, volumineuses et géographiquement distribuées [Dayhoff 1999], [Tagare 1997]. Dans un avenir proche, les hôpitaux vont disposer de ressources multimédia qu'il faudra savoir exploiter dans le cadre de la pratique médicale quotidienne et de la formation [Dayhoff 1991].

En imagerie médicale, le diagnostique est fondé sur l'analyse subjective d'images et la connaissance d'un expert associé constitue une partie non négligeable du savoir empirique de la discipline. La volonté de ne pas perdre ce savoir empirique a initié la constitution de larges banques d'images médicales illustrant la mémoire des experts du domaine [Le Bozec 2001]. Ces banques d'images médicales constituées depuis plus de 10 ans par les pathologistes sont bien souvent des « cimetières » d'images inexploitables dans la pratique médicale car les images sont uniquement indexées par les données médicales associées (âge du patient, localisation anatomique, lieu d'hospitalisation, etc.) voire au mieux par le diagnostic. Actuellement, l'absence de possibilités de recherche élaborée notamment par la description du contenu des images rend les banques d'images médicales peu adaptées à l'utilisation dans le cadre de la démarche diagnostique quotidienne.

L'impact positif sur la pratique médicale quotidienne de l'accès aux images numériques dépend non seulement de la qualité intrinsèque des informations par rapport au domaine considéré (images et renseignements associés) mais également de l'adéquation des procédures de recherche de ces informations, notamment la pertinence et l'ergonomie de la procédure permettant d'accéder à cette information multimédia.

2. POSITIONNEMENT

Les professionnels de santé utilisent de plus en plus Internet pour rechercher des informations médicales dans le cadre de leur pratique quotidienne ou de leur formation, de nombreuses recherches ont été menées pour concevoir des systèmes de navigation et de gestion de requêtes sur Internet pour la recherche d'images médicales prototypiques. La qualité d'une **base de connaissance** provient bien entendu de la qualité intrinsèque des informations qu'elle contient mais également de l'adéquation de ces procédures de recherche de ces informations. D'un point de vue pratique, les options techniques envisagées pour l'accès aux images médicales sur Internet sont multiples. Le plus souvent, le processus de recherche est généré à partir de page HTML (Hyper Text Markup Language) par le biais d'une interface spéciale (CGI Commun Gatway Interface). Malgré tout, l'utilisation d'outils web pour formuler des requêtes à des bases de données cliniques est limitée par le manque d'outils d'interrogation suffisamment puissants. Elle nécessite également, pour chaque source d'information, un apprentissage du schéma de la **base de données** et du **langage d'interrogation**. Certaines méthodes de génie logiciel et d'intelligence artificielle peuvent être envisagées afin d'améliorer les stratégies d'interrogation et de navigation.

Le raisonnement à partir de cas (RàPC) est une de ces approches possibles. Le RàPC résout de nouveaux problèmes en adaptant des solutions utilisées lors de la résolution d'anciens problèmes. L'utilisation de cette méthode est intéressante pour retrouver de l'information lorsque la connaissance du domaine est en grande partie présente dans la mémoire des situations précédemment observées et résolues. Dans le domaine médical, c'est particulièrement vrai pour les spécialises manipulant essentiellement des images.

3. OBJECTIFS

L'objectif de ce travail est de proposer une architecture fonctionnelle d'un service Internet permettant l'exploration d'une collection de cas médicaux illustré dans un domaine médical. Notre souci est de garantir la qualité de données retrouvées mais également la pertinence du processus de recherche lors d'une utilisation courante. Plus précisément le serveur doit permettre, à partir de la description de cas à résoudre, de retrouver dans la base le(s) cas le(s) plus similaire(s) et également de visualiser, par une navigation qui utilise des liens de similarités, les cas « proches » du cas répondant à la requête. Notre hypothèse principale est que l'approche RàPC enrichit à la fois les procédures d'interrogation et de navigation contribuant ainsi à rendre l'expérience médicale via Internet plus utile à la pratique quotidienne.

4. ORGANISATION DU MEMOIRE

Nous traitons le sujet de la manière suivante, Après une introduction générale où on introduit notre thème de recherche ainsi que les objectifs de notre travail, le **chapitre 1** présente des généralités sur l'image et un aperçu sur les techniques d'imagerie médicale, en suite le problème de la recherche d'information textuelle et image a été abordé. Le **chapitre 2** présente les systèmes de gestion d'image tels les SGBD multimédia et les systèmes à base de connaissance (SBC) et une description détaillée des systèmes de raisonnement à partir de cas (RàPC). Le **chapitre 3** présente l'état de l'art des systèmes de recherche d'images d'une façon générale et les images médicales en particulier, les différentes approches de représentation des images ainsi que les différents langages de recherche d'images ont été présentés. Le **chapitre 4** constitue notre proposition, après une description des modèles conceptuels du RàPC, l'architecture ainsi que les différentes fonctionnalités du système ont été présenté, le chapitre 4 présente aussi les modules description et remémoration des cas de notre système RàPC. Enfin, dans la **conclusion générale** une présentation du bilan de notre travail ainsi que les perspectives futures de notre système.

Chapitre 1

Généralités

1. DEFINITIONS

Une image représente l'apparence visible d'une partie du monde réel à travers les arts graphiques ou plastiques, la photographie, le film, etc. Pour qu'une image puisse être traitée en informatique, elle doit [Chebeir 2001] :

1- soit être produite par l'ordinateur (graphique, image de synthèse, etc.),

2- soit subir une *«numérisation »,* en d'autres termes, elle doit être transformée en pixels (points sur écran ou Picture Element).

1.1. OPERATIONS

On peut effectuer deux catégories d'opérations sur une image [Chebeir 01] :

- Les opérations qui traitent les pixels en tant qu'information: reconnaissance des formes, décalage (shifting) qui permettent de voir une ou plusieurs sections d'une image, rotation, loupe ou zooming (vertical, horizontal et diagonal), masking (masquage de certaines régions selon certains critères), superposition et juxtaposition, transformation de couleur, projection, fusion, histogramme, etc.

- Les opérations qui concernent la signification d'un ensemble de pixels dans une image: **description, indexation et recherche d'images.**

1.2. CARACTERISTIQUES VISUELLES DE L'IMAGE

Dans la section ci-dessus, nous citons quelques propriétés pouvant caractériser l'image à savoir :

- Couleur
- Texture
- Segmentation et forme

1.2.1. La couleur

La couleur est l'un des attributs les plus couramment employé pour caractériser l'image, l'intérêt principal de l'attribut couleur est d'être indépendant de la taille de l'image et de son orientation[Le Roux 2004]. Selon la couleur on peut distinguer [Chebeir 2001]:

- L'image en noir et blanc : est une matrice de pixels dont la précision est limitée à (éteint) ou 1 (allumé). Chaque pixel dans une image en noir et blanc (bi-niveau) tient sur un bit (2 1 = 2 couleurs).
- L'image en niveaux de gris : à une définition de pixels qui dépend de sa brillance (en général, 256 niveaux de gris). Chaque pixel tient sur 8 bits (2^8 =256 niveaux de gris).
- L'image en 256 variétés de couleur : chaque pixel est défini par un triplet de couleurs (Rouge, Vert, Bleu). Chaque couleur est codée sur 8 bits (2^8 = 256 couleurs).
- L'image en 16 millions de couleurs (couleur vraie) : chaque pixel est représenté par une couleur définie par un triplet (Rouge, Vert, Bleu) dans lequel chaque couleur est codée sur 24 bits ($2^8 * 2^8 * 2^8 = 2^{24}$ =16 millions de couleurs).

La Figure représente la même image avec quatre niveaux de précision.

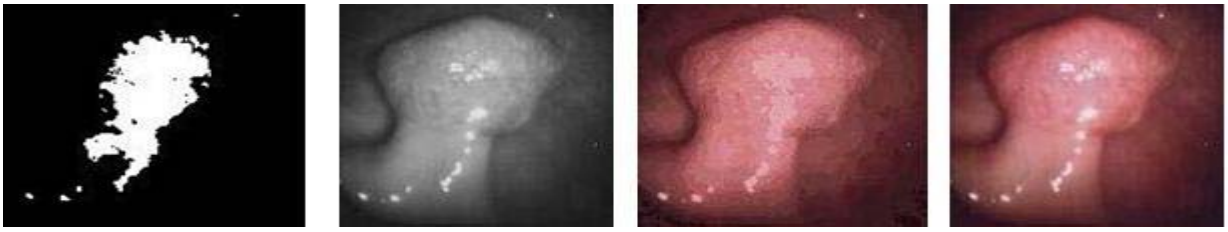

Figure 1 : ***Différents types de précision***

La représentation de cet attribut se fait le plus souvent sous forme d'histogramme[Le Roux 2004] :

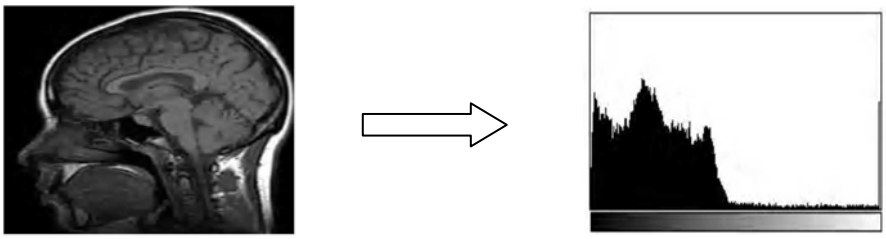

Image initiale histogramme de couleur

***Figure* 2 : *Image initiale* (*256 niveaux de gris*) *et son histogramme de couleurs*.**

1.2.2. La texture

De nombreuses définitions ont été proposées, mais aucune ne convient parfaitement aux différents types de textures rencontrées. La texture est présentée comme une structure disposant de certaines propriétés spatiales homogènes et invariantes par translation. Cette définition stipule que la texture donne la même impression à l'observateur quelle que soit la position spatiale de la fenêtre à travers laquelle il observe cette texture [Bissol 2005] .

Dans [Le Roux 2004] la texture est modélisée comme :

"Une structure spatiale constituée de l'organisation de primitives ayant chacune un aspect aléatoire.". Elle est aussi définit comme :

"La structure détaillée d'une image, trop fine pour être analysée entièrement, cependant assez grossière pour induire une fluctuation notable des niveaux de gris de pixels voisins " [Le Roux 2004].

1.2.3. Forme et segmentation

Au même titre que la texture, les attributs de forme sont souvent complémentaires à la description de couleur. Les attributs de forme sont utilisés pour caractériser les objets dans les images. On distingue deux catégories de descripteurs de formes : les descripteurs basés régions et les descripteurs basés frontières. Les premiers sont utilisés pour caractériser l'intégralité de la forme d'une région. Ces attributs sont robustes aux transformations géométriques comme la translation, la rotation et le changement d'échelle. Les seconds portent sur la caractérisation des contours de la forme.

En imagerie, la segmentation d'image est la division d'une image en zones homogènes afin de séparer les divers composants visibles et de les identifier. Les pixels sont ainsi regroupés en régions, qui constituent un pavage ou une partition de l'image[Le Roux 2004].

1.2.4. Autres caractéristiques extraites de l'image

Les caractéristiques décrites précédemment sont les plus communément utilisées pour la description des images. D'autres caractéristiques physiques peuvent être trouvées en apportant des précisions ou en permettant de représenter l'information d'une autre manière. À partir des objets décrits, des relations inter-objets sont susceptibles d'être obtenues. Les relations spatiales sont les plus couramment étudiées. Trois catégories ont été identifiées [Le Roux 2004]:

– les relations topologiques concernent les intersections entre les objets ;

– les relations de distance représentent l'éloignement des objets les uns des autres ;

– les relations de direction permettent de positionner les objets les uns par rapport aux autres.

1.3.COMPRESSION

Dans certains domaines d'application, la taille des images représente un vrai souci de stockage. D'après Honeyman [Honeyman 1996], une radiographie pulmonaire nécessite environ 8 Mo d'espace disque, un scanner : *50* Mo, et une IRM : *25* Mo. Les techniques de compression sont utilisées pour stocker les images à un coût raisonnable ou pour transférer des images avec un débit acceptable dans différentes applications (télévision, images de satellites, données géographiques, Internet, etc.).

En médecine, la compression des images est un domaine récent. Les médecins ne la préconisent pas pour la simple raison suivante : éviter toute perte d'information. Le challenge dans le domaine médical est de trouver des algorithmes très performants capables d'assurer la [Chebeir 2001]:

•Préservation des informations du diagnostic afin d'éviter toute perte d'informations

•Compression maximale

•Compression et décompression rapides nécessaires pour l'archivage et la transmission (sur un réseau).

1.4.FORMATS D'IMAGES

Le format d'image est la structure utilisée pour représenter une image. Il existe de nombreux formats d'images. Nous citons les formats : BMP (Bitmap), GIF, JPEG, MPEG-7…etc.

Dans le domaine médical, plusieurs formats existent également: ACR/NEMA (American College of Radiologists and the National Electical Manufacturers Association), SPI (Standard Product Interconnect), DICOM (Digital Imaging and Communications In Medecine), etc. Nous nous intéressons à DICOM en particulier parce qu'il représente le format standard [Chebeir 2001], [Cea 2008],[Encarta 2008],[Dicom 2008],[Dicom 2008a]:

1.4.1. Format DICOM

DICOM (**D**igital **I**maging and **Co**mmunications in **M**edicine) est le nom d'une norme utilisée pour enregistrer les images médicales sur support numérique. C'est la "National Electrical Manufacturers Association" (NEMA) associée à l'American College of Radiology (ACR) qui l'ont créée en 1985 pour faciliter les communications et les transferts d'images entre les machines de différents constructeurs qui, auparavant, proposaient des formats d'image "propriétaires", difficilement lisibles sur d'autres machines que les leurs, ceci entrainent d'importants problèmes de maintenance (incompatibilités, coût, perte d'information) dans les établissements de santé.

Cette norme est maintenant utilisée par la plupart des fabricants de matériel d'imagerie médicale. Elle représente un progrès réel car elle permet de prédire la possibilité d'interconnection des appareils à partir d'un **Document de Conformité** ou " Conformance Statement " émis pour chacune des machines respectant cette norme.

Ainsi la norme permet aux équipements de communiquer localement, à distance ou à travers d'un média en assurant la compatibilité des équipements et en éliminant les formats propriétaires. Le but est d'obtenir les images du patient ainsi que toutes les informations associées dans un format identique permettant l'interconnection et l'interaction («interoperability») des équipements et le transfert des données. [Encarta 2008]
DICOM est composé principalement de 4 niveaux d'informations (figure 3) : [Chebeir 2001]

- **Niveau patient:** contient les informations générales concernant un patient comme son nom, sa date de naissance, son sexe, etc. Chaque patient peut avoir plusieurs études médicales.
- **Niveau Etude:** contient les données administratives comme la date d'acquisition, le nom du radiologue, etc. Il est composé d'un ensemble de séries.
- **Niveau série:** considère l'ensemble des examens médicaux passés pour la même modalité. Il est composé de plusieurs images (Scanner, IRM, etc.).
- **Niveau Image:** contient les attributs d'acquisition, l'identifiant de l'image, son type, etc.

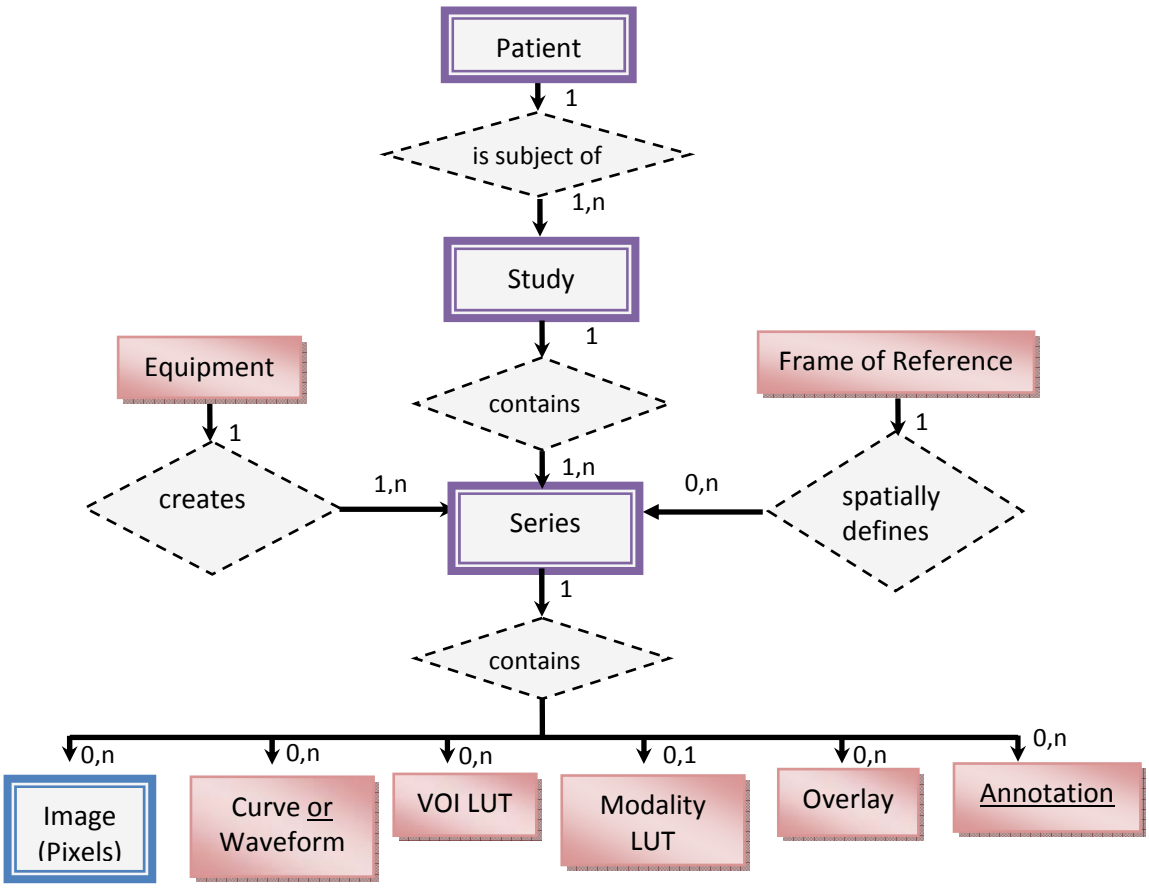

Figure 3 : Modèle utilisé pour le format DICOM [chebeir 2001].

1.5.TECHNIQUES D'IMAGERIE MEDICALE

L'imagerie médicale est une méthode unique permettant de visualiser des processus biologiques au sein même des organismes vivants, de manière non invasive. Elle est essentielle à la compréhension de leur physiologie et de leurs pathologies afin de mieux les diagnostiquer, les pronostiquer et les soigner. L'imagerie constitue donc un outil d'investigation de choix de plusieurs champs de la médecine et de la biologie [Cea 2008]. Elle permet d'obtenir des images à partir de différents types de rayonnements (lumière lisible, infrarouge, ultrasons, rayon X, etc.)

Les techniques de l'imagerie médicale sont nombreuses et permettent d'obtenir des images en 2D, 2,5D (ou séries de coupes) et 3D. Nous citons, par exemple la radiographie, l'IRM, la tomodensitométrie, l'échographie, l'angiographie, la tomographie, l'arthrographie, la sacco-radiculographie, la cholécystographie orale, la cholangio-pancréatographie, la cholangiographie, la mammographie, l'hystéro-salpingographie, la bronchographie, l'urographie intraveineuse, la

radioscopie, l'artériographie, la scintigraphie, le doppler, etc. Nous nous limitons à l'échographie qui rentre dans le cadre de notre étude [chebeir 2001]:

- **L'échographie** : utilise un faisceau d'ondes ultrasonores, d'une fréquence adaptée *(2,5* à 10 Mhz), qui sera plus ou moins réfléchi selon les structures organiques rencontrées. On déplace une sonde sur la région à examiner après avoir appliqué sur la peau un gel qui permet de supprimer la présence d'air (l'air empêche la transmission des ultrasons) entre la sonde et la peau. Cette technique produit généralement des images en 2D.

Figure 4 : Exemple d'échographie de foie

2. LES SYSTEMES DE RECHERCHE D'INFORMATIONS (SRI)

2.1. INTRODUCTION

La recherche d'information (Information Retrieval) est le champ du domaine informatique qui s'occupe de **<u>la représentation, du stockage, de l'organisation et de l'accès aux informations</u>** [Dioleti 2005] **.**Un système de recherche d'informations (SRI) a pour objectif de satisfaire les besoins d'informations d'un utilisateur et son rôle principal est de sélectionner les documents les plus pertinents pour l'utilisateur par rapport à ces besoins. La définition d'un SRI est donc centrée sur la notion de pertinence c'est-à-dire l'adéquation entre le contenu effectif des documents et l'information recherchée par un utilisateur [Bissol 2005].

Avec l'avènement des nouveaux médias et du WEB en particulier le concept de document s'est modifié. Des images, des sons et des vidéos ont été incorporés. La prise en compte de ces nouveaux médias nécessite une réadaptation des méthodes utilisées dans les SRI textuels classiques [Chebeir 2001].

2.2.ARCHITICTURE D'UN SRI

La figure 5 décrit l'architecture générale d'un SRI ; elle présente les éléments principaux mis en jeu dans un SRI. Un utilisateur interagit avec un SRI en représentant son besoin d'information sous forme d'une requête. Ensuite, le système effectue une recherche dans une base de documents. Les documents retrouvés sont ceux qui ont été jugés pertinents par le système (pertinence système).

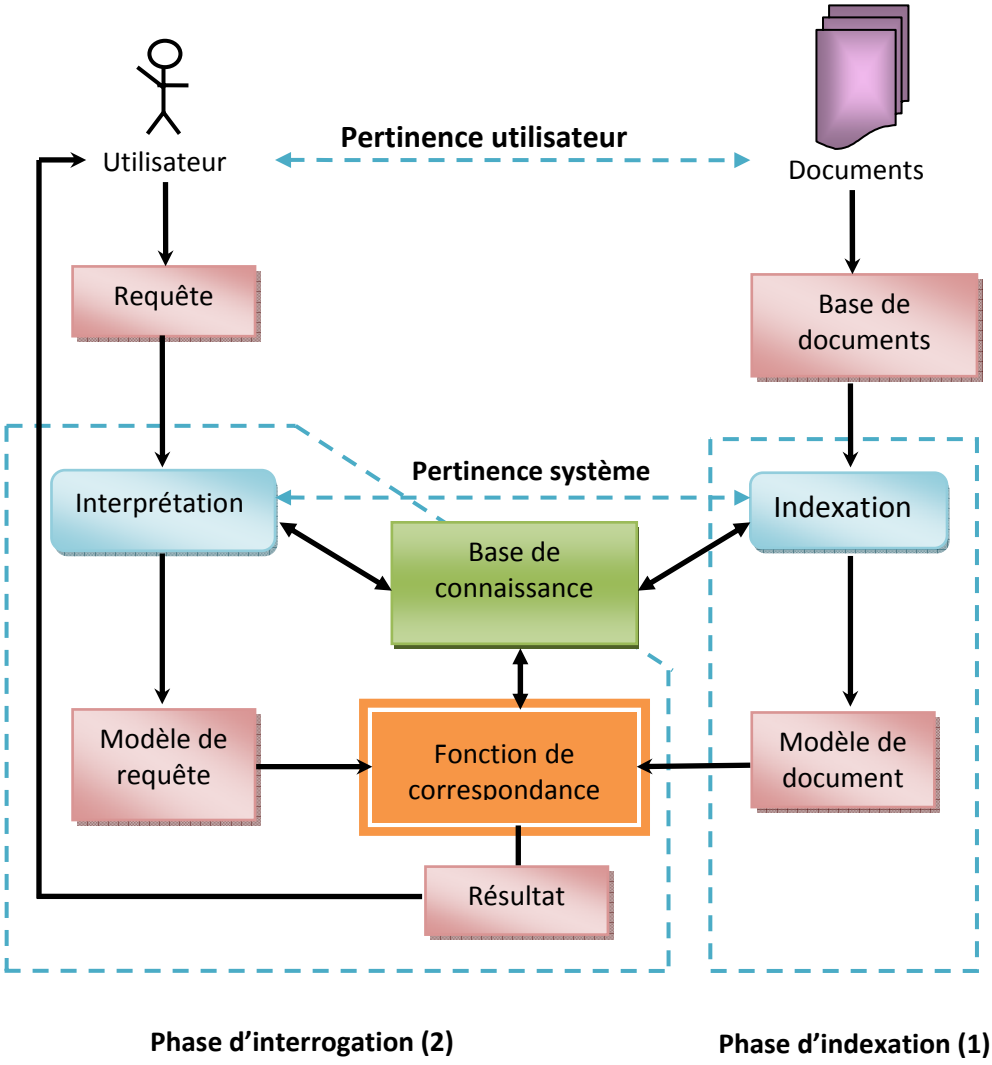

Figure 5 : Architecture d'un SRI

D'autre part, la satisfaction de l'utilisateur est fortement liée à la correspondance entre la pertinence système et la pertinence utilisateur qui est son jugement de pertinence sur le document retrouvé. On distingue classiquement la **pertinence utilisateur**, qui est le jugement apporté par l'utilisateur sur le document, en fonction de son besoin d'information, et la

pertinence système, qui correspond à la valeur de correspondance entre le document et la requête, calculée par le SRI.

La satisfaction de l'utilisateur est liée à la correspondance entre ces deux pertinences [Martinet 2004].

La figure 5 met également en évidence les deux phases de mise en œuvre d'un SRI, qui sont l'indexation et l'interrogation [Martinet 2004]:

- **L'indexation** consiste à extraire et à représenter sous la forme d'un index électronique directement manipulable par le système le **contenu sémantique des documents**. On appelle contenu sémantique du document une représentation du sens associé au contenu brut du document (selon le modèle de requête), qui correspond lui-même au niveau *signal* (c'est-à-dire la simple séquence des chaînes de caractères d'un texte ou la matrice de pixels d'une image).
- **L'interrogation** est l'interaction d'un utilisateur final avec le SRI, une fois le contenu sémantique des documents représenté de manière interne sous forme d'index. L'utilisateur exprime son besoin d'information sous la forme d'une requête, qui est interprétée selon le modèle de requête, et le système évalue la pertinence des documents par rapport à cette requête par l'intermédiaire de la fonction de correspondance (et éventuellement d'une base de connaissances). La réponse à ce besoin est la liste des documents qui obtiennent une valeur de correspondance élevée. Cette liste est généralement triée par ordre de valeur de correspondance décroissante – c'est-à-dire du plus pertinent au moins pertinent – et présentée à l'utilisateur.

- **Fonction (modèle) de correspondance :** Elle se charge de faire la comparaison requête/corpus. Il existe une certaine ambiguïté, issue du manque de précision, de l'incertitude dans la description du contenu du document ou de la requête, ou de l'équivalence partielle entre la requête et le document. Néanmoins, la fonction de correspondance doit tenir compte de cette ambiguïté et utiliser une comparaison non stricte entre requête et corpus. Un des rôles essentiels souvent assigné à la fonction de correspondance est d'évaluer la pertinence requête/corpus, et de permettre ainsi une classification des réponses obtenues pour chaque requête par ordre de pertinence décroissante (de la plus pertinente à la moins pertinente). [Chebeir 2001]

- **Thesaurus** : Pour rendre les SRI plus puissants, l'existence d'un autre module qu'on appelle souvent *thesaurus* devient capitale. Il s'agit de mettre en place un dictionnaire qui regroupe, d'une part, les concepts de base (mots-clés) et, d'autre part, un ensemble de relations sémantiques (équivalence, association, hiérarchie, etc.). Le thésaurus a pour vocation de **normaliser la** description durant la phase d'indexation. Il permet une indexation plus contrôlée, et une interrogation beaucoup plus efficace par reformulation des requêtes en augmentant ou en restreignant les mots-clés. Toutefois, la constitution d'un thesaurus nécessite un travail *manuel* préalable. En effet, seul un expert du domaine d'application est capable d'établir la définition de cette base et de ses termes, ce qui représente un travail souvent important. [Chebeir 2001]

2.3.SPECIFITES DE L'IMAGE

Les modèles de RI les plus répandus sont destinés à la recherche d'information textuelle ; l'application de la RI aux images demande une attention particulière dans la définition de la représentation interne au système du contenu des images et du besoin d'information des utilisateurs [Martinet 2004].

Lorsque l'on s'intéresse au média image, la définition du modèle de représentation de document pose davantage de problèmes que pour le texte, car la sémantique n'est pas intrinsèquement exprimée dans les pixels des images. Le domaine de la Recherche d'Image (RIm) doit donc faire face à une caractéristique importante des images qui est le manque d'un langage de représentation explicite permettant d'en exprimer la sémantique. Cet écart entre les pixels et leur signification est appelé le **fossé sémantique**. Dans [Martinet 2004], ce fossé sémantique est décrit de la manière suivante :

"Le fossé sémantique est le manque de concordance entre l'information que l'on peut extraire des données visuelles et l'interprétation des mêmes données qu'en fait un utilisateur dans une situation donnée."

Ce fossé sépare donc le niveau d'abstraction auquel un utilisateur exprime son besoin d'information à travers une requête d'une part, et le niveau d'abstraction auquel de l'information peut être automatiquement extraite d'une image d'autre part.

3. LES SYSTEMES DE RECHERCHE D'IMAGES (SRIM)

La problématique de la Recherche d'Images (RIm) découle directement de celle de la RI. Il s'agit de retrouver des images pertinentes pour satisfaire les besoins d'un utilisateur. De manière analogue à un SRI textuel, un SRIm est modélisé par un modèle de représentation des documents, un modèle de requêtes, un modèle de connaissance le cas échéant, et un modèle de correspondance.

3.1. MODELE DE RECHERCHE D'INFORMATIONS

Un système de recherche d'informations (figure 6) est une instance d'un modèle de recherche d'information. Un modèle de recherche d'information est composé de quatre éléments : un modèle de document, un modèle de requêtes, une fonction de correspondance et un modèle de connaissances [Martinet 2004]. Dans le cas particulier des systèmes de recherche d'images le document est en fait l'image et le but est de définir un modèle pour l'indexation et la recherche d'images. Donc le modèle d'un système de recherche d'images consiste en un modèle de représentation d'images, un modèle des requêtes, une fonction de correspondance et un modèle de connaissances [Dioleti 2005] :

Le **modèle de représentation d'images** est aussi appelé langage d'indexation. Il exprime le contenu des images dans un formalisme de représentation des connaissances. La définition de ce formalisme est critique, car elle détermine la performance du système. Si les images sont bien représentées, la recherche devient plus efficace et la pertinence du système approche mieux celle de l'utilisateur. L'essentiel est de maintenir une représentation compacte afin d'éviter une

augmentation indésirable du coût de calcul ; en même temps il faut qu'elle soit assez expressive pour décrire le contenu des images précisément.

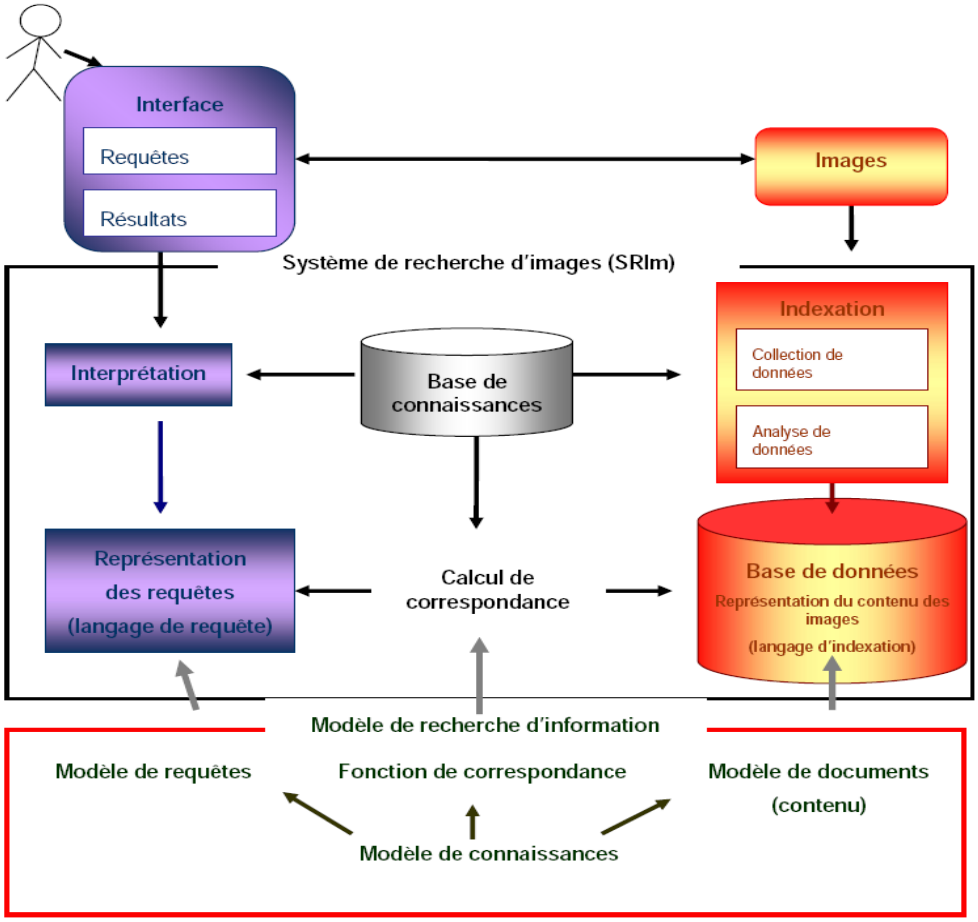

Figure 6 : Architecture générale d'un SRIm [Dioleti 2005]

Le **<u>modèle de requête</u>** permet l'expression du besoin de l'utilisateur. Il s'agit de la définition d'un langage formel pour la formulation des requêtes. Ce langage doit être expressif et il doit prendre en compte le contexte d'application du système. Il est important de considérer le domaine de connaissances traitées par le système ; en même temps le niveau de connaissances des utilisateurs doit aussi imposer des contraintes sur le modèle de requêtes. Le système doit traiter des requêtes complexes et simples selon le niveau de l'utilisateur (expert/novice).

La **<u>fonction de correspondance</u>** définit de manière formelle le degré de similarité entre les modèles de requête et de représentation d'images. Elle évalue la pertinence de chaque image pour une requête.

Le **modèle de connaissances** décrit un espace thématique couvert par les images considérées. Dans ce contexte se formulent les requêtes et le contenu sémantique des images est représenté. Ce modèle prend aussi en compte les connaissances externes qui peuvent enrichir le nombre de réponses du système, par exemple en incluant un thésaurus qui pourra relier des génériques ou des spécifiques aux mots de la requête.

3.2. COMPOSANTES PRINCIPALES D'UN SRIM

Les phases principales d'un SRIm sont l'indexation et l'interrogation, présentées ci-dessous. Chacune de ces phases a plusieurs composantes qui exécutent les tâches essentielles du système [Dioleti 2005] :

3.2.1. Indexation

Le but de l'indexation est de créer à partir de l'image un index qui va servir de base dans la recherche, donc il s'agit bien évidemment de représenter le contenu d'une image pour qu'elle puisse correspondre aux besoins des utilisateurs.

La phase d'indexation d'un SRIm commence par la collection des données. Le système acquiert les images, mais aussi d'autres informations comme le nom de l'archive de l'image ou le texte qui l'accompagne si elle se situe dans un document. Premièrement le système réalise l'extraction des caractéristiques de l'image. Selon le modèle de représentation de l'image du système, les caractéristiques définies sont extraites. On distingue les caractéristiques textuelles qui décrivent les concepts sémantiques de haut niveau et les caractéristiques visuelles qui font la description du contenu de l'image, comme couleurs, texture, ou formes. Les attributs visuels sont obtenus par des techniques de vision par ordinateur. D'autres données, les métas – informations, les dimensions de l'image ou le type du fichier, peuvent être considérées par l'étape d'indexation.

Tous les index et les informations collectés sont stockés dans la base de données du système. La base est utilisée dans la phase d'interrogation pour récupérer les images stockées et ensuite déterminer leur correspondance avec la requête. Dans quelques SRIm une base de connaissances est utilisée. Cette base contient les connaissances du domaine et elle peut aussi inclure des informations supplémentaires, comme un thésaurus par exemple [Dioleti 2005].

3.2.2. Interrogation

La phase d'interrogation est liée à l'interaction d'un utilisateur avec le système, une fois que l'indexation des documents est terminée. L'utilisateur exprime son besoin d'information au système et ce dernier lui fourni des réponses.

Cette phase commence par la réception de la requête de l'utilisateur. Une fois que la requête est formulée, le système la récupère et la transmet vers une composante d'interprétation des requêtes. Elle est transformée selon le modèle de requête du système, pour qu'il puisse la comparer avec les index des images de la base. Il faut noter que puisque les SRIm donnent souvent plusieurs options à l'utilisateur pour la formulation de sa requête, la composante d'interprétation traite à la fois des entrées visuelles ou textuelles.

Dès que la requête est traduite en représentation interne, le système calcule le degré de similarité entre chaque image et cette requête. La fonction de correspondance est un formalisme défini pour évaluer cette similarité.

Ils existent plusieurs façons d'interagir avec un SRIm. Les services qu'un utilisateur attend d'un système de recherche d'images dépendent de ses besoins particuliers quand il fait sa recherche. En tous cas un système doit comprendre les services suivants :

- Recherche par interrogation en forme des requêtes : l'utilisateur pose une demande sous forme de requête au système.
- Navigation : depuis un ensemble des catégories proposées par le système, l'utilisateur cherche lui-même à retrouver l'image désirée en navigant dans la base de connaissances

La requête que l'utilisateur doit fournir dépend du système d'extraction ; si le système traite du texte l'utilisateur doit introduire une requête sous la forme des mots clés ou une description textuelle de l'image [Kherfi 2004]. Sinon la requête peut être une description des attributs visuels de l'image désirée. Mais une combinaison entre les deux façons de formuler la requête est possible.

Pour les requêtes exprimées en termes des attributs visuels, ils existent plusieurs approches :

- Requête par exemples : l'utilisateur fait un choix parmi des exemples d'images proposées par le système
- Requêtes par des icônes sémantiques : l'utilisateur pose des icônes représentatives dans les endroits qu'il souhaite sur un canevas
- Requêtes par des dessins : l'utilisateur dessine les schémas principaux de l'image désirée

Dans l'étape d'interrogation le **bouclage de pertinence** est une façon pour le système de prendre en compte les choix de l'utilisateur. L'adaptation de la requête selon les choix ou les modifications de l'utilisateur sur les résultats fournis par le système contribue au raffinement de la recherche. Elle peut être aussi utilisée pour réduire les dimensions des caractéristiques et donc pour diminuer le temps d'extraction des résultats.[Dioleti 2005],[Bissol 2005].

3.3. PARTICULARITES D'UN SYSTEME DE RECHERCHE D'IMAGES SUR LE WEB

Les systèmes de recherche d'images sur le Web fonctionnent de la même façon que les systèmes décrits plus haut, mais ils comprennent quelques composantes supplémentaires et ils doivent résoudre des problèmes qui ressortent du fait que ces systèmes font la recherche sur le Web [Dioleti 2005].

Un système qui fait la collection des images par le Web, contient une composante qui s'occupe de la collection des données. Cette tâche s'effectue hors ligne sinon le temps de réponse à l'utilisateur serait trop long. Le résultat est une collection des données diverses (images, adresses URL, contexte textuel) effectué par un robot qui traverse le Web. Toutes les informations récupérées du Web, sont ensuite transformées avant d'être stockées dans la base de données du système de même que les index des images, leurs adresses URL, les descripteurs et peut être leurs vignettes [Kherfi 2004].

En ce qui concerne la collection et le stockage des données, il y a plusieurs points à considérer. Un des sujets essentiels est de raccourcir le plus possible la durée de cette collection, mais en même temps il faut couvrir une partie suffisante du Web. Une façon de couvrir mieux le Web est

d'obtenir un ensemble des URL retrouvés par des sites de recherche populaires ou de partitionner le Web selon les noms Internet et les codes des pays. L'adresse URL initial d'où ce module va commencer sa navigation peut aussi augmenter effectivement la couverture du Web.

Sur le Web les documents sont susceptibles d'être modifiés. En conséquence, les données doivent être mises à jour régulièrement sinon la performance du système est mise en question. Il faut aussi prévoir le traitement effectif des liens particuliers (ex. animations flash, pages interactives) [Kherfi 2004].

Le stockage d'index des images doit viser à la réduction de l'espace exigé et à la saisie rapide des données. De ce fait, le processus d'indexation est très important à cause du grand nombre des images sur le Web. L'extraction des caractéristiques visuelles se fait de la même façon que dans les SRIm. Seulement l'extraction des attributs textuels varie un peu. La recherche du texte associé à l'image se fait dans des endroits différents de la page Web, comme le marqueur de l'image ou le titre de la page Web; selon la position du texte dans la page ou sa fréquence d'occurrence son poids équivalent est estimé.

Donc les principes d'un SRIm sont les mêmes pour les systèmes de recherche d'images sur le Web. Il faut adapter quelques composantes pour traiter les données à la collection et l'extraction des caractéristiques. L'essentiel c'est de conserver l'efficacité du système qui est mise en question à cause de la taille du Web. Il faut essayer de couvrir le plus possible du Web et en même temps n'augmenter pas trop le temps de collection et de réponse. C'est pour cette raison qu'une bonne technique d'indexation peut vraiment améliorer la performance du système en termes de précision et de temps de réponse.[Dioleti 2005]

Chapitre 2

Systèmes de gestion d'images

1. INTRODUCTION

Du fait du développement des sources d'images numériques, les méthodes et les algorithmes de traitement et de gestion d'images se sont développés.

L'un des enjeux majeurs actuellement en ce qui concerne la gestion des images est certainement la recherche automatique d'images par le contenu pour permettre de rendre exploitables les bases d'images constituées.

La tentative d'exprimer des requêtes directement sur le contenu des images présume des mécanismes puissants d'interprétation et motive de nombreux travaux de recherche dans les domaines du Traitement d'Images au sens large, des Systèmes de Gestion de Bases de Données (SGBD), des Systèmes d'informations et de l'Intelligence Artificielle [Martinez 2000].

2. LES SYSTEMES DE GESTION DE BASE DE DONNEES MULTIMEDIA (SGBDMM)

Le principe d'un Système de Gestion de Bases de Données Multimédia (SGBDMM) est représenté **Figure 7**. Il repose tout d'abord sur la caractérisation de l'information pertinente des images sous forme d'un ensemble de propriétés constituant une « indexation » de ces images.

Le module d'indexation réalise cette première étape. Quel que soit le type d'indexation retenu, la recherche d'images dans un SGBDMM est presque exclusivement basée sur une similarité entre les propriétés (syntaxiques ou sémantiques) des images de la base et les propriétés explicitées lors d'une requête [Le Bozec 2001].

C'est le module de recherche qui opère cette deuxième étape de comparaison de la requête avec les « indexations » des images de la base.

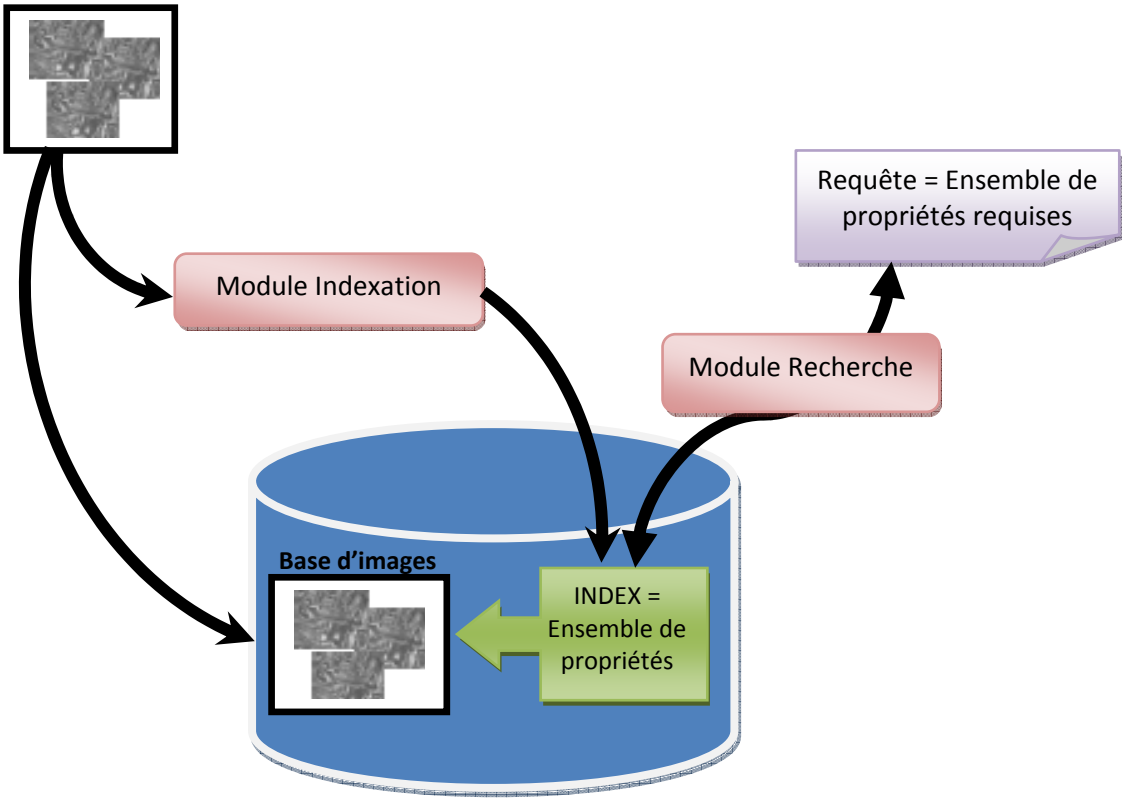

Figure 7 : Principes d'un Système de Gestion de Base de Données Multimédia (SGBDMM)

2.1.INDEXATION DE L'IMAGE

L'indexation des images fait intervenir des paramètres d'indexation c'est à dire les métadonnées fournissant des critères de similarité pertinents par rapport au domaine d'application. En fonction du niveau d'interprétation des images, ces paramètres d'indexation sont, soit directement calculés au niveau de l'image ou de régions de l'image, soit exprimés selon des termes du domaine.

Les travaux des communautés de recherche sur les données textuelles d'une part et sur l'image d'autre part contribuent à faire progresser l'indexation ainsi que la recherche d'images dans des bases, en ce qui concerne par exemple, la formulation de la requête ou les algorithmes de recherche. [Le Bozec 2001].

2.2.DEFINITION DE LA SIMILARITE ENTRE IMAGES

La question centrale en terme de SGBDMM est de savoir comment le système juge que deux images sont similaires. L'interrogation par le contenu d'une base d'image nécessite une définition précise et en général dépendante du domaine de ce que veut dire « similarité » entre images et/ou similarité entre termes d'indexation d'une image et termes d'une requête. En effet, lors de l'interrogation, les systèmes évaluent la similarité entre les termes d'une requête et l'indexation des images de la base.

Les paramètres d'indexation s'expriment le plus souvent selon des vecteurs d'indexation multi dimensionnels. La méthode de recherche par similarité consiste à évaluer la similarité entre deux vecteurs multidimensionnels, le premier traduisant la requête de l'utilisateur, le deuxième constituant l'indexation de chaque image de la base comparée. [Santini 1996] [Manmatha 1997].

Parfois, la requête est formulée directement sous la forme d'une image. Ce sont des opérations de traitement d'images (reconnaissance de formes, appariement, convolutions globales ou locales) qui interviennent dans l'évaluation de la similarité entre deux images. On parle de « recherche exacte ».

2.3.LES SGBDMM MEDICAUX

La gestion des images médicales se singularise par la nécessité de manipuler des séries d'images auxquelles sont associées des connaissances souvent imprécises, évolutives et situées à un niveau important d'interprétation. Ces systèmes nécessitent de ce fait souvent une intervention importante de l'expert et/ou de l'utilisateur [Tagare 1997]**.**

Plusieurs systèmes ont été développés dans des domaines aussi variés que l'identification des visages, des logos (système ARTISAN), l'analyse des empreintes de pied et digitales (système REBEZO), les enluminures (système TODAI), les objets d'art et d'archéologie (système RECI) [Bouet 1996].

2.3.1. Description de région d'intérêt d'une série d'images

La démarche diagnostique en imagerie médicale reposant sur l'interprétation visuelle de formes, de structures, de co-localisations d'objets telles que par exemple les structures anatomiques (organes, tissus etc.) concernées et leurs co-localisations nécessite de définir des régions d'intérêt (organes) dans l'image et de les caractériser**.** Dans le domaine médical, les indexations pertinentes diffèrent souvent en fonction de la source d'image. La conception d'une base d'images médicales est à chaque fois différente lorsque les images sont d'une source différente. [Tagare 97]

3. LES SYSTEMES DE GESTION DE CONNAISSANCES (SGC)

3.1.INTRODUCTION

En archivant les images médicales, les médecins ne souhaitent pas tant conserver ces images que la connaissance experte mise en jeu lors de la résolution des problèmes diagnostiques posés par l'interprétation de ces images. Il s'agit donc davantage de constituer un Système de Gestion de Connaissances (SGC) qu'un Système de Gestion de Base de Données Multimédia (SGBDMM).

3.2.SYSTEMES DE GESTION DE CONNAISSANCES

L'objectif d'un Système de Gestion Connaissances (SGC) est de « localiser et rendre visible les connaissances, être capable de les conserver, y accéder et les actualiser, savoir comment les diffuser et mieux les utiliser, les mettre en synergie et les valoriser » [Le Bozec 2001].

Le processus de capitalisation des connaissances permet de réutiliser de façon pertinente les connaissances d'un domaine donné précédemment stockées et modélisées afin d'accomplir de nouvelles tâches [Simon 1998].

3.3.SYSTEMES A BASE DE CONNAISSANCES

L'expression « Systèmes à Base de Connaissances » (SBC) a été créée afin de traduire une nouvelle conception dans la démarche d'acquisition et de gestion des connaissances par rapport à

la démarche de conception des « Systèmes experts[1] ».Cette démarche de modélisation explicite des connaissances expertes afin de construire des Systèmes à Base de Connaissances rentre dans le champ d'une discipline spécifique : l'**ingénierie des connaissances[2]** [Dieng 2000]. L'objectif d'un Système à Base de Connaissances (SBC) est la résolution (semi-)automatique de problèmes. Un SBC manipule des connaissances explicitées de façon formelle c'est-à-dire sous forme de représentations symboliques obéissant aux règles d'un formalisme de modélisation de connaissances et de raisonnement tel que les formalismes objets, les réseaux sémantiques etc.

3.4.MODELISATION D'UN DOMAINE

Le modèle conceptuel d'un SBC a pour but de réduire la complexité des tâches à exécuter par le système en les représentant d'une façon synthétique, facile à comprendre et permettant de se focaliser sur les aspects importants dans le développement du système. L'analyse des connaissances du domaine est indispensable pour mettre en correspondance les connaissances du domaine et les rôles à jouer par ces connaissances dans le raisonnement [Charlet 2000].

3.4.1. Processus de Modélisation

L'Ingénierie des Connaissances propose des méthodes pour l'explicitation et la formalisation des connaissances. On distingue des méthodologies « descendantes » telles que CommonKADS[3] [Schreiber 1999] proposant des modèles génériques à partir desquels on peut interpréter les

---

[1] Système expert : Application capable d'effectuer dans un domaine des raisonnements logiques comparables à ceux que feraient des experts humains de ce domaine. Il s'appuie sur des bases de données de faits et de connaissances, ainsi que sur un moteur d'inférence, lui permettant de réaliser des déductions logiques (chaînage avant et arrière). C'est avant tout un système d'aide à la décision

[2] L'**ingénierie des connaissances** est une branche d'I.A issue de l'étude des Systèmes experts, qui a pour objectif la conception de systèmes dont le fonctionnement permet d'opérationnaliser des connaissances portant sur la résolution d'un problème donné [Charlet 2000]. Elle propose des concepts, méthodes et techniques permettant d'acquérir, de modéliser et de formaliser des connaissances pour les mobiliser dans l'activité d'une organisation.

[3] CommonKADS KADS (Knowledge Acquisition and Design Structuring), est une méthode d'acquisition structurée des connaissances développée à l'Université d'Amsterdam, représente à l'heure actuelle la réponse la plus avancée en matière de méthodologie de développement de SBC. Elle permet de traiter tout le processus d'acquisition des connaissances, du recueil au développement d'un système complet. C'est une méthode dirigée par les modèles (par opposition aux méthodes dirigées par l'implémentation).

données recueillies et des méthodologies « ascendantes » telles que KOD[4] (Knowledge Oriented Design) [Vogel 1990]**.** Des approches mixtes d'Ingénierie des Connaissances associant KADS et KOD ont été proposées [Manmatha 1996]

3.4.2. Concepts et connaissances

Les **connaissances** ne sont pas directement accessibles en tant que telles. Nous n'en percevons qu'une représentation sous la forme de **signes** (images, textes, sons, etc.) qui participent à un processus de communication entre individus.

Un modèle de connaissances doit permettre de manipuler les **concepts** du domaine d'application du système. La difficulté est de pouvoir définir les concepts du domaine à partir des symboles d'un langage (naturel ou non). Selon Bachimont, les termes du domaine ne sont pas nécessairement des concepts dans la mesure où ils ne sont pas nécessairement interprétés de la même manière ou, tout du moins, de manière cohérente et compatible entre plusieurs spécialistes [Bachimont 2000]

3.4.3. Modèles semi-formels

Dans de nombreux domaines, le vocabulaire manipulé par les professionnels comporte des termes souvent imprécis et faisant rarement l'objet de définitions rigoureuses. Le recueil, la représentation et la gestion des connaissances nécessitent une standardisation des termes et une réduction des ambiguïtés. La définition de dictionnaires, nomenclatures, thésaurus, catalogue et classifications participent à cet effort [Degoulet 1998].

Un **dictionnaire** est un recueil d'unités signifiantes de la langue (mots, termes, éléments, etc.) rangées dans un ordre convenu, qui donne des définitions, des informations sur les signes.

---

[4] KOD : La méthode KOD (Knowledge Oriented Design) est une méthodologie de développement de SBC ayant pour objectif de proposer des cadres de collecte et de modélisation de la connaissance et de permettre le passage de cette connaissance en une information manipulée par la machine. Elle utilise des techniques issues de l'ethnologie et de la linguistique et repose sur une décomposition du monde en objets, actions et raisonnements.
KOD propose trois modèles : pratique, cognitif et informatique, et trois paradigmes : représentation, action et interprétation.

Une **nomenclature** désigne 1- l'ensemble des termes employés dans une science, une technique, un art, etc., méthodiquement classés, 2- la méthode de classement de ces termes, 3- l'ensemble des formes (mots, expressions, morphèmes) répertoriés dans un dictionnaire, un lexique et faisant l'objet d'un article distinct. Une nomenclature vise, si possible, l'exhaustivité.

Un **thésaurus** est un répertoire alphabétique de termes normalisés pour l'analyse de contenu et le classement documentaire.

Une **classification** est le résultat de l'action de distribuer par classes, par catégories. En biologie, les organismes sont depuis longtemps classés en règnes, embranchements, classes, ordres, familles etc.

Une codification est une correspondance entre un élément d'information et une combinaison d'un langage. Un code est habituellement numérique ou alpha numérique. Un code doit, si possible être biunivoque, c'est à dire qu'il ne doit exister qu'un seul terme pour nommer un objet et que chaque terme ne doit désigner qu'un seul objet. Il n'y a ambiguïté ni par polysémie, ni par synonymie.

3.4.4. Modèles formels « Des connaissances du domaine aux ontologies »

Nous avons vu qu'un **terme** du domaine n'est pas nécessairement un **concept** dans la mesure où il n'est pas nécessairement interprété de la même manière par plusieurs spécialistes. Pour représenter un domaine donné, il est nécessaire de se restreindre à un certain nombre de concepts significatifs suffisants pour interpréter ce domaine.

Les définitions proposées sont nombreuses, mais la plus répandue décrit une ontologie comme une « *spécification d'une conceptualisation* », ou comme une spécification explicite d'une conceptualisation d'un domaine, formée par des entités et des relations. [Guillermo 2006].

Une **ontologie** est définie comme « l'ensemble des objets reconnus comme existant dans un domaine » [Biebow 1998]. Elle comporte des définitions fournissant le vocabulaire conceptuel permettant de communiquer au sujet d'un domaine**.** Elle est particulièrement intéressante pour décrire les connaissances consensuelles partagées par une communauté car elle représente un cadre unificateur pour réduire et éliminer les ambiguïtés et les confusions conceptuelles et terminologiques et assurer une compréhension partagée par la communauté visée[Le Bozec

2001]**.**Ainsi, il est nécessaire de trouver la façon d'éliminer ou réduire significativement la confusion conceptuelle et terminologique, afin de produire une compréhension partagée, c'est-à-dire, une ontologie.

Les composants d'une ontologie sont : des concepts, des relations entre concepts, des fonctions, des instances et des axiomes. Les éditeurs d'ontologies comme Ontolingua et Protégé, permettent la construction d'une ontologie.

L'utilisation des ontologies dans la construction d'une mémoire d'entreprise, permet d'expliciter une terminologie et une conceptualisation partagée par un métier donné ou par une communauté donnée dans une organisation, ce qui produit une structure pour développer des bases de connaissances ainsi qu'une base pour générer des vues sur les bases de connaissances [Guillermo 2006].

Parmi les types d'ontologies zieng-Kuntz [KUN 2001] reconnaît les classes suivantes :

• *Les ontologies du domaine* représentent des conceptualisations spécifiques à un domaine et sont utilisables par plusieurs activités sur ce domaine exemple : l'analyse et la conception.

Les ontologies applicatives représentent des connaissances du domaine nécessaires à une application donnée, elles sont donc spécifiques et non réutilisables.

• *Les ontologies de haut niveau* contiennent des conceptualisations valables dans différents domaines, par exemple le dictionnaire sémantique WordNet disponible sur http://wordnet.princeton.edu/obtain

• Les méta-ontologies expriment « *les primitives des langages de représentation des connaissances* » [KUN 2001].

3.4.5. Méthodes de construction d'ontologies

La méthode de construction d'une ontologie suit les étapes maintenant classiques d'acquisition des connaissances. Il s'agit de recueillir les supports de connaissances disponibles puis d'extraire les concepts du domaine et les relations entre ces concepts selon des méthodes qui peuvent éventuellement varier en fonction de la nature du support de connaissances (textes, documents, experts, etc.).

3.4.5.1. Recueil des connaissances des experts

Le recueil de connaissances permet au cogniticien de recueillir diverses informations auprès des experts selon des techniques différentes. Les techniques de recueil peuvent consister en l'observation directe ou des entretiens ouverts ou structurés (études de cas ou questionnaires). Le cogniticien peut également procéder par simulation d'une interaction avec un système de gestion de connaissances (technique du magicien d'Oz). Un protocole de recueil collectif peut également être défini reposant sur des entretiens ou des études de cas collectifs [Dieng 2000].

3.4.5.2. MéthOntology

La méthode MethOntology préconise d'associer diverses techniques d'acquisition de connaissances pour construire une ontologie Ces techniques sont par exemple les entretiens ouverts, permettant d'obtenir des classifications, des propriétés et des formules, les entretiens structurés, permettant de vérifier des classifications, les analyses de texte formelles permettant d'obtenir des définitions, des synonymes et des règles, les analyses de texte informelles permet d'obtenir des tables, des dessins, des définitions, des relations et des faits, les analyses de tables, figures permettant d'obtenir des valeurs d'attributs, des cardinalités et des faits, etc. [Gomez-Pérez 1998]

3.4.5.3. Construction d'ontologies à partir de textes

Certaines méthodologies se sont développées de façon spécifique pour la construction d'ontologies à partir d'un type particulier de source de connaissances notamment à partir de textes (par exemple analyse linguistique de documents techniques ou d'interviews d'experts). Ces textes sont des sources importantes pour la modélisation de l'expertise. [Le Bozec 2001]

Des analyseurs syntaxiques, tels que l'outil LEXTER, permettent de construire à partir d'un corpus de textes un réseau de "candidats termes" à partir duquel le cogniticien ou le terminologue assisté de l'expert constitue l'ontologie [Bourigault 1996].

L'outil TERMINAE exploite des techniques linguistiques et des techniques d'ingénierie des connaissances pour construire une ontologie à partir de textes.TERMINAE offre également un éditeur et un navigateur pour construire et explorer l'ontologie. [Biebow 2000]

3.4.5.4. Languages utilisés

Plusieurs langages peuvent être utilisés pour représenter des ontologies au niveau symbolique: par exemple Ontolingua [Farguhar 1996], le langage CML de la méthodologie CommonKADS [Schreiber 1999], le formalisme des graphes conceptuels [Sowa 1984] et les logiques de descriptions [Napoli 1997].

3.5.MODELES DU DOMAINE EN IMAGERIE MEDICALE

3.5.1. Langages médicaux pour l'interprétation des images

Le domaine médical est caractérisé par un vocabulaire extrêmement riche mais également difficile à manipuler. Les termes utilisés sont souvent flous et imprécis. Ils font rarement l'objet de définitions rigoureuses acceptables par l'ensemble de la communauté médicale [Degoulet 1998]. Des efforts de standardisation de l'interprétation des images ont été réalisés. Les terminologies contrôlées de la CIM-10[5] (Classification Internationale des Maladies) [OMS 1993], d'UMLS[6] (Unified Medical Langage System) [NLM 1998] ou de SNOMED[7] (Systematized NOMenclature of MEDicine) [Côté 1994] le thésaurus MesH[8] (Medical Subject Heading) , sont les plus utilisées pour l'indexation des images médicales.

---

[5] CIM-10 : La Classification Internationale des Maladies (CIM ou ICD « International Classification of Disease ») est une classification mono axiale hiérarchique publiée par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). Cette classification est un compromis entre les classifications basées sur l'étiologie, la localisation et les circonstances d'apparition.

[6] UMLS (Unified Medical Langage System) : Le projet UMLS , développé par la NLM a pour objectif d'établir un lien conceptuel entre le besoin d'information exprimé par un utilisateur et différentes sources d'informations comme des bases de données de la littérature, des systèmes de gestion de dossiers médicaux ou des bases de connaissances. La connaissance de UMLS se retrouve dans un méta thésaurus.Le méta thésaurus contient environ 476313 concepts (version de 1998) et plus de 540 000 termes différents. Il regroupe les termes issus de 53 vocabulaires et classifications.

[7] SNOMED (Systematized NOMenclature of MEDicine) : La SNOMED est une classification multidomaines, multi-axiale ou à facettes. La classification d'un terme repose sur une décomposition de ce terme en combinaison de termes appartenant à différentes classes, elles mêmes organisées de façon hiérarchique. La 3ème édition, qui porte le nom de SNOMED International, contient plus de 200 000 termes utilisés en pratique médicale ou vétérinaire [Coté 1993].

[8] Le thésaurus MeSH (Medical Subject Heading) a été conçu au début des années 1960 par la National Library of Medicine (NLM) à Bethesda pour la production automatique de l'Index Medicus ou répertoire des principales publications scientifiques [NLM 1997]. Il donne accès à différentes bases de données de la NLM dont MEDLINE

3.5.2. Les ontologies médicales

Les principales difficultés de la définition d'une ontologie médicale résident dans la taille de cette ontologie (plusieurs centaines de milliers de concepts alors que la taille des ontologies développées actuellement est plutôt de l'ordre de centaines ou milliers) et également dans la diversité des spécifications et donc des critères de validité d'une représentation des connaissances réalisée pour différentes spécialités fonctionnant à des niveaux de granularité différents [Rector 1999]. Si les langages structurés, tels que les graphes par exemple, offrent des formalismes adaptés à la représentation de descriptions complexes d'images et ont été utilisés en imagerie médicale pour représenter des comptes rendus de radiologie [Friedman 1994], il n'existe pas encore de système de représentation des connaissances instancié (ou facilement instanciable) et directement réutilisable dans le cadre du développement d'un système à base de connaissance en imagerie médicale. Si les projets d'ontologies médicales en cours ont pour objectif de constituer des « serveurs de terminologie » utilisables pour le développement de SBC médicaux, cet objectif nécessite encore beaucoup de travaux dans les domaines notamment du traitement automatique du langage médical et de la classification formelle. En ce qui concerne les concepts liés à l'interprétation des images médicales, en l'absence d'ontologies disponibles, les terminologies contrôlées sont utilisées pour indexer ces images [Lowe 1993].

4. LES SYSTEMES DE RAISONNEMENT A PARTIR DE CAS (RÀPC) : UN CAS PARTICULIER DE SYSTEME A BASE DE CONNAISSANCE

4.1.INTRODUCTION

Pour résoudre les problèmes de la vie quotidienne, nous faisons naturellement appel à notre expérience. Nous nous remémorons les situations semblables déjà rencontrées. Puis nous les comparons à la situation actuelle pour construire une nouvelle solution qui, à son tour, s'ajoutera à notre expérience.

---

contenant plus de 9 millions de références bibliographiques La dernière version du MeSH, éditée en 2000, compte 19 768 termes.

Le **raisonnement par cas** ou **Case Based Reasoning (CBR)**, copie ce comportement humain. Il résout les problèmes en retrouvant des cas analogues dans sa base de connaissances et en les adaptant au cas considéré.

Le RàPC (en anglais Case-Based Reasoning) est un processus où la réutilisation des expériences passées est le but principal. Cette technique provenant du domaine de l'Intelligence Artificielle, a été utilisée dans les systèmes experts et dans d'autres domaines comme les sciences cognitives [Guillermo 06]. Les fondements du CBR proviennent des travaux en sciences cognitives menés par Roger Schank et son équipe de recherche durant les années 80. [Lamontagne, Lapalme 2002]

Dans cette approche l'utilisateur essaie de résoudre un nouveau problème en reconnaissant les similarités entre différents problèmes, préalablement résolus appelés cas. **Un cas** est communément un problème spécifique qui a été identifié, résolu, stocké et indexé dans une mémoire avec sa solution et éventuellement, le processus d'obtention de celle-ci [Fuchs 1999].

4.2.DEFINITIONS

Le raisonnement à partir de cas (Ràpc), ou « Case-Based Reasoning » en anglais (CBR) est un paradigme de résolution de problème qui résout un problème en s'appuyant sur des solutions connues de problèmes passés jugés similaires à celui étudié. [Cordier 2004]

-Le raisonnement à base de cas (CBR) est une approche de résolution de problèmes qui utilise des expériences passées pour résoudre de nouveaux problèmes. Au fur et à mesure des utilisations du système, les problèmes résolus sont stockés dans une **base de cas**. Ils constituent alors une source de connaissance exploitable pour les raisonnements futurs. Dans la littérature, certains considèrent le RAPC comme une solution au goulet d'´etranglement que présente l'´etape d'acquisition des connaissances dans les systèmes à base de connaissances (SBC). Ils estiment qu'il n'est pas nécessaire de disposer de beaucoup de connaissances pour commencer à raisonner : elles seront acquises pendant l'utilisation du système. [Cordier, Fuchs 2006]

4.3.UTILITE DU RAPC

Un Système de RàPC est indiqué dans les domaines où l'activité repose de façon importante sur les connaissances liées à l'expertise, lorsque qu'il n'existe pas vraiment de théorie du

domaine. Dans les domaines où il est difficile d'évaluer objectivement des solutions, l'avantage d'un système de RàPC est de justifier ces solutions par l'exemple. Un tel système permet d'anticiper les problèmes qui peuvent survenir lors de l'utilisation d'une solution donnée car un cas renferme une description d'un problème, de sa solution et de l'adéquation de la solution.

Dans le domaine médical, notamment, le RàPC est particulièrement intéressant dans la mesure où le type de raisonnement mobilisé lors de la démarche diagnostique repose essentiellement sur l'expérience liée à la résolution de cas rencontrés lors de la pratique. [Le Bozec 2001]

Plusieurs raisons justifient l'utilité du RàPC comme outil de résolution de problèmes [Guillermo 2006] par exemple :

• Les experts dans un domaine comparent quotidiennement un problème nouveau avec des expériences passées.
• Un expert adapte des cas passés pour la résolution d'un problème nouveau.
• Des cas sont disponibles en sources bibliographiques et dans la mémoire des experts, alors ceux-ci peuvent être enregistrés quand une nouvelle solution est générée.
• Il est possible dans un domaine donné, d'assigner un résultat à un cas, de l'expliquer, puis de le classer comme un succès ou un échec.
• Un cas peut être généralisé jusqu'à un certain point, afin d'extraire quelques caractéristiques qui facilitent son identification et sa spécificité.
• La comparaison entre deux cas peut se faire facilement.
• Les cas maintiennent leur pertinence sur des intervalles de temps relativement longs.

4.4.LES CONCEPTS DE BASE DU RAPC

Le processus de résolution d'un problème dans le RàPC repose d'après Leake [Leake 1996], sur deux conditions essentielles : **la similarité** des problèmes et **la récurrence**.

La première condition comme le montre la figure 8, implique que des problèmes similaires auront des solutions similaires et ainsi, la résolution d'un problème nouveau peut être abordée à partir d'expériences passées.

La deuxième condition suppose que les problèmes ont une nature récurrente. En d'autres termes, que les problèmes rencontrés dans le futur, seront similaires à ceux déjà rencontrés. Cette récurrence s'explique par la nature répétitive d'un besoin, c'est-à-dire, tandis que les moyens de satisfaire ce besoin évoluent dans le temps, le besoin lui reste identique.

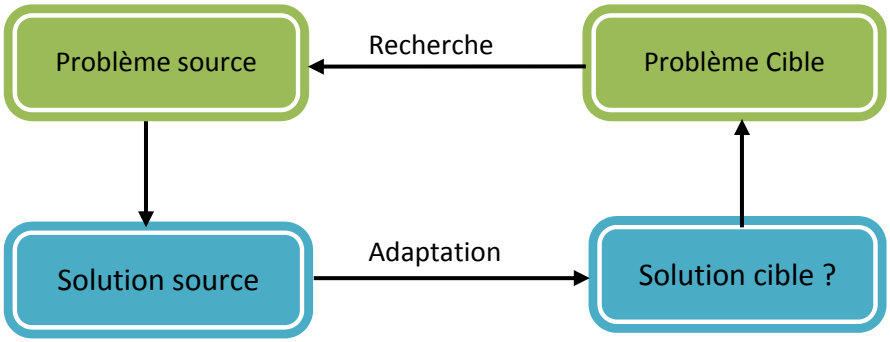

Figure 8 : Le carré d'analogie

En outre, ce mécanisme de résolution de problèmes est utilisé dés les premières étapes du développement humain, jusqu'à la résolution de problèmes complexes par un expert dans une discipline donnée. Ainsi, dans le processus du RàPC, un utilisateur essaye de résoudre un problème en identifiant des similitudes avec différents problèmes précédemment résolus appelés cas. [Guillermo 2006].

Ces caractéristiques peuvent se résumer avec deux concepts : ***mémoriser et réutiliser*** la connaissance utilisée lors de la résolution d'un problème. Le premier implique le développement **d'une structure pour organiser et stocker la connaissance**. Cette dimension a été basée sur les travaux de Schank [SNK 1982], et plus spécifiquement, sur la théorie de la mémoire dynamique. Le deuxième **essaie de reconnaître une analogie, afin de pouvoir réutiliser la connaissance stockée**, ce qui fait appel au raisonnement analogique. **[Guillermo 06]**

4.4.1. Qu'est-ce qu'un cas ?

Janet Kolodner donne la définition suivante du cas : "***A case is a contextualized piece of knowledge representing an experience that teaches a lesson fundamental to achieving the goals of the reasoner***". Les cas représentent des connaissances spécifiques liés à des situations spécifiques.

Plus concrètement, dans le cadre de la résolution de problème dans lequel s'inscrivent les systèmes de RàPC, un cas est constitué d'une partie problème et d'une partie solution. La partie problème comporte généralement une partie descriptive du contexte permettant la résolution du problème et une partie requête décrivant le but que doit atteindre le raisonnement. La partie solution, vide ou partiellement connue avant le raisonnement, décrit la solution. En pratique, un

cas peut prendre des formes assez variées ; il peut contenir des données de n'importe quels types, des connaissances représentant le contexte (faits, règles) ; il peut être composite, contenir des sous-cas, etc [Fuchs 2007].

4.4.2. Représentation des cas

Représenter un cas nécessite de trouver une structure appropriée décrivant le contenu d'un cas et, conséquemment, de déterminer une organisation de la mémoire de cas permettant de le retrouver et le réutiliser [Aamodt & Plaza 1994]. Généralement, les cas sont organisés dans la base de cas à partir d'indices reflétant les caractéristiques les plus discriminantes des cas. Cette mémorisation de cas nécessite la définition d'un langage de description pour exprimer l'information des situations de la base de cas [Chusseau 1999].

4.4.2.1. Structure d'un cas

Un cas est décrit par de nombreuses caractéristiques représentant différents types d'informations [Chusseau 1999] :

- La description du problème
- La solution et les étapes qui y ont mené
- Le résultat de l'évaluation
- L'explication des échecs

Tous les systèmes RàPC n'utilisent pas forcément chacun des types d'informations. Bien entendu, la description du problème et la solution apportée sont des éléments indispensables.

4.4.2.2. Modèles d'organisation des cas

Le modèle d'organisation et d'indexation des cas permet de relier les cas entre eux. Ce modèle doit posséder certaines qualités. Tout d'abord il est nécessaire que l'ajout assure l'accessibilité aux anciens cas. La recherche de cas similaires doit conserver une complexité constante au fur et à mesure que la base de cas se remplit, il faut évidemment envisager une solution permettant de retrouver rapidement les cas similaires. Généralement on utilise l'indexation pour cette raison.

Il existe de nombreuses façons d'ordonner les cas, nous allons étudier rapidement l'ensemble des modèles existants :[Aamodt et Plaza 1994], [Chusseau 1999]

A) MODELE SIMPLE

Commençons tout d'abord par le modèle le plus simpliste : l'organisation linéaire. Bien entendu, cette organisation n'est pas utilisée pour gérer l'ensemble de la mémoire des cas. Cependant elle peut être implicitement combinée à d'autres modèles plus complexes au niveau de petits sous ensembles de cas.

Il est possible d'organiser la mémoire sous la forme d'un arbre de décision : chaque nœud correspond à une question sur l'un des index et les fils correspondent aux différentes réponses. Pour être le plus efficace possible l'arbre doit poser les questions dans le bon ordre et être le moins profond possible. Cet arbre doit être construit dynamiquement. La meilleure méthode pour le construire est d'utiliser le data mining.

Un autre modèle consiste à construire la mémoire sous la forme d'une hiérarchie de prototypes. Un prototype permet de décrire des conditions sur des caractéristiques des cas. Tous les cas vérifiant ces conditions sont associés à ce prototype. Les prototypes sont organisés dans une hiérarchie d'héritage. [Aamodt et Plaza 1994]

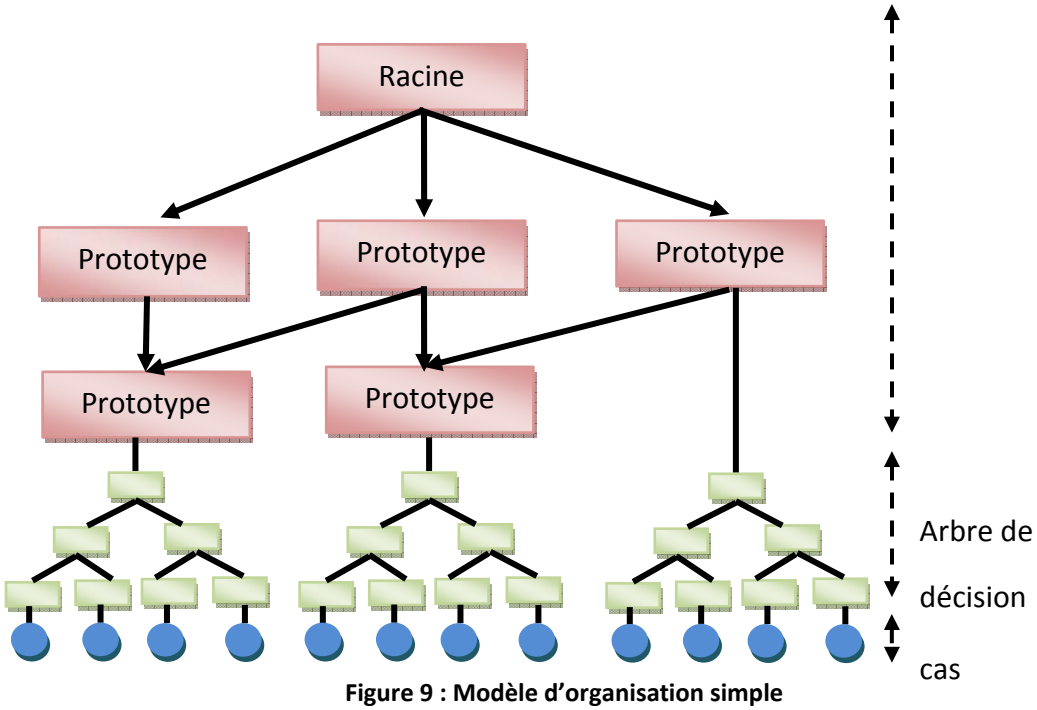

Figure 9 : Modèle d'organisation simple

On peut ainsi spécifier des prototypes généraux desquels héritent des prototypes plus spécifiques. En combinant les arbres de décision à cette hiérarchie de prototypes, on obtient une structure intéressante. Les prototypes « terminaux » ne stockent alors plus leurs cas dans une liste mais dans un arbre de décision. La hiérarchie de prototype représente la connaissance *a priori* du système et les arbres de décision générés dynamiquement permettent une structure assez flexible. [Aamodt et Plaza 1994]

B) MODELE A MEMOIRE DYNAMIQUE

Le modèle à mémoire dynamique a été introduit par Robert Schank et Janet Kolodner. Dans ce modèle, les cas sont stockés dans une structure hiérarchique appelée épisode généralisé. On parle aussi de MOP pour Memory Organisation Packets. Les différents cas ayant des propriétés similaires sont regroupés dans une structure plus générale, un épisode généralisé. Ils contiennent trois types objets : [Aamodt et Plaza 1994]

- **Les normes :** Les caractéristiques communes à chacun des cas indexés sous l'épisode généralisé.

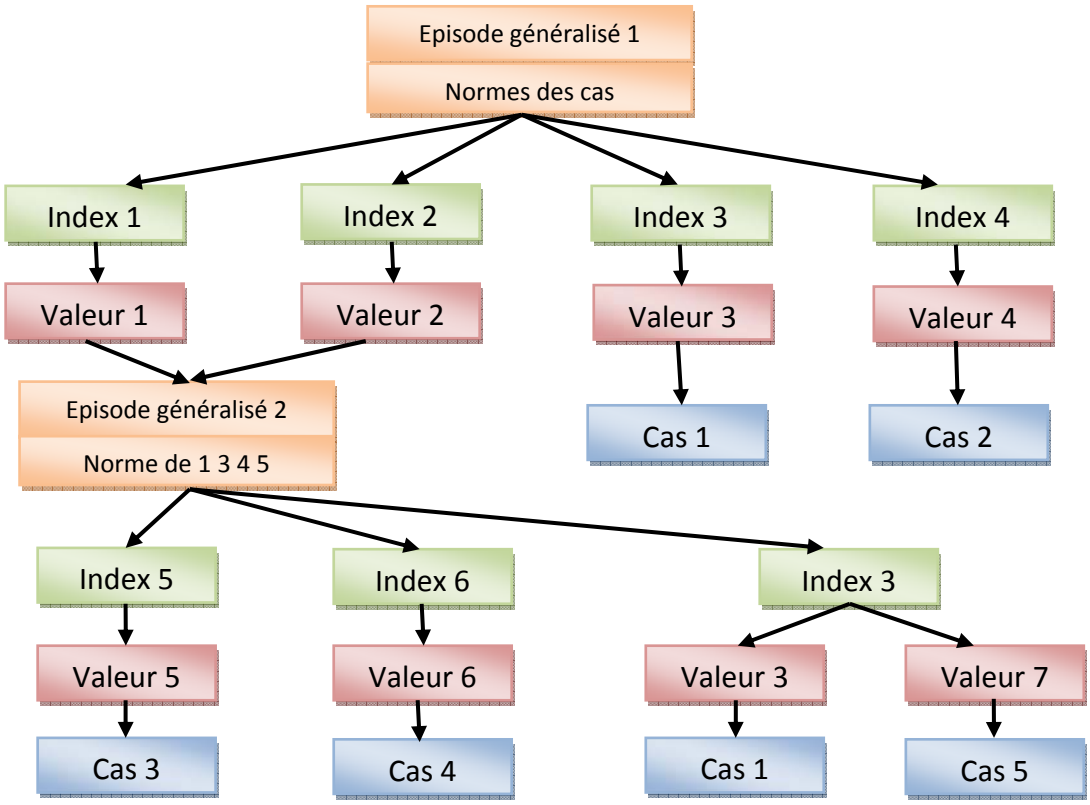

Figure 10 : Modèle d'organisation à mémoire dynamique

- **Les index :** Les éléments discriminant les cas contenus dans l'épisode généralisé. Un index possède deux champs : son nom et sa valeur. Il peut pointer vers un autre épisode ou simplement vers un cas.
- **Les cas :** La connaissance du système. On y accède donc par l'intermédiaire d'index.

Le schéma donne une idée du modèle à mémoire dynamique. Il possède une structure proche d'un arbre. On retrouve bien les trois types d'objets énoncés, à la différence près qu'une distinction est faite entre les index et les valeurs. On peut remarquer aussi qu'il est possible d'atteindre certains cas de différentes manières. Ce modèle est donc redondant.

La recherche des cas similaires s'effectue à partir du nœud racine. On va chercher l'épisode généralisé possédant le plus de caractéristiques en commun avec le problème courant. Ensuite on parcoure les index, qui représentent les caractéristiques absentes de la norme de l'épisode généralisé sur lequel on travaille. Le couple index-valeur sélectionné est celui qui est le plus similaire avec le problème. À partir de celui-ci, soit on arrive à un autre épisode généralisé, dans ce cas, on recommence le processus, soit on obtient un cas similaire au problème posé.

La procédure d'ajout de nouveaux cas fonctionne d'une manière proche à la recherche de cas similaires. En effet le parcourt du graphe est identique. Lorsque l'on a trouvé l'épisode généralisé ayant le plus de normes en commun avec le cas courant, on effectue l'ajout. Pour cela, il faut générer un couple index-valeur distinguant le nouveau cas aux autres fils de l'épisode généralisé. S'il existe déjà un cas possédant le même couple, on crée un nouvel épisode généralisé contenant ces deux cas.

On obtient donc un réseau discriminant à l'aide des index qui permettent de retrouver les cas. Les épisodes généralisés sont principalement des structures d'indexation. Les normes permettent de représenter une connaissance générale des cas sous-jacents alors que les couples index-valeur définissent les spécificités.

Cependant, ce processus d'indexation peut mener à une croissance exponentielle du nombre d'index par rapport au nombre de cas. On adjoint donc généralement certaines limites dans le choix des index même si cela entraîne une baisse de performances.

C) MODELE A BASE DE CATEGORIE

Ce modèle est une alternative au modèle précédent. Ici, un cas est aussi appelé exemple. L'idée directrice est que la réalité devrait être définie de manière extensive par des cas. Les caractéristiques décrites généralement par un nom et une valeur, possèdent un niveau d'importance fonction de l'adhésion d'un cas à une catégorie. [Aamodt et Plaza 1994]

Dans ce modèle, la base de cas est un réseau de catégories et de cas. Les index sont des liens qui peuvent être de trois sortes :

- **De rappel :** reliant une caractéristique à une catégorie ou un cas.
- **D'exemple :** reliant une catégorie aux cas auxquels elle est associée.
- **De différence :** reliant deux cas ne différant que d'un nombre restreint de caractéristiques.

Le schéma ci-dessous illustre les différents types de liens disponibles. Cependant il ne représente qu'une seule catégorie. Il faut donc ajouter que les exemples peuvent appartenir à plusieurs catégories.

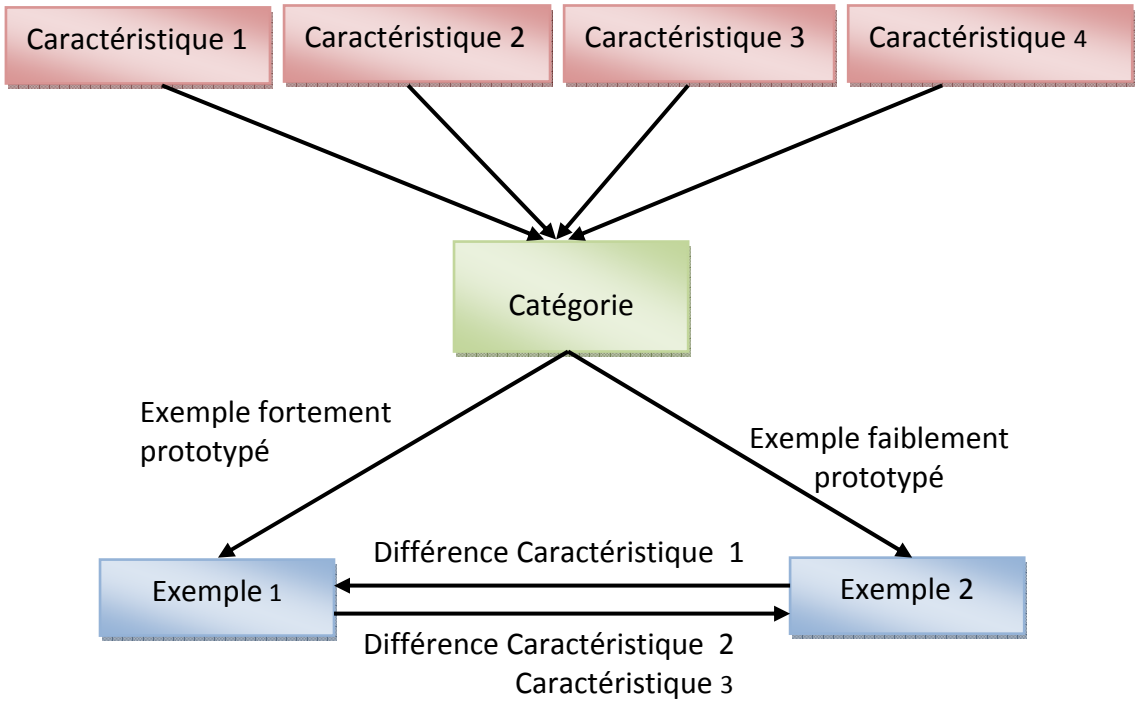

Figure 11 : Modèle d'organisation à base de catégorie

La recherche des cas similaires consiste à retrouver la catégorie qui possède les caractéristiques les plus proches du nouveau problème. Lorsqu'elle est trouvée, on retourne les cas les plus prototypiques.

4.4.3. Cycle de raisonnement du RàPC

Un cycle de raisonnement à partir de cas consiste à prendre en entrée un nouveau problème cible (pb_{cible}) et à être capable d'en inférer une solution (sol_{cible}) à partir des autres cas de la base, appelés cas source, et notés "cas_{source}". Les premiers à donner une description explicite des caractéristiques du RàPC et une méthodologie d'élaboration d'un système de RàPC sont Agnar Aamodt et Enric Plaza [Aamodt et Plaza, 1994]. Pour les auteurs, le RàPC s'effectue en un cycle de quatre étapes organisées autour d'une base de cas et de connaissances : la **remémoration** ("**retrieve**"), **l'adaptation** ("**reuse**"), **la révision** ("**revise**") et la **mémorisation** ("**retain**"). Le cycle proposé par Agnar Aamodt et Enric Plaza a constitué une base de réflexion sur le RàPC pour les années qui ont suivi. Des variations de ce cycle ont été proposées, précisant ou ajoutant certaines étapes. On peut notamment identifier une étape préalable qu'est **l'élaboration**, constituant ainsi le cycle montré sur la figure 12. [Fuch et al 2007]

• *Première étape ;* ***l'élaboration*** **:** avant de déployer l'ensemble du processus une étape préliminaire est nécessaire. Elle consiste à préparer un problème cible afin de le mettre en forme et à collecter des informations sur ses caractéristiques, en vue de l'étape de remémoration.

• *Deuxième étape,* ***la remémoration*** : la description du problème cible obtenue dans l'étape antérieure est utilisée pour rechercher un cas source dans la base de cas, similaire au problème cible.

À l'étape de remémoration, le système cherche dans sa base de cas le cas source dont la partie problème est "le plus similaire possible" à pb_{cible}. Cette notion de similarité entre cas a fait l'objet de nombreux travaux mettant en œuvre différentes mesures de similarité. Cette mesure de similarité peut-être de "surface", c'est-à-dire fondée sur des similarités de valeurs indépendamment de la signification des valeurs (e.g. la distance euclidienne), ou dépendante du domaine, auquel cas des connaissances peuvent entrer en jeu dans la remémoration.

L'objectif de cette étape est de disposer d'un cas déjà résolu qui fera l'affaire pour la suite du cycle. La pertinence du raisonnement dépend fortement de cette étape. **[**Fuchs et al 2007**]**

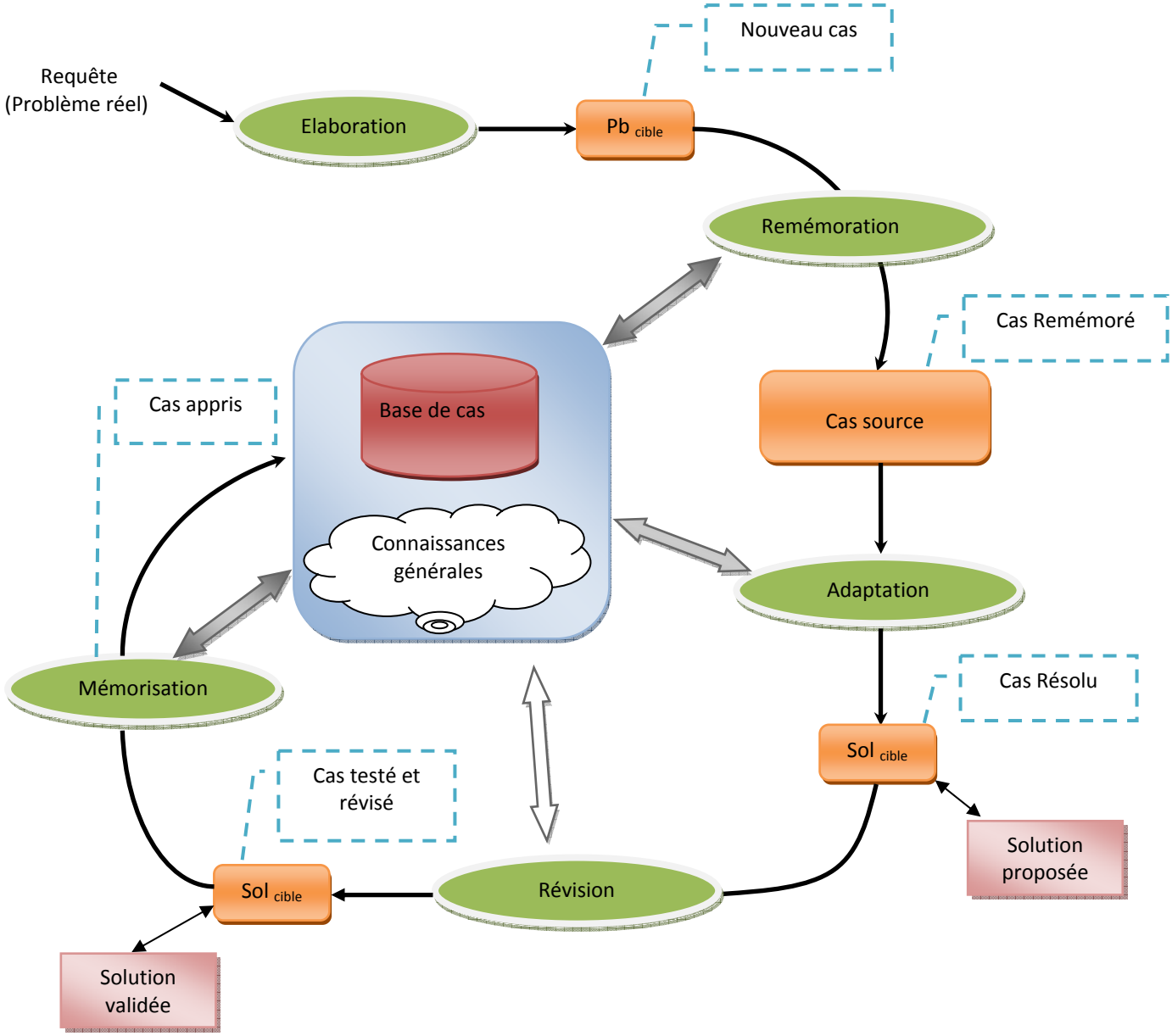

Figure 12 : Cycle de raisonnement du Ràpc (cycle Adapté de Aamodt 94)

• *Troisième étape,* ***la réutilisation et adaptation*** : une fois un cas source remémoré, (**srce**,**Sol**(**srce**)), la solution associée à celui-ci doit être adaptée aux conditions spécifiques du cas cible, puis testée pour vérifier son efficacité. Si le résultat n'est pas satisfaisant, la solution doit être adaptée.

Le processus d'adaptation cherche les différences les plus importantes entre deux cas, afin de les prendre en compte lors de la création d'une nouvelle proposition de solution. Cette nouvelle proposition est le résultat de l'application de certaines règles, heuristiques ou formules définies à l'avance dans le système du RàPC. Généralement deux types d'adaptation sont utilisés dans le RàPC : **l'adaptation structurelle[9] et dérivationnelle[10].**

• *Quatrième étape,* ***la révision*** : la solution obtenue pour le problème cible (**cible,Sol**(**cible**)) qui est en fait un nouveau cas, est alors testée afin de déterminer si **Sol**(**cible**) est une solution correcte du cas cible. Si ce test s'avère négatif, celle-ci devrait être modifiée jusqu'à ce que le test soit positif. Les erreurs, processus spéciaux, ou stratégies de modification de la solution, sont parfois aussi stockés comme faisant partie de la solution.

• *Cinquième étape,* ***la mémorisation*** : une fois que le nouveau cas (**cible,Sol**(**cible**)) a été validé, la nouvelle expérience peut être stockée et la mémoire mise à jour. Le stockage d'un nouveau cas, peut ne pas être pertinent si **cible,Sol**(**cible**)) est très proche d'un cas (**srce**,**Sol**(**srce**)) déjà existant dans la base de cas. Si cette situation arrive les deux cas peuvent être représentés par un seul cas qui les généralise ou ne pas considéré l'intégration du nouveau cas dans la mémoire.

4.5.LES MESURES DE SIMILARITES DANS LE CADRE DU RAPC

Comme on a déjà vu dans les sections précédentes, un système de raisonnement à partir de cas doit résoudre des problèmes (dans un domaine bien spécifique), en adaptant des solutions déjà utilisées pour la résolution d'anciens problèmes.

Les systèmes de raisonnement à partir de cas utilisent diverses techniques pour comparer une situation ou une description d'un problème (un cas) avec l'un des cas déjà connus. Le but de

[9] L'adaptation structurelle essaie de réutiliser, avec quelques modifications mineures, une solution trouvée précédemment dans une situation similaire.

[10] Dans l'adaptation dérivationnelle, le but est de stocker et d'adapter le processus de raisonnement qui a amené à la résolution d'un problème similaire.

recherche des cas est de retourner celui qui est le plus similaire à la description d'entrée (éventuellement retourner les cas les plus similaires). L'utilisateur donne une description du nouveau problème et le système cherche dans son historique de cas la description la plus ressemblante ou la plus similaire à cette description. Après, à travers une session de consultation de questions et de réponses, le système retourne les cas candidats, ce qui permet à l'utilisateur de sélectionner le cas qui semble être le plus approprié. [HAJ SAID 2004].

4.5.1. Evaluation de la similarité

Le concept de ***similarité*** peut être défini de trois façons différentes selon un ***prédicat binaire***, une ***relation de préférence*** ou une ***mesure*** [Richter 93]. Une formalisation de ces concepts est donnée dans [Auriol 1995]. Selon le prédicat binaire, deux objets sont similaires si et seulement si ils sont identiques. Selon une relation de préférence ou relation d'ordre, schématiquement, les cas similaires sont définis comme des cas situés au même niveau d'une hiérarchie. La relation de préférence ne résout pas le conflit du choix entre deux cas appartenant au même niveau de hiérarchie. La définition la plus connue et la plus utilisée du concept de similarité repose sur la donnée d'une *mesure de similarité.*

De manière générale, une fonction de similarité est définie dans un univers U qui peut être modélisé à l'aide d'un quadruplet [Bisson 2000]: (L_d, L_s, T, FS).

- Soit L_d le langage de représentation utilisé pour décrire les données.
- Soit L_s le langage de représentation des similarités.
- Soit T un ensemble de connaissances que l'on possède sur l'univers étudié.
- Soit FS la fonction binaire de similarité, telle que : FS : L_d x L_d Ø L_s

Lorsque, comme c'est souvent le cas, la fonction de similarité a pour objet de quantifier les ressemblances entre les données, le langage L_s correspond à l'ensemble des valeurs dans l'intervalle [0..1] et on parlera alors de *mesure de similarité*. On détaillera dans les sections suivantes la manière dont les éléments (L_d, L_s, T, FS) du modèle sont instanciés. On peut considérer que les fonctions de similarités interviennent dans trois types de traitement de données à savoir : *la classification*, *l'identification* et *la caractérisation*.

4.5.2. Classification des mésures de similarité

Bisson propose une classification des mesures de similarité en fonction du langage de représentation des données (L_d) et des connaissances utilisées sur l'univers (*U*) [Bisson 2000]**.** Il distingue notamment les similarités propositionnelle et relationnelle en fonction du langage de représentation utilisé pour décrire les données et les similarités informée et non informée en fonction de l'ensemble de connaissances que l'on possède sur l'univers étudié.

4.5.2.1. Mesure de similarité propositionnelle

Lorsque le langage de représentation des données est **propositionnel** (matrices, conjonctions de littéraux attribut-valeur), la mesure de similarité entre deux exemples ou individus fait intervenir des similarités locales entre les valeurs de chaque descripteur, puis les similarités locales sont agrégées pour produire une similarité globale. Chacune de ces deux étapes donne lieu à des choix cruciaux.

Selon le type des valeurs de descripteurs, différentes mesures de similarités locales peuvent être utilisées [Auriol 1995]**.** On peut citer en ce qui concerne les descripteurs monovalués (tableau 1**) :**

Similarité	Description	Auteur
0 si $v_1 \neq v_2$ 1 si $v_1 = v_2$	Nominale monovaluée	Michalski & Stepp
$\lvert v_1 - v_2 \rvert / ec(V)$	Numérique monovaluée	
h(nœud réunissant v_1 et v_2)/hauteur totale	Taxinomie monovalué	Xu

Tableau 1 : Mesures de similarité locales classiques pour comparer des attributs booléens.

D'après [Auriol 95] V : ensemble des valeurs possibles d'un descripteur v1 (resp v2): valeur d'un descripteur prise par le cas C1 (resp C2) ec(V) : valeur absolue entre les bornes inférieure et supérieure de l'ensemble V

h: hauteur d'un nœud dans un ensemble discret de descripteurs organisés hiérarchiquement

[Auriol 1995] présente un panorama des similarités globales « classiques », c'est à dire des méthodes d'agrégation de similarités locales.

En ce qui concerne les descripteurs booléens, les valeurs prises par les attributs peuvent être représentées sous forme d'une table de contingence à deux entrées **(tableau 2).**

C_1 /C_2	1	0
1	a	b
0	c	d

Tableau 2 : Table de contingence pour des vecteurs de données booléennes

- a = nombre de valeurs communes à C1 et C2
- b = nombre de valeurs présentes dans C1 et absentes dans C2
- c = nombre de valeurs absentes dans C1 et présentes dans C2
- d = nombre de valeurs absentes dans C1 et absentes dans C2

La similarité globale entre deux cas peut s'exprimer en fonction de a, b, c et d selon les formules suivantes (tableau 3):

Similarité	Description	Auteur
a/a+b+c	Indice de Jaccard : pondération égale	Jaccard
2a/2a+b+c	Valeurs communes avec pondération doublée	Dice
2a/a+2(b+c)	Valeurs différente ses avec pondération doublée	Rogers
½ (a/a+b)(a/a+c)	Moyenne arithmétique	Kulcynski
a √(a+b)(a+c)	Moyenne géométrique	Ochiai
a/a+b+c+d	Prise en compte de l'absence	Russel
a+d/a+b+c+d	Coefficient du « Simple matching »	Sokal
2(a+d)/2(a+b)+c+d	Valeurs communes et absentes avec pondération doublée	Rogers

Tableau 3 : Mesures de similarités pour comparer des attributs booléens [Auriol 1995]

Cependant, le plus souvent des descripteurs de tous types entrent en jeu. De façon plus générale, une similarité globale entre deux cas C_1 et C_2 décrits par p descripteurs peut se définir comme :

$$Sim\ (C_1,C_2) = F\ (sim_1\ (v_{11}, v_{21}), sim_1\ (v_{12}, v_{22}),\ldots, sim_1\ (v_{1p}, v_{2p}))$$

Où v_{1i} (resp. v_{2i}) est la valeur prise par C1 en ce qui concerne le $i^{ème}$ descripteur (resp.C2).

Où F : $[0,1]^p \rightarrow [0,1]$ est une fonction d'agrégation.

Le tableau 4 présente les mesures de similarité globale les plus utilisées dans la pratique.

Similarité globales	Description	Nom
$1/p \sum sim_i (v_{1i}, v_{2i})$	Plus court trajet dans une ville aux rues rectilignes	City-Block
$\sum \omega_i sim_i (v_{1i}, v_{2i})$	L'importance des descripteurs est pondérée	City-Block pondérée
$1/p \sqrt{\sum sim_i (v_{1i}, v_{2i})^2}$	Plus court chemin d'un point à un autre dans un espace euclidien	Euclidienne
$1/p \sqrt[r]{\sum sim_i (v_{1i}, v_{2i})^r}$	Généralisation de la précédente	Minkowski
$\sqrt[r]{\sum \omega_i sim_i (v_{1i}, v_{2i})^r}$	Importance des descripteurs pondérée	Minkowski pondérée
$\max_i \omega_i sim_i (v_{1i}, v_{2i})$	Distance « optimiste »	Maximum pondérée

Tableau 4 : Mesures de similarités classiques globales selon [Auriol 95]

ω_i : pondération associée au $i^{ème}$ descripteur sim_i : mesure de similarité locale relative au $i^{ème}$ descripteur v_{1i} (resp. v_{2i}) est la valeur prise par C1 en ce qui concerne le $i^{ème}$ descripteur (resp.C2)

4.5.2.2. Mesure de similarité relationnelle

Lorsqu'une entité est composite, elle est décrite par une liste d'objets liés entre eux par des relations où chaque objet est lui-même décrit par un ensemble d'attributs. C'est le cas, par exemple, des entités exprimées sous la forme d'une conjonction de prédicats instanciés. Dans ce cas, leur description comporte les caractéristiques de surface et de structure.

La mesure de similarité globale doit prendre en compte ces deux caractéristiques qui s'expriment en termes de similarité de structure et similarité de surface. Gentner propose une classification générale des mesures de similarité selon qu'elles se basent sur des critères plutôt de surface ou de structure **[**Gentner 1983]. Actuellement, les mesures qui sont utilisées en RàPC font le plus souvent intervenir des informations de surface. Les mesures de similarité dites littérales font intervenir un nombre aussi important d'attributs (surface) que de relations (structure).

Selon Auriol, les problèmes de calcul de similarité entre des objets complexes peuvent être apparentés aux problèmes connus de la théorie des graphes. Le calcul de similarité entre cas

correspond à l'explicitation de parties communes entre les cas et fait intervenir des procédures d'appariement entre graphes qui correspondent. Il existe plusieurs méthodes de calcul d'une distance entre deux graphes, souvent très coûteuses (problème NP-complet) [Auriol 1995]**.** La mesure de similarité structurelle utilisée dans KBG [Bisson 1993] vise à favoriser simultanément l'appariement des objets les plus similaires et de ceux qui sont les plus importants vis-à-vis du domaine étudié. L'algorithme consiste à calculer la similarité entre tous les couples d'objets possibles en propageant l'importance relative de chaque descripteur dans le graphe. Puis, il apparie les objets par mesure de similarité décroissante.

4.5.2.3. Mesure de similarité informée

Dans certains cas, il est possible d'utiliser des connaissances (d'ordre statistique ou symbolique) de l'univers étudié dans la définition de la mesure de similarité. Dans le tableau 4, les deux dernières mesures font intervenir une pondération des descripteurs. La détermination des pondérations à appliquer à chaque descripteur est également un atout essentiel pour adapter un système. Pour cette étape, les statistiques, l'acquisition des connaissances et les expériences peuvent permettre d'obtenir des indications. Dans le projet INRECA, un algorithme inductif permet l'apprentissage automatique de pondérations en fonction des classes découvertes dans un arbre de décision [Auriol 1995]**.**

4.5.3. Choix d'une mesure de similarité

La première question à poser est de savoir si la comparaison se fait par rapport à une référence (toujours par rapport à un même objet (cas)) ou si tous les objets sont comparés les uns par rapport aux autres. En RàPC, nous nous situons souvent dans le premier cas et la symétrie n'est pas nécessaire. Une question clé est de choisir une mesure de similarité en fonction de son pouvoir discriminant. Rifqi propose une méthode formelle pour mieux choisir une mesure de similitude en fonction d'un comportement discriminatoire défini préalablement. Le choix est facilité par une représentation graphique des mesures de similarité [Rifqi 2000]**.**

Chapitre 3

Etat de l'art des systèmes de recherche d'images dans le domaine médical

1. INTRODUCTION

Notre travail de recherche s'inscrit dans la problématique de la recherche d'images dans le domaine médical. Nous nous intéressons particulièrement dans ce chapitre aux différentes approches de représentation d'images ainsi que les différents systèmes de recherche d'images adoptant ces différentes approches et notamment ceux utilisés dans le domaine médical. Nous présentons aussi les langages d'interrogation proposés dans la littérature et ceux adoptés par ces systèmes afin d'identifier ceux qui sont les plus pertinents aux utilisateurs concernés du domaine médical.

2. MODELES DE DESCRIPTION D'IMAGES

La performance d'un système de recherche d'images est fortement liée à la méthode de description de l'image. Pour la même image, deux types de description sont possibles [Chebeir 2001]:

- *La* ***description objective*** représente l'image par le biais de ses caractéristiques physiques comme sa couleur, sa texture, ses formes, etc.

- *La* ***description subjective*** représente les éléments (objets) de l'image tels qu'ils sont perçus par l'humain. En d'autres termes, il s'agit de l'interprétation humaine de l'image. Par exemple, un radiologue décrit une radiographie pulmonaire à travers la tumeur visible dans le poumon droit. Martinet [Martinet 2004] classifie Les approches sur lesquelles se basent les Systèmes de Recherche d'Images (SRIm) se distinguent selon leur niveau de représentation du contenu des images :

– **le niveau signal** : l'image est considérée comme une matrice brute de pixels, et l'opération de recherche est effectuée selon une similarité visuelle sur des traits de bas niveau, comme les couleurs ou les textures présentes dans les images,

– **le niveau symbole** : l'indexation et la recherche sont fondées sur une interprétation sémantique du contenu de l'image.

Actuellement les systèmes disponibles utilisent uniquement les caractéristiques primitives (la couleur, la texture, la forme…etc.), autres systèmes associent une annotation manuelle (textuelle) avec des caractéristiques visuelles pour décrire les images. Autres systèmes utilisant des segments et caractéristiques locales sont restés loin d'identifier les objets d'une façon fiable. Aucun système n'offre l'interprétation des images ou même un niveau moyen de concepts de telle sorte qu'elle soit capturée avec le texte. Cette perte d'information de la représentation par les caractéristiques de l'image est appelé ***fossé sémantique*** [11](semantic gap). [Bissol 2005, Müller 2007a].

Le problème de la description sémantique des documents, bien qu'il se pose également pour le texte, se révèle avec davantage d'acuité dans le cas des images, en raison de la **subjectivité de leur interprétation**. Cette interprétation est souvent manuelle ou assistée, et donc à la fois subjective et incertaine : une même image peut être perçue très différemment selon le contexte (situation, lieu géographique, etc.) et selon les personnes, en fonction de leur culture, leur éducation, ou leurs affinités [Martinet 2004, Le Roux 2004].

2.1.LE CONTEXTE ET LE PARADIGME ORIENTE CONTEXTE

2.1.1. Définition

Par définition, le contexte[12] concerne *l'ensemble des* informations autour d'une image permettant d'orienter sa signification ou de la situer par rapport à un fait (ou à un évènement). Le

[11] Le fossé sémantique est le manque de concordance entre l'information que l'on peut extraire des données visuelles et l'interprétation des mêmes données qu'en fait un utilisateur dans une situation donnée [Bissol 2005].

[12] On peut distinguer *le contexte de l'utilisateur* et *le contexte de l'image*. Le contexte de l'utilisateur est déterminé selon un ensemble de variables dépendant de chaque individu tels que son vécu, ses connaissances, ses souhaits, etc. Le contexte de l'utilisateur est un facteur déterminant dans la perception de l'image par chaque individu.

contexte de l'image regroupe tout élément qui accompagne l'image et peut influencer son interprétation comme une bande-sonore ou un texte [Chebeir 2001].

Un exemple de texte qu'on peut associer avec l'image [Lee 2004] :

- Le nom de l'image
- Le texte associé avec l'image inclus dans la page web.

2.1.2. Systèmes de recherche d'images par le biais du contexte :

L'idée d'utiliser le contexte ou bien associer un texte avec l'image a été utilisé par les moteurs de recherche sur le web tels que lycos.com, google.com webseek [Lee 2004,] .La première génération de systèmes proposés de gestion de base d'images a adopté le paradigme orienté-contexte pour une raison évidente: les techniques de description et de gestion des informations textuelles sont étudiées depuis longtemps par la communauté scientifique [Chebeir 2001].

Dans le domaine médical, plusieurs systèmes de gestion d'images, nommés systèmes de communication et d'archivage d'images PACS[13], ont adopté ce paradigme [Mascarini 1996, Trayser 1994, Chu 1998, Tchounikine 1997]. En réalité, les PACS ont pour objectif de proposer un accès commun à une base d'images médicales destinée à un ensemble d'instituts médicaux (hôpitaux, laboratoires, universités, etc.). Il s'agit en général d'une ou de plusieurs bases de données (texte, images, vidéo, etc.) gérées par plusieurs systèmes. Les données médicales d'un patient contiennent des informations pertinentes et structurées permettant la recherche telles que le nom, l'âge, le sexe et la profession [Tagare 1997, Müller 2007b].

I.S.I.S. (Interactive System for Image Selection) est un système qui permet à l'utilisateur d'accéder à une base d'images médicales au format **PAPYRUS**[14]. Il fait partie d'un système

[13] PACS (Picture Archival and Communication Systems), est un système de gestion électronique des images médicales avec des fonctions d'archivage et de communication. Il rend possible le cycle suivant de gestion des images : acquisition sur les producteurs d'images, archivage électronique, communication via réseau et consultation, traitement et interprétation sur des stations. Le PACS repose sur le standard DICOM de communication et de description des images [Osman 1991] .

[14] Ce format est basé sur les normes standard de l'ACR-NEMA. Cette norme définie aux Etats Unis est actuellement mondialement reconnue mais elle ne définit qu'un protocole de communication d'images et non une norme de format de stockage. Le format PAPYRUS est donc une extension de la norme ACR-NEMA définissant un format de fichier permettant de stocker plusieurs images (enregistrées sous forme de messages ACR-NEMA) dans un seul fichier sur disque magnétique ou optique.

d'information hospitalier (HIS) DIOGENE [Trayser 1994, Ligier 1994]. **I.S.I.S**. fonctionne comme un navigateur *(browser).* I.S.I.S. ne propose qu'un moyen relativement simpliste d'accéder aux images. L'utilisateur sélectionne le patient concerné par la requête et choisit par la suite les images médicales pertinentes dans la liste des clichés proposés.

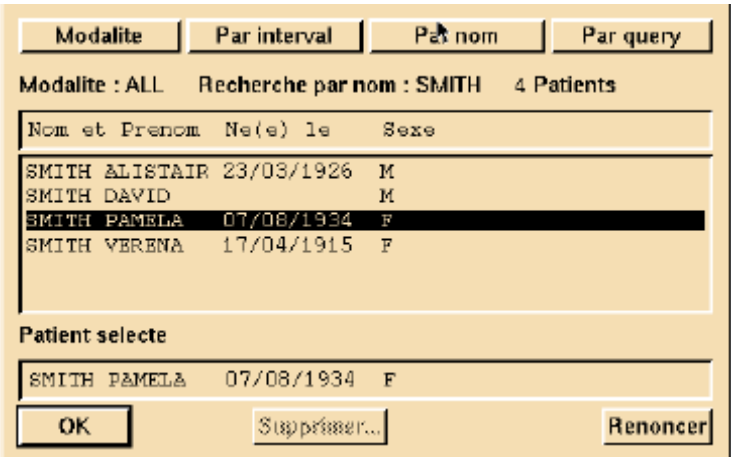

Figure 13 : Première interface proposée par I.S.I.S pour sélectionner des images

Sur le WEB, plusieurs systèmes ont été développés afin de proposer des interfaces de recherche d'images. **AMORE** (**A**dvanced **M**ultimedia **O**riented **R**etrieval **E**ngine) [Remco 2002] est un moteur de recherche d'images sur le WEB qui a adopté les paradigmes orienté-contexte et orienté-contenu. Il permet de rechercher des images grâce à des *mots-clés, des thèmes,* et des *comparaisons d'images.*

2.1.3. Synthèse portant sur la description de l'image par le biais du contexte

D'une manière générale, les systèmes décrivant l'image par le biais du contexte contiennent des informations très variables. Ces systèmes choisissent les attributs de description en fonction des objectifs du domaine d'application concerné. Ce paradigme étant *limité* à la description des images, il s'avère inefficace dans le domaine médical. Cependant, il doit être intégré dans la représentation de l'image médicale d'une part pour répondre aux requêtes basées sur les informations contextuelles et, d'autre part, pour compléter la description de l'image [chebeir 2001].

Par ailleurs, les besoins des utilisateurs et l'évolution de la recherche d'images ont conduit à un constat : les systèmes orientés-contexte ou contextuels sont très restrictifs et inappropriés. Une meilleure description du contenu de l'image est devenue une nécessité incontournable. [Chebeir 2001]

2.1.4. Limites des systèmes de recherche d'images basés sur le contexte

Le contexte (de l'image) peut parfois servir à décrire l'image. Il est ainsi primordial dans certains types de requêtes. Néanmoins, la description grâce au contexte présente certaines lacunes et limites : [Chebeir 2001]

- Les besoins des utilisateurs dans certains domaines, en particulier le domaine médical, nécessitent des modes de recherche différents basés sur le contenu de l'image. Par exemple, dans un traitement thérapeutique, le médecin est parfois amené à vouloir retrouver des cas en faisant intervenir certains attributs d'image tels que : la densité des objets, la texture, la position, la forme, etc. Ces attributs permettent au médecin de comparer les images et l'aident à établir son diagnostic. Dans la situation actuelle, le contexte seul est incapable de décrire les images de façon à satisfaire les requêtes des utilisateurs concernés.

- Le contexte n'existe pas nécessairement dans certains domaines. Ainsi, les images filmées par une caméra de surveillance, par exemple, ne contiennent pas d'informations contextuelles capables de décrire l'image. Les seules informations connues sont la date et le lieu de la scène. Par conséquent, l'utilisation d'un tel paradigme dans ce domaine d'application peut s'avérer inadéquate pour décrire l'image.

- Comme nous allons l'exposer plus loin dans ce chapitre, les méthodes de recherche d'images orientées-contexte sont limitées aux langages textuels et à l'hypermédia. Or, ceux-ci ne peuvent pas exprimer précisément et facilement tous les besoins de l'utilisateur.

2.2.LE CONTENU PHYSIQUE ET LE PARADIGME ORIENTE-CONTENU

2.2.1. Définition

Le paradigme orienté-contenu (ou le paradigme par abstraction) regroupe l'ensemble des systèmes qui proposent de **décrire les caractéristiques physiques de l'image.** Le paradigme orienté-contenu est basé sur un ensemble de mesures mathématiques comme les **histogrammes**, les **textures**, la **distribution des couleurs**, **forme et segmentation**, la **brillance**, etc. L'utilisation de ce paradigme a permis une nouvelle souplesse et une indépendance certaine vis-à-vis du type de l'image et du domaine d'application. [Chebeir 2001]

Dans ce paradigme, la description de l'image est réalisée au moyen de caractéristiques physiques avec pour objectif d'automatiser le processus d'indexation. En effet les caractéristiques physiques sont des paramètres calculés automatiquement à partir des valeurs des pixels de l'image. On parle alors de recherche par le contenu car des algorithmes spécialisés en traitement d'images sont appliqués sur le contenu de l'image pour en extraire des valeurs numériques. Ces valeurs pourront alors être utilisées afin de mesurer la ressemblance entre images afin de répondre aux requêtes des utilisateurs. [Le Roux 2004]

Plusieurs techniques et procédures d'analyse sont utilisées pour manipuler les caractéristiques physiques de l'image :

- La détection des bords (Edge detection) : permet de trouver les frontières délimitant des zones en fonction de l'intensité des couleurs de l'image (Figure 14).

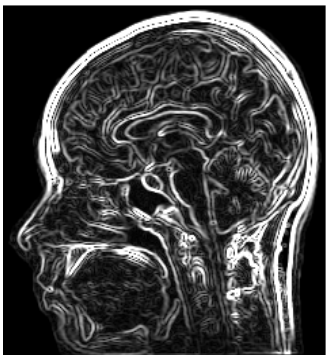

Figure 14 : Image d'un cerveau sur laquelle une procédure de détection des bords est exécutée

- Le seuillage binaire (Thresholding) : crée une image binaire de couleur blanche quand l'intensité lumineuse est inférieure à une certaine valeur et noire dans le cas contraire (Figure 15).

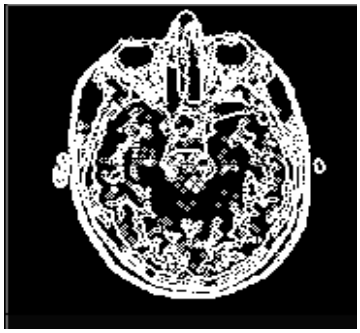

Figure 15 : Image d'un cerveau où une procédure de transformation binaire est exécutée.

- Le suivi du contour (Contour drawing) : calcule et trace les points de jointure d'une région ayant les mêmes attributs (Figure 16).

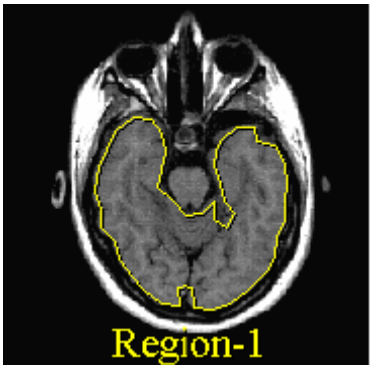

Figure 16 : Image segmentée par région

Des procédures de reconnaissance de formes sont également utilisées [Brooks 1981, Connell 1987, Strat 1991]. Ces procédures permettent, par l'intermédiaire d'une base de connaissances, d'identifier les objets d'une image. Les domaines de la reconnaissance de visages [Chellappa 1995a, Bach 1993] et de caractères (Manuscrits) [Lim 1996] ont connu un grand succès.

Les techniques utilisées pour calculer les caractéristiques physiques d'une image, étant basées sur des mesures mathématiques, permettent d'automatiser la procédure de recherche de l'image soit en calculant une distance de similarité entre deux images, soit entre deux portions de l'image, soit en comparant la position de deux objets dans une image. L'utilisateur peut donc comparer une image à l'ensemble des images de la base et trouver celles qui sont les plus pertinentes. [Chebeir 2001].

2.2.2. Fonctionnement général des systèmes CBIR

Le principe de fonctionnement d'un système de recherche d'images décrit par le Roux [Le Roux 2004] consiste à extraire ou à construire à partir de chaque image un résumé descriptif (la signature) à l'aide de traitements informatique appropriés puis à effectuer les opérations nécessaires d'identification et de recherche à partir de signature ainsi obtenues.

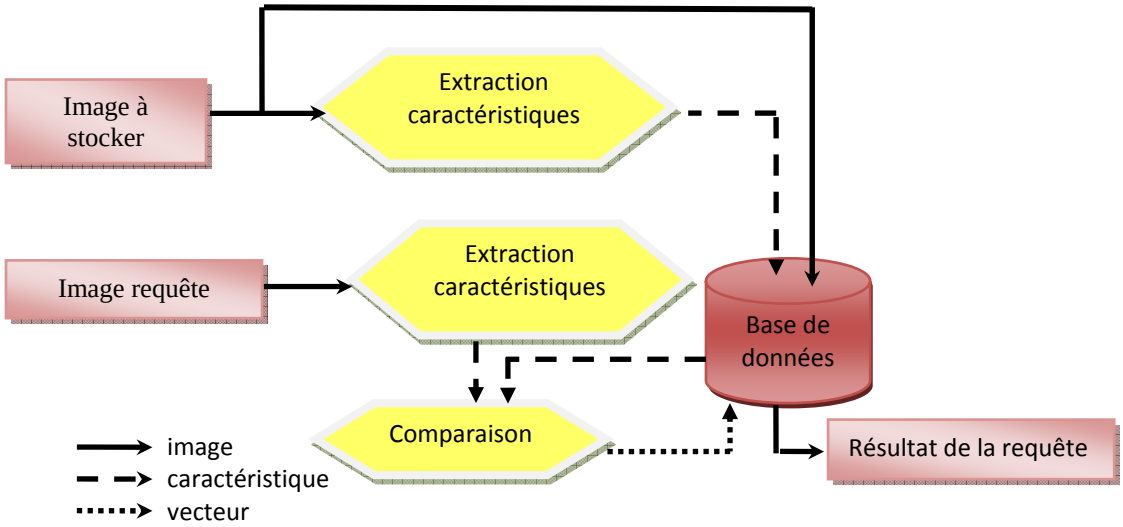

Figure 17 : Architecture générale d'un système de recherche d'images par le contenu

Dans une telle approche, les images de la base de données sont représentées par un vecteur de caractéristiques, élément de l'espace d'indexation. La détermination de ce vecteur de caractéristique constitue la problématique de l'indexation basée sur le contenu. Ce vecteur est constitué de caractéristiques correspondant à différents descripteurs qui sont, par exemple, la couleur, la texture et la forme. Il est stocké avec l'image auquel il se rapporte dans la base de données. Les requêtes sur la base s'effectuent généralement sous la forme d'une image requête. Lors d'une requête, le système extrait le vecteur de caractéristique de l'image requête et le compare à ceux des images préalablement indexées. Cette comparaison s'effectue dans l'espace d'indexation et nécessite la définition d'une distance particulière. Le résultat de la requête est constitué des images de la base de données les plus proches de l'image-requête dans l'espace d'indexation et au sens de la distance choisie. [Tristan 2004]

2.2.3. Méthodes de recherche d'images par le contenu

Les recherches basées sur le contenu physique de l'image peuvent porter sur ses caractéristiques physiques globales et locales. Les caractéristiques physiques globales concernent l'image entière

alors que les caractéristiques physiques locales concernent ses objets [Müller 2007a]. Pour décrire les caractéristiques physiques locales, nous utilisons souvent la distribution des couleurs [Swain 1991 et Ciocca 1998], les histogrammes des couleurs [Ashley 1995], la texture [Baldi 1999], la transformée de Fourrier [Oppenheim 1975], etc. L'utilisation des caractéristiques physiques globales possède différents avantages [Chebeir 2001]:

- L'interrogation des caractéristiques globales de l'image est mieux adaptée aux requêtes qui touchent à la globalité de l'image. "Trouver les images dont le rouge est la couleur dominante" est un exemple type de requête basée sur les caractéristiques physiques globales de l'image.
- Les caractéristiques physiques globales de l'image sont utilisées lors de la détection des images (ou frames) dans une vidéo afin d'identifier les changements de scènes.
- L'extraction des caractéristiques physiques globales nécessite un temps de calcul faible.

L'inconvénient majeur de cette utilisation concerne le nombre important d'images non pertinentes obtenu lors d'une requête basée sur des caractéristiques physiques globales.

Les caractéristiques physiques locales de l'image portent quant à elles sur la forme des objets [Huet 1998 et Berchtold 1998], leurs bordures [Gelgon 1999, lkonomakis 1999], la disposition des couleurs [Ooi 1998], etc. Le choix de ces caractéristiques locales et de leurs méthodes d'extraction dépend du domaine d'application. Par exemple, dans une radiographie, nous nous intéressons aux formes, positions et dimensions, tandis que dans une IRM, les couleurs sont plus importantes.

2.2.3.1. Méthodes d'interrogation par la couleur

Plusieurs méthodes de recherche d'images orientées-couleur ont été proposées dans la littérature. L'intérêt principal de l'attribut de couleur est d'être indépendant de la taille de l'image et de son orientation. La représentation de cet attribut se fait le plus souvent sous forme d'histogramme. Différentes techniques permettant de comparer les histogrammes entre eux afin de pouvoir mesurer la similarité. Ces techniques permettent non seulement d'établir une approximation de l'histogramme d'origine mais facilite le stockage et la recherche au sein de grandes bases de données d'images [Le Roux 2004, Lee 2004]

2.2.3.2. Méthodes d'interrogation par la Texture

L'interrogation par la texture peut s'effectuer de la même manière que celle par la couleur (sélection des textures exemples, présentation d'images modèles). Les techniques suivantes sont utilisées pour mesurer la similitude entre les textures : le degré de contraste [Tam 78], la périodicité [Liu 96], les filtres de Gabor [Man 96]. Récemment, la transformée en ondelettes ouvre un autre cadre de travail pour la représentation de la texture [Landré 2001].

2.2.3.3. Méthodes d'interrogation par la forme et segmentation

L'interrogation par la forme est une des méthodes les plus judicieuses. Elle permet de comparer deux images ayant des objets de même forme [Chebeir 2001]. On propose à l'utilisateur de formuler sa requête en utilisant soit une image modèle, soit des formes prédéfinies à comparer à l'ensemble des images stockées dans la base. Les recherches basées sur la forme donnent également des résultats assez satisfaisants.

2.2.3.4. Méthodes d'interrogation par l'aspect spatial

Les méthodes d'interrogation par l'aspect spatial consistent à analyser les relations spatiales (directionnelles, métriques, topologiques, etc.) entre les caractéristiques de l'image. Les relations spatiales sont souvent calculées en fonction de la forme [Hou 1992], et de la couleur [Stricker 96, Smith 96, Smith97a, Smith 97b]. Une autre méthode de calcul basée sur les relations spatiales entre les objets dans une image [Chang 88, Chang 91, Gudivada 1995] permet de mieux s'adapter à la perception humaine de l'image.

2.2.4. Les Systèmes CBIR généraux

La première utilisation du terme « recherche d'images par le contenu (en anglais : **Content-Based Image Retreival- CBIR**)» dans la littérature a été faite par T.Kato. Il s'agissait de rechercher des images à l'aide de caractéristiques de bas niveau (telles que la couleur, la texture et la forme) pouvant être extraites automatiquement des images elles-mêmes. A partir de là le terme a été utilisé pour décrire le processus de recherche d'images dans une base de données à partir de toutes les caractéristiques. Les caractéristiques utilisées pour la recherche peuvent être numériques ou sémantiques, mais le processus d'extraction doit être de manière prédominante automatique [Quellec 2008].

Plusieurs systèmes de recherche d'images sont maintenant disponibles sur le marché. Certains sont commercialisés avec une démonstration sur le WEB, d'autres restent en phase expérimentale. Nous avons choisi certains systèmes et prototypes parmi les plus connus :

Le **système Q.B.I.C.**[15] (**Q**uery **B**y **I**mage **C**ontent) développé dans le centre de recherche IBM d'Almaden [Remco 2002], est considéré comme le système de recherche d'images le plus connu. Il gère non seulement une collection d'images hétérogènes, mais aussi des vidéos. Dans Q.B.I.C., la description du contenu de l'image est automatique. Elle est réalisée par le biais des procédures de reconnaissance de formes, d'extraction des contours des objets de l'image, des textures et de l'histogramme de couleurs. Q.B.I.C. propose également de décrire le contenu de l'image par le biais de mots-clé. [Chebeir 2001]

Le **système VIPER**[16] [Remco 2002], Développé par l'Université d'Hôpitaux de Genève, VIPER (Visual Information Processing for Enhanced Retrieval).

Photobook[17] [Pentland 1995] propose une interrogation par le biais de la couleur, la texture, la forme, et autres caractéristiques physiques. Une autre application considérée comme la plus connue est **VisualSeek**[18] [Remco 2002]. Développée à l'université de Colombie, elle permet une interrogation basée sur la couleur, la forme, l'aspect spatial, et les mots-clés, c'est un outil web pour la recherche d'images et vidéos. **WebSeek**[19] [Remco 2002] est un système qui permet, par le biais d'agents, de rechercher des images sur le WEB à travers les caractéristiques physiques. Les images sont également indexées par mots-clés, c'est un système dérivé de WebSeek. **Blobworld** [Müller 2007a], **PicHunter** [Müller 2007a], **GNU Image Finding Tool (GIFT)**[20] [Müller 2007a] est un outil de recherché libre développé par le projet **Viper**. **CIRES**[21]: Un système de

[15] http://wwwqbic.almaden.ibm.com

[16] http://viper.unige.ch/

[17] http://vismod.media.mit.edu/vismod/demos/facerec/basic.html

[18] http://www.ctr.columbia.edu/VisualSEEk/

[19] http://www.ctr.columbia.edu/webseek/

[20] http://www.gnu.org/software/gift/

[21] http://amazon.ece.utexas.edu/~qasim/research.htm

recherché d'image base sur le contenu qui utilise une description de haut niveau (organisation perceptuelle, etc.) et une description de bas niveau (couleur, textures, etc.) pour identifier les images.

2.2.5. Limites des systèmes de recherche d'images généraux

Les premiers systèmes de recherche d'images, sont pour la plupart, dédiés à la recherche des photographies couleur, sans spécificité particulière. Ces systèmes utilisent principalement des caractéristiques de bas niveau comme la couleur, la texture ou la forme et n'inclus pas de l'aspect sémantique, ils sont de plus en plus été développés principalement pour des images « générales et ne tiennent pas compte des spécificités des images médicales. Par conséquent, vu les besoins importants en systèmes de recherche d'images médicales, le développement de systèmes de recherche d'images dédiés à ce type d'images est une nécessité. [Tristan 2004]

2.2.6. Systèmes de recherche d'images adaptés au domaine médical

Les méthodes de recherche d'images par le contenu, spécifiques au domaine médical, peuvent être regroupées en plusieurs catégories [Quellec 2008]:

- Les méthodes basées sur la segmentation de formes d'intérêt telles que des lésions, ou de régions. En général, il n'est pas possible d'extraire automatiquement toutes les formes d'intérêt. Ainsi, des experts médicaux sont sollicités pour déterminer des régions d'intérêt (human/physician in the loop approach).

- Les méthodes consistant à caractériser l'agencement des formes intéressantes (organes, lésions,…) présentes dans l'image à l'aide d'un graphe topologique, qui sert alors d'index à l'image.

- Les méthodes basées sur l'extraction de descripteurs bas niveau connus pour bien caractériser les pathologies étudiées.

- Les méthodes basées sur la caractérisation de la couleur, de la texture ou de formes génériques. Contrairement aux bases d'images quelconques, nous pouvons sélectionner ou pondérer les attributs discriminants, car nous connaissons l'usage qu'en font les utilisateurs.

2.2.6.1. Particularités de ces systèmes

Les particularités requises pour les systèmes adaptés au domaine médical proviennent, entre autre, des particularités des images médicales elles-mêmes. IL existe une grande variété de modalités d'acquisition d'images médicales, les images fournies par les différentes technologies sont très différentes en termes de résolution, contraste et rapport signal sur bruit. Elles sont très spécialisées et produisent des images porteuses d'informations différentes sur l'anatomie, la physiologie ou le métabolisme du patient. Les images médicales sont de plus des images d'intensité, qui portent moins d'informations que l'image couleur. Il arrive néanmoins que des images multi modalités d'un même patient soient acquises (comme par exemple des images IRM et ultrasonores d'une même zone) mais ces images sont, la plupart du temps ne sont pas recalées et nécessitent une procédure préalable de recalage qui s'avère complexe dans le cas de structures déformables. De plus, les images médicales peuvent être basse résolution et très bruitées. Elles sont de ce fait difficiles à analyser automatiquement pour en extraire des caractéristiques. [Tristan 2004]

En outre, comme mentionné par Kak et al en [Kak 2002], la recherche d'images médicales doit la plupart du temps être effectuée selon des zones porteuses de pathologie précisément délimitées sur les images difficilement détectables automatiquement dans le cas général. Elle doit donc faire appel à une indexation locale des images, alors que la plupart des systèmes traditionnels se limitent à des caractéristiques globales. Ainsi les systèmes CBIR adaptés au domaine médical nécessitent un haut niveau d'interprétation du contenu des images, ce qui reste aujourd'hui largement hors de portée des systèmes traditionnels.

Enfin un niveau élevé de précision et de pertinence des requêtes effectuées sur ces systèmes est indispensable pour rendre ces systèmes dignes de confiance dans un contexte clinique [Tagare 1997].

Par conséquent, comme le remarque Lehman en [Lehman 2000], la plupart des systèmes CBIR dédiés au domaine médical restent très spécifique à une application et à un type d'images particulières.

2.2.6.2. Quelques systèmes

Un nombre non négligeable de systèmes CBIR adaptés au domaine médical ont néanmoins été proposés. Chu et al [Chu 1998] présentent un système de recherche d'images dédié aux IM du cerveau qui indexe les images essentiellement sur la forme de la région ventriculaire. Korn et al [Korn 1998] proposent un système de recherche de tumeurs dans les images mammographiques. Comaniciu et al [Comaniciu 1998] décrivent un système visant à aider les médecins au diagnostic des troubles lymphoprolifératifs du sang. Néanmoins, une description de l'utilisation clinique de ces systèmes est assez rare [Müller 2007a], excepté pour le système **ASSERT** [Remco 2002], qui est dédié aux images HRCT du poumon et intègre des informations fournies par les médecins(comme des repères anatomiques et des régions porteuses de pathologie) et le système **IRMA** [Lehman 2000], qui propose une approche multi-étapes très complète pour la classification des images d'après leur modalités, leur angle de vue et la région anatomique à laquelle elles correspondent.

medGIFT(http://www.sim.hcuge.ch/medgift/w01_Presentation_EN.htm) développé par le service d'informatique médicale des hôpitaux universitaire de Genève. Est l'un des pionniers des systèmes de recherche d'images médicales par le contenu.

Le tableau 5 présente un aperçu extrait de [Müller 2007a] des principaux systèmes CBIR médicaux existant et des types d'images auxquels ils sont dédiés. La variété des systèmes existant provient en grande partie de la grande diversité des types d'images médicales et de la spécificité des systèmes qui en découle.

Images utilisées	**Noms des systèmes**
HRCT du poumon	ASSERT
TEP fonctionnelles	FICBDS
Rayons X de la moelle épinière	CBIR2,MIRS
Images pathologiques	IDEM, I-Browse, Path Finder, Path Master
CT de la tête	MIMS
Mammographies	Tweed et al , APKS
Images issues de la biologie	BioImage, BIRN
Dermatologique	MELDOQ, MEDS
Images variées	I2C,IRMA, MedGIFT, COBRA, KMed, ImageEngine

Tableau 5 : Différents type d'images et systèmes utilisant ces images [Müller 2007a]

2.2.7. Limites de la description de l'image par ses caractéristiques physiques

Malgré le réel succès actuel du paradigme orienté-contenu, le problème de la recherche d'images reste ouvert. La recherche des images par les caractéristiques physiques demeure en effet inappropriée dans plusieurs domaines. La description du contenu physique de l'image se heurte ainsi à plusieurs problèmes dans le domaine médical :[Chebeir 2001]

-*La variété et la complexité du corps humain* : Par exemple, la recherche d'une forme circulaire dans une base d'images médicales pourrait correspondre aux radiographies cérébrales ou à des images de cellules.

-*La pertinence :* La recherche d'une image médicale qui se baserait uniquement sur ses caractéristiques physiques pourrait s'avérer inappropriée si l'utilisateur ne s'intéresse qu'au contenu de l'image. Par exemple, deux échographies contenant les mêmes objets mais prises chacune avec une rotation, et une incidence différente, ont de grandes chances d'être jugées non-similaires par un système basé sur un calcul de similarité entre caractéristiques physiques. Les composants de l'image médicale sont plus importants et plus significatifs pour l'utilisateur final que l'image elle-même. Dans ce cas, il est recommandé d'utiliser une méthode de recherche indépendante des supports physiques, de l'incidence, de la rotation, du zoom, etc. afin de garantir une cohérence et une efficacité maximales.

-*La limitation des outils de recherche utilisés* : Les méthodes de recherche d'images proposées dans littérature (« sketching », sélection des couleurs, dessin des images, comparaison entre deux images, etc.) sont limitées et orientées-domaine. Elles ne prennent pas en considération le type d'utilisateur ni sa perception de l'image. De plus, aucun environnement adapté et personnalisable n'est proposé.

-*La multiplicité des images médicales* : Le domaine médical fait partie des domaines dans lesquels plusieurs techniques d'acquisition sont utilisées (Scanner, IRM, échographie, etc.). Or, chacune nécessite un type particulier de traitement d'images et de descripteurs spécifiques

2.2.8. Synthèse portant sur la description de l'image par ses caractéristiques physiques

La description des caractéristiques physiques de l'image offre certains avantages : elle est souvent automatisable, et permet l'interrogation graphique. Des méthodes d'interrogation par la couleur, la texture, la forme, etc. ont été proposées. Les résultats obtenus sont assez satisfaisants. Le grand avantage de ces méthodes réside dans leurs bonnes performances.

Cependant, dans le domaine médical, les utilisateurs recherchent régulièrement des concepts (des anomalies) indépendamment du support d'imagerie utilisé. Or, ces méthodes ne proposent aucune compréhension de l'image ni de son contenu tel qu'il est perçu par l'utilisateur.

2.3. LE CONTENU SEMANTIQUE DE L'IMAGE ET LE PARADIGME ORIENTE SEMANTIQUE

Le paradigme orienté-sémantique (ou le paradigme par classification) tente de donner un sens à l'image telle qu'elle est perçue par l'être humain. Il correspond à la description subjective de l'image traduite par des moyens textuels. Or, comment pouvons-nous interpréter une image de manière universelle ? Chaque image a un sens qui dépend de l'individu et qui peut varier en fonction du temps. Pour pallier ce problème de subjectivité, une des solutions proposées consiste à subdiviser l'image en plusieurs objets sémantiques. Ces objets composants sont évidemment différents selon la nature de l'application (CAO, cartographie, médecine, etc.). Ils sont décrits par leur sémantique et par les relations qui existent entre eux (Figure 18). La description des objets est souvent effectuée manuellement (ou semi-automatiquement [Chu 98]) lors du stockage. Certains systèmes, tel que [Chu 98] dans le domaine médical, utilisent le contenu physique de l'image (forme, couleur, etc.) comme base pour décrire son contenu sémantique. Cette technique de description est basée sur des méthodes de reconnaissance de formes. Par conséquent, elle dépend des limites et des avantages de ces méthodes.

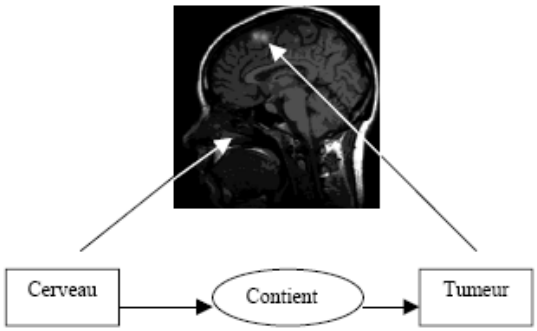

Figure 18 : Exemple d'une description de radiolographie cérébrale par le contenu sémantique

2.3.1. Méthodes de description du contenu sémantique de l'image

Les méthodes de description du contenu sémantique de l'image sont nombreuses. Elles sont basées sur la perception et l'interprétation humaine. Elles peuvent être classées en deux catégories : les méthodes textuelles et les méthodes visuelles.

La méthode textuelle la plus commune est celle des **mots-clés**. [Chebeir 2001, Müller 2007a] La plupart des systèmes de recherche d'informations (SRI) s'en servent pour la description d'un corpus.

Cependant, cette méthode est trop restrictive. Si nous nous intéressons aux « *images médicales* », le mot « *image* » seul, sera inadapté. Pour éviter ce problème, on a recours à la logique booléenne dans l'expression des requêtes. La logique booléenne fournit plusieurs connecteurs de mots-clés : ET, OU, NON, et PRÈS ou COMME.

La deuxième catégorie de méthodes de description du **contenu sémantique** de l'image est celle de la **description visuelle** [Müller 2007a]. Pour décrire une image, l'utilisateur utilise plusieurs représentations visuelles (métaphores) comme des icônes, des images de comparaison, des outils de dessin, etc. Chaque représentation visuelle est associée à un concept dans le domaine d'application. Par une simple action (déplacement d'une icône, dessin d'une forme, choix d'une couleur, etc.) de la part de l'utilisateur, le contenu sémantique de l'image est décrit et transformé en un ensemble de descripteurs textuels. Nous détaillons un peu plus loin dans ce chapitre les langages d'interrogation associés à chacune de ces méthodes.

2.3.2. Systèmes de recherche d'images par le contenu sémantique

Ces dernières années, l'apparition des systèmes de gestion d'images qui ont adopté le paradigme orienté-sémantique a beaucoup augmenté. La plupart de ces systèmes utilise les mots-clés comme moyen de description d'image. Nous citons :

Le système KMeD (**K**nowledge-based Multimedia **Me**dical Distributed **D**atabase System) de [Hsu 1996, Chu 1998] est un des PACS les plus connus. Il se caractérise par sa capacité à prendre en considération l'évolution du contenu (par exemple une tumeur) de l'image médicale. Les images utilisées dans ce système sont les radiographies et les IRM. L'extraction des attributs images est effectuée grâce à des techniques de segmentation [Pietka 1991a et Pietka 1991b]

Le système EMIR² [Mechkour 1995], une extension de RIME [Berrut 1988], propose de rechercher des images par le contenu physique et sémantique.

Un autre système très intéressant est **IM-DBMS**. Dans IM-DBMS, deux bases séparées sont utilisées pour stocker les images : d'une part, la base physique pour le stockage des images, et d'autre part la base logique pour le stockage des descripteurs des images.

Certains systèmes, tel que [Chu 1998] dans le domaine médical, utilisent le contenu physique de l'image (forme, couleur, etc.) comme base pour décrire son contenu sémantique. Cette technique de description est basée sur des méthodes de reconnaissance de formes. Par conséquent, elle dépend des limites et des avantages de ces méthodes. Rivage [Hal 1989], QBIC [Niblack 1993, Fli 1995, Nib 1997], iBase (http://www.ibase.com), Index+ (http://www.ssl.co.uk), Digital Catalogue (http://www.imageres.com), Fastfoto (http://www.picdar.co.uk/index2.html), FotoWare (http://www.fotoware.com), etc. D'autres systèmes plus efficaces existent et utilisent d'autres moyens pour décrire le contenu sémantique des images. IRIS [Her 1995], le système de [Che 1998], FourEyes du MIT [Min 1996], et Chabot [Ogl 1995], renommé cypress, utilisent le contenu physique de l'image et, à travers une base de connaissances et parfois l'intervention humaine, trouvent les objets dans l'image.

2.3.3. Synthèse portant sur la description de l'image par le contenu sémantique

La description du sens associé à l'image demeure une tâche assez complexe. Elle dépend de plusieurs facteurs, tels que le domaine d'application, la personne qui regarde l'image, son niveau d'expertise, etc. La complexité d'un tel paradigme réside dans la détermination des objets sémantiques pertinents de l'image et de leurs relations.

La description du contenu sémantique de l'image est souvent effectuée manuellement :

- Par le biais des mots-clés qui décrivent les objets sémantiques de l'image.
- Par le biais d'un texte (légende) indexé de façon classique.

Par ailleurs, d'autres systèmes, comme IRIS [Hermes 1995], le système de [cheng 1998], FourEyes du MIT [Minka 96], KMeD [Hsu 1996], et Chabot [Ogle 1995], proposent de décrire le contenu sémantique de l'image via son contenu physique. Ces systèmes se développent de plus en plus et ont beaucoup de succès. La grande difficulté de la conception de ses systèmes réside dans la représentation de connaissances effectuée actuellement de manière restreinte.

2.3.4. Limites de la description par le contenu semantique de l'image

Avec l'intégration de la perception humaine, la description de l'image par le contenu sémantique a donné plus de souplesse à l'expressivité des requêtes. D'ores et déjà, l'utilisateur peut rechercher des images selon sa propre interprétation.

Cependant, plusieurs limites restreignent ce paradigme : [chebeir 2001]

-*L'absence d'une description universelle* : Chaque description du contenu sémantique de l'image présente une vue particulière et correspond à un besoin spécifique du domaine d'application. Or, le point de vue de l'expert qui stocke les images n'est pas forcément le même que celui de la personne qui les recherche.

-*La perte d'information* : Une grande perte d'information a lieu au moment où l'on remplace une image par un ensemble de descripteurs décrivant les objets de l'image. Par exemple, la description d'une image satellite de la lune pourrait ignorer les autres étoiles non reliées à l'étude.

-*L'imprécision dans la description :* La représentation des objets avec des approximations (Minimum Bounding Rectangle, centre de gravité, Morphological Skeleton Transform, etc.) ont une très grande influence sur l'efficacité et la précision du SRI. Dans le domaine médical, ces deux aspects sont d'une importance capitale.

Par ailleurs, l'aspect spatial de l'image en terme de relations entre objets a subi plusieurs imperfections dues à la translation, modification de l'échelle, les rotations parfaites ou multiples, ou n'importe quel type de combinaison de transformations spatiales. A titre indicatif, le contenu spatial de radiation chirurgicale ou thérapeutique des tumeurs cérébrales est réellement décisif puisque la position de la tumeur a de profondes implications dans la décision thérapeutique.

-*Le coût élevé en temps* : La description du contenu sémantique de l'image est souvent manuelle. D'après Eakins [Eakins 1999], l'indexation d'une photographie prend en moyenne 7 minutes.

-*L'absence d'une prise en considération de l'évolution du contenu de l'image* : Dans certains domaines, l'interprétation de certains objets peut évoluer. Par exemple, dans le domaine médical, certaines anomalies n'étaient pas identifiées il y a 10 ans. Les solutions proposées n'ont pas pris en compte cet aspect important dans la description de l'image.

-*L'absence d'une base de connaissances spatiales* : Dans les systèmes hybrides, l'identification est limitée à un nombre restreint d'objets et ne peut pas être appliquée à plusieurs types d'images.

3. TABLEAU RECAPITULATIF DES PARADIGMES DE DESCRIPTION D'IMAGES

Méthode de description	Avantages	Inconvénients	Technique utilisé	Systèmes existants
Contexte	-Simplicité de gestion, d'utilisation et d'implémentation	• Description incomplète parfois impossible de l'image • Moyens d'interrogation limités	• Mots clés • Analyse textuelle	• ISIS • AMORE • ……..
Contenu	-Rapide -Objectifs -Moins couteuse -Interrogation graphique et visuelle	• Non adapté aux non informaticiens • Absence de compréhension de l'image	• Histogramme de couleur • Texture • Forme • Segmentation	• QBIC • Photobook • VisualSeek • WebSeek • Viper • IRMA • MedGIFT • Assert • …..
Sémantique	• Vision humaine • Moyens d'interrogation graphiques et visuels • Adaptés aux utilisateurs non informaticiens	• Interprétation subjective • Couteuse • Nécessite l'intervention humaine	• Mots clés • Analyse textuelle • Icones	• EMIR2 • KMeD • …..

Tableau 6: ***Tableau récapitulatif des paradigmes de description d'image [Chebeir 2001]***

3. LES TECHNIQUES RAISONNEMENT A PARTIR DE CAS POUR LA RECHERCHE D'IMAGES MEDICALES

Dans le domaine médical, l'utilisation de l'approche RàPC se mble particulièrement intéressante dans le sens où le type de raisonnement utilisé dans la démarche diagnostique repose essentiellement sur l'expérience liée à la résolution de cas rencontrés dans la pratique. La présentation des cas du passé à l'utilisateur permet en effet à celui-ci de s'orienter rapidement vers une solution et permet de justifier ces solutions par l'exemple. Le RàPC est ainsi une alternative possible à la problématique de la gestion des connaissances dans le domaine médical.

Plusieurs systèmes d'aide à la décision utilisent le principe RàPC dans le domaine de l'imagerie médicale. L'un des tous premiers systèmes de RàPC est **CASEY** qui est dédié au diagnostic cardiaque. On trouve aussi concernant **PROTOS** pour les problèmes d'audition. **ISIS**, par exemple permet une remémoration de cas d'interprétation de scanners, échographie ou IRM. Le système développé a été évalué et est en cours d'intégration dans un service de radiologie afin d'être utilisé en pratique quotidienne. **Mac-Rad** permet également la remémoration d'images morphologiques de référence (radiographie standard, scanners, RMN, et angiographie). **ImageCreek** associe un module de segmentation des images et un module de RPC et met l'accent sur une interprétation à deux niveaux- segmentaire et globale – de l'image. Dans le domaine de la pathologie, **IVY** est dédié à l'aide au diagnostique des tumeurs pulmonaires. A partir de nombreux cas de départ, des cas « paradigmatiques » sont identifiés. Chacun d'entre eux est susceptible de représenter une classe. Le système propose un appariement, la phase d'adaptation n'est pas réalisée. La particularité de **DIAGMED**, développé dans le domaine de la pathologie rénale, est l'utilisation des logiques terminologiques pour la représentation des connaissances. **CASIMIR** non protocolaire est dédié au cancer du sein, **MNAOMIA** [Bichindaritz 2004,2005] est dédié troubles du comportement alimentaire et enfin on retrouve des travaux concernant l'imagerie médicale **IDEM** (Image et Diagnostique par l'Exemple en Médecine).

4. LANGAGES DE RECHERCHE D'IMAGES

Rechercher une image n'est pas une tâche facile. Pour trouver les images qui répondent à ses besoins, l'utilisateur dispose de plusieurs méthodes. Les premières méthodes de recherche d'images étaient basées sur des moyens textuels comme les mots-clés, la saisie d'une phrase en langage libre, etc. Il s'agissait **des *langages textuels.*** L'usage de ces langages dépendait fortement des technologies du moment. Avec le développement des technologies informatiques (matérielles et logicielles) et leur usage de plus en plus généralisé à la portée d'un public non informaticien, une deuxième génération de langages est apparue: ***les langages graphiques***. Ils avaient pour objectif de rendre plus simple et adéquat la formulation des requêtes et les moyens d'interrogation à tout utilisateur. Les langages graphiques peuvent être classés en trois catégories : ***tabulaires, à base de formulaire, et schématiques***. Ils sont souvent basés sur le langage SQL ou sur une de ses extensions. En parallèle et grâce à l'explosion du World Wide Web, une autre technique de recherche d'images est également apparue, ***l'hypermédia***. Cette technique de recherche s'appuie sur l'utilisation de liens hypertextes permettant à l'utilisateur de passer d'un document à un autre et donc d'affiner au fur et à mesure sa requête. La troisième génération de langages d'interrogation apparaît dans la dernière décennie. Il s'agit **des *langages visuels.*** Ces langages sont conçus pour rendre plus intuitive la recherche pour l'utilisateur. Ils existent sous plusieurs formes : ***sketch, iconique, pictoriel***, etc.

A présent nous allons survoler chacun de ces langages. Nous présentons également leurs avantages et leurs limites en termes d'expressivité et de facilité d'utilisation. L'expressivité est mesurée par rapport à la description du contenu de l'image (contextuel, physique et sémantique). Quant à la facilité d'utilisation, elle est mesurée en fonction de la convivialité et de la souplesse dans la formulation des requêtes simples et complexes ainsi que de l'interactivité Homme-machine. Pour illustrer ces langages, nous donnons une image- exemple (Figure 19) afin de déterminer comment chacun de ces langages la décrit lors de la requête [Chebeir 2001].

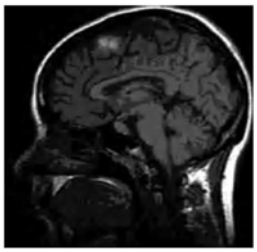

Figure 19 : ***Exemple d'une radiographie cérébrale contenant une tumeur maligne dans le lobe gauche.***

4.1.LANGAGES TEXTUELS

4.1.1. Langages naturels

Ces langages permettent à l'utilisateur de formuler sa requête par une phrase dans une langue donnée. La phrase suivante est un exemple de requête telle qu'un utilisateur pourrait la formuler pour rechercher les images similaires à celle de la Figure 19 *«Rechercher les radios de cerveau ayant un cancer en haut du l'aube gauche* ».

Ces langages sont souvent utilisés dans les bases de données documentaires [Salton 1983, Salton 1990, Rassinoux 1994]. La requête de l'utilisateur est analysée en plusieurs phases.

EMIR2, par exemple, propose de formuler les requêtes par le biais d'un texte dans un langage naturel. La fonction de correspondance utilisée dans EMIR2 fait appel à une procédure qui fait partie de sa première version, RIME [Berrut 1988], et qui permet de transformer la requête en un ensemble de descripteurs.

L'avantage des langages naturels est qu'ils permettent à l'utilisateur de formuler facilement sa requête. Par contre, ils présentent l'inconvénient majeur d'accepter l'emploi de termes flous (le mot «radios» dans l'exemple), de fautes d'orthographes (le mot «l'aube» au lieu de «lobe *»),* de manque de précision (le mot «cancer» ne signifie pas exactement «tumeur maligne *»),* etc. Par conséquent, le système a souvent du mal à être juste dans son interprétation. Certains systèmes sont capables de répondre à des requêtes dont la formulation est ambigu [Salon 1990, Rijsbergen 1997]. Les retours de pertinence (Relevance feedback) permettent également de résoudre le problème de "communication" entre le système et l'utilisateur. Un autre inconvénient des langages naturels est celui de la description de l'image.

Une phrase suffit t-elle à décrire une image et à traduire le besoin de l'utilisateur? Nous pensons que le contenu d'une image ne peut pas être décrit dans sa globalité par une seule phrase. En effet, la description de l'image par le biais des langages naturels repose sur la perception et l'interprétation humaine. Or, l'interprétation humaine n'est que partielle et subjective.

4.1.2. Structured Query Language(SQL)

SQL **[Cannan 1992]** est un langage standard d'interrogation dans les bases de données relationnelles. Il est basé sur le modèle relationnel proposé par [Cod 70] selon lequel chaque objet est représenté par une table et une relation. Il a été intégré dans la plupart des systèmes de gestion des bases de données relationnelles commercialisés (Oracle, Sybase, Access, Paradox, etc.). La recherche des images similaires à celle de la Figure 7 peut se traduire en SQL par:

```
SELECT * FROMImages WHERE Images.type 'radiographie' AND
(SELECT * FROM Organes WHERE Organes. nom 'cerveau 'AND Organes. image Image.numéro) AND
(SELECT * FROMRégions WHERE Régions.nom 'lobe gauche'AND Régions.image Image.numéro) AND
(SELECT * FROMAnomalies WHERE Anomalies.nom 'Tumeur Maligne 'AND Anomalies, image Image. numéro).
```

L'intégration de l'image aux systèmes de gestion des bases de données relationnelles a donné naissance à une panoplie d'extensions de SQL: PSQL [Roussopoulos 1988], MAPQUERY [Frank 1982], GeoSabrina [Larue 93], etc. Ces extensions avaient pour objectif d'adapter le langage SQL aux caractéristiques de l'image exploitées par l'utilisateur dans ses requêtes telles que les caractéristiques physiques et les relations spatiales entre les objets. Le projet de normalisation SQL3 [Iso 96, Nelson 1996] a démarré en août 1994 dans le but d'intégrer l'aspect spatial à la syntaxe du langage.

Indépendamment du modèle de données, SQL présente l'avantage majeur d'être capable d'exprimer toute sorte de requête. Néanmoins et malgré son succès, SQL n'est pas destiné au public non-informaticien. La formulation textuelle des requêtes nécessite une compréhension globale du modèle conceptuel et de la structure de la base de données, et exige certaines compétences dans le domaine des bases de données [Chebeir 2001].

4.2. LANGAGES GRAPHIQUES

Avec l'évolution accrue de l'utilisation de l'informatique dans plusieurs domaines où le nombre d'utilisateurs non-informaticiens est important, la nécessité de créer des interfaces homme-machine mieux adaptées à la recherche d'informations est devenue primordiale. Par conséquent, une autre génération de langages d'interrogation est apparue: *les langages graphiques.* Souvent basés sur SQL ou une des ses extensions, ces langages ont permis au public non-informaticien de rechercher des informations textuelles et des images plus facilement via des interfaces graphiques. Ces langages sont classés selon trois catégories : les langages tabulaires, les langages à base de formulaires, les langages schématiques.

4.2.1. Langages tabulaires

L'idée de base de ces langages consiste à permettre à l'utilisateur d'intégrer sa requête dans un tableau. L'utilisateur choisit les tables et les relations dans la structure de la base de données, et indique les critères à respecter dans chaque champ à projeter ou à calculer. A l'issue de cette action, le tableau présente un aperçu du résultat souhaité [Zloof 77]. C'est la raison pour laquelle une requête formulée par ces langages est appelée *requête par l'exemple* (Query By Example). La Figure 20 traduit l'exemple de la Figure 19 en requête tabulaire sous Microsoft Access. Plusieurs QBE destinées aux données spatiales sont proposées dans la littérature : les systèmes ELF [Yamagushi 1980], QPE [Chang 1980], VQL [Vadaparty 1993], et PICQUERY [Joseph 1988, Hsu 1996].

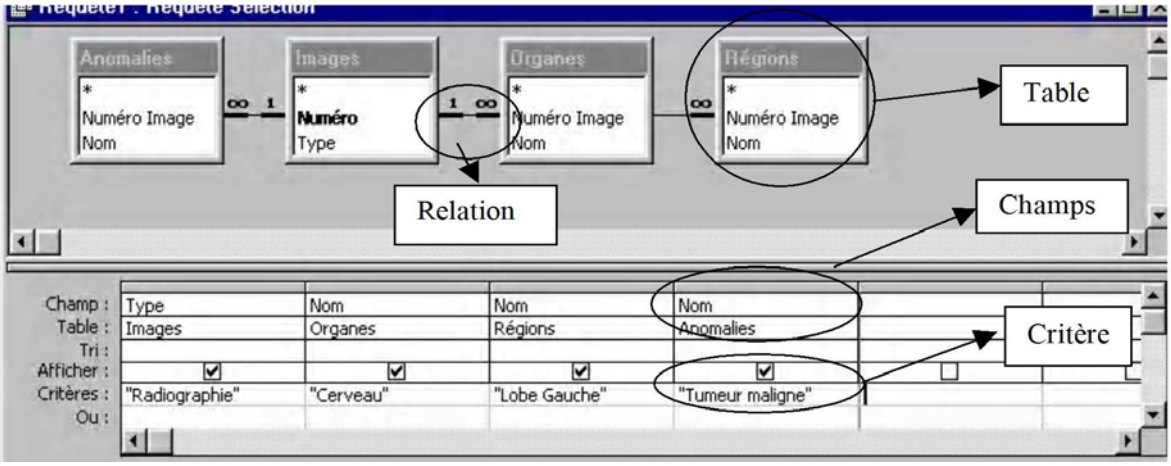

Figure 20: Exemple d'une requête tabulaire

Les langages tabulaires sont plus intuitifs que les langages textuels car ils présentent les avantages suivants :

•L'utilisateur peut visualiser directement la structure de la base de données,
•L'inexistence d'ordre d'expression dans la formulation de la requête,
•L'absence de fautes de syntaxe lors de la saisie.

Néanmoins, la formulation des critères de chaque champ ainsi que les relations entre deux tables (ou objets) nécessitent une phase d'apprentissage. En outre, les requêtes complexes sont difficiles à formuler [Yi-Miin 1993].

4.2.2. Langages à base de formulaire

Ces langages permettent à l'utilisateur d'exprimer sa requête en remplissant un formulaire de type administratif. Des menus déroulant, des cases à cocher, et des champs de saisie sont généralement utilisés pour permettre à l'utilisateur de formuler ses requêtes (Figure 21).

Figure 21 : *Exemple d'une requête formulée à laide d'un formulaire*

Ces langages sont les plus répandus et les plus commercialisés dans les systèmes d'interrogation d'images tels que OOQBE [Staes 1993] et PICQUERY [Cardenas 1993]. Cependant, ils souffrent de quelques limites. La formulation des requêtes complexes ou non prévues par les outils proposés demeure un des points faibles de ces langages. L'utilisateur est limité à ce qui lui est proposé par l'interface et qu'il ne peut personnaliser. Il doit se contenter d'un seul environnement, ce dernier n'étant pas toujours adapté à ses besoins.

4.2.3. Langages schématiques ou diagrammatiques

Ces langages permettent de visualiser une base d'images sous forme de diagrammes ou de schémas. Des représentations graphiques conventionnelles sont utilisées pour schématiser la structure de la base de données. Par exemple, dans une approche entité-relation, le rectangle symbolise l'entité, le losange représente l'association, et un segment relie le type d'association au type d'entité. Pour formuler sa requête, l'utilisateur suit le schéma de la base et inscrit ses critères (Figure 22). Plusieurs langages schématiques sont proposés dans la littérature QBD* [Angelaccio 1990], GOQL [Lamb 1990], GQL [Du 1988].

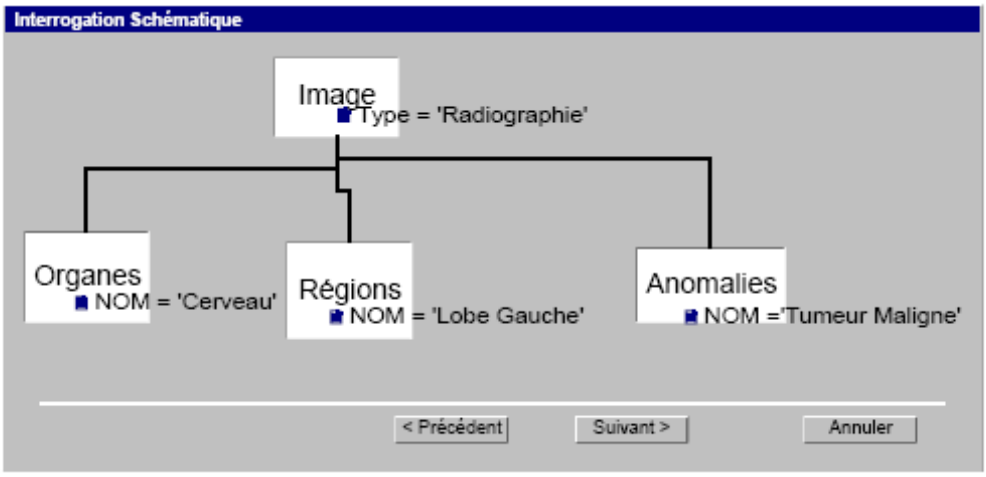

Figure 22: *Exemple d'une requête schématique*

L'avantage majeur de ces langages réside dans le fait qu'ils permettent de visualiser le schéma entier de la base de données. En outre, aucune phase d'apprentissage n'est nécessaire. Néanmoins, la formulation des requêtes complexes composées de combinaisons de plusieurs critères reste encore un point faible pour ces langages

4.3.LANGAGES VISUELS

Ils sont appelés visuels car ils incorporent des éléments visuels dans la formulation des requêtes : icônes, dessins, etc. L'utilisateur présente au système l'image à rechercher soit en dessinant des formes (sketch), soit en choisissant des icônes (métaphores), soit en donnant une image similaire à celle(s) voulue(s). Dès lors, l'utilisateur peut formuler sa requête en créant, déplaçant, modifiant, ou supprimant les éléments visuels. Le résultat de son action est immédiat. Des

possibilités d'annuler ou d'initialiser certaines manipulations voire de reformuler la requête en fonction du résultat obtenu (relevance feedback) sont également proposées. Ces méthodes apportent plusieurs avantages comparées aux autres langages en terme de convivialité, remarquable dans l'interface, et de la diminution de la charge cognitive mieux adaptée à tout type d'utilisateur (débutant, expert, occasionnel, etc.).

4.3.1. Langages iconiques

Ils se caractérisent par l'utilisation d'icônes prédéfinies permettant de représenter les objets et leurs relations dans un domaine d'application donné. En effet, l'icône est une image (ou un dessin) utilisée pour représenter un concept qui pourrait être un objet sémantique ou une relation dans un domaine particulier. Le positionnement des icônes dans une fenêtre (sketchpad window) reflète la représentation du contenu de l'image (objets et interrelations).

Les critères de sélection sont souvent formulés à l'aide de menus contextuels (Figure 23). Plusieurs systèmes dotés d'interfaces iconiques ont été proposés dans la littérature IconicBrowser [Tsuda 1990], IQL [Lee 19*95],* MARCO [Soffer 1998], IMIKAS [Abad-Mota 19*95].* Un des avantages des langages iconiques est la rapidité de formulation des requêtes même pour des utilisateurs non informaticiens.

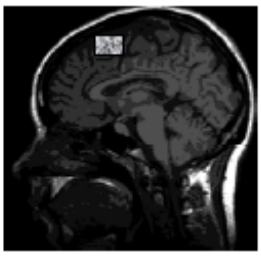

Figure 23: Exemple d'une interface iconique qui reprend la requête de la Figure 19

Néanmoins, le choix des icônes représente un problème majeur. En effet, des spécialistes tentent de concevoir des icônes compréhensibles par tous les utilisateurs du domaine d'application.

4.3.2. Langages sketch

Ils permettent à l'utilisateur de *dessiner* librement sa requête dans une fenêtre (ou tableau noir). Le résultat du dessin est interprété par le système. Ce dernier fait souvent appel à des méthodes

de reconnaissance de formes pour identifier les objets dessinés par l'utilisateur et en déduit les relations spatiales qui existent entre eux. Les critères de sélection sont formulés grâce aux menus contextuels ou par le biais de dessins directs sur la fenêtre (Figure 24). Plusieurs systèmes ont proposé cette méthode d'interrogation tels que Sketch! ([Meyer 1994], [Egenhofer 1996]), Art Museum [Chang 1981]. Ce dernier utilise une interface visuelle (QVE: Query by Visual Example) pour la recherche d'images grâce à laquelle l'utilisateur décrit le contour de l'objet qu'il recherche.

Figure 24*: Exemple d'un langage Sketch qui traduit la requête de la Figure 19*

Les limites de ces langages se situent dans la phase de détection des objets. Tout dépend des procédures de reconnaissance de formes utilisées, qui jusqu'à aujourd'hui, ne peuvent pas être appliquées à tous les domaines. En outre, la difficulté à détecter les objets dans une image 3D reste encore un problème ouvert. D'après notre étude, aucun langage sketch n'a été proposé pour rechercher des images en 3D.

4.3.3. Langages pictoriels

Ils se caractérisent par l'utilisation des attributs physiques extraits de l'image (couleur, texture, brillance, etc.) ou des images-exemples servant à formuler une requête. L'utilisateur peut rechercher toutes les images ayant une texture particulière. Il peut également choisir ou fournir une image type à comparer aux autres images et trouver celles qui lui sont similaires (Figure 26). Ces langages ont de plus en plus de succès car ils nécessitent peu d'effort de compréhension de la part de l'utilisateur. Plusieurs systèmes ont été proposés : Q.B.I.C. [Niblack 1993, Flickner 1995**,** Niblack 1997], AMORE [Mukherjea 1999], et Visual Seek [Smith 1996] avec des langages pictoriels différents.

Malgré leur succès, ces langages possèdent quelques inconvénients. L'utilisateur ne peut pas formuler de requêtes complexes car les moyens proposés sont très limités (comparaison

d'images, choix des couleurs, etc.). D'autre part, le processus de comparaison entre deux images similaires peut donner lieu à des résultats non pertinents.

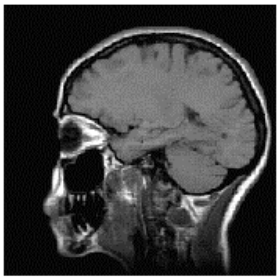

Figure 25: Exemple d'une image à comparer aux images du corpus.

4.4.HYPERMEDIA

Introduit par Bush [Bush 1945], l'hypermédia est un moyen d'interrogation dépourvu de langage d'interrogation. Chaque document est associé à un ensemble de liens qui le relie à d'autres documents. A l'aide des liens, appelés hypertextes ou hypermédias, l'utilisateur explore un ensemble d'informations *hétérogènes* (texte, image, vidéo, audio, etc.) organisées en structure logique hiérarchisée. Un Système **Hypermédia** est conçu pour conduire l'utilisateur *via* des chemins thématiques à trouver les informations qui lui sont appropriées. On parlera donc de la notion de *navigation* dans ce genre de système.
Elle consiste en effet à détailler un sujet précis en passant par toutes sortes de médias.
La Figure 27 montre comment l'hypermédia permet d'atteindre l'image recherchée grâce aux liens hypertextes.

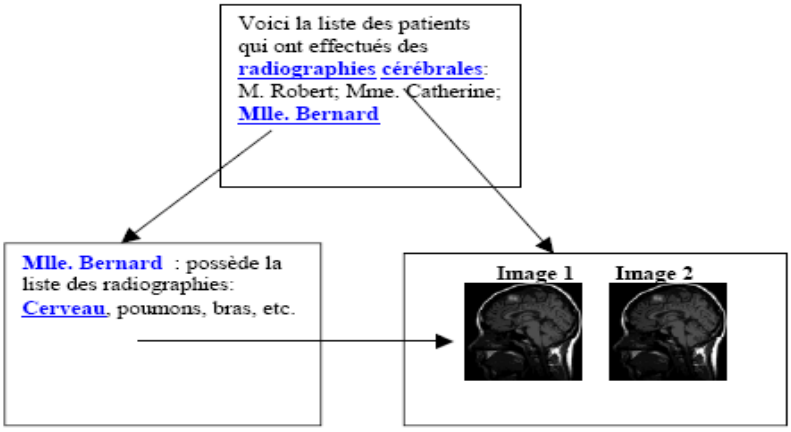

Figure 26: Navigation avec les systèmes hypermédias

Le problème d'orientation est un des grands problèmes rencontrés dans les SH. L'utilisateur, en suivant plusieurs parcours simultanément, n'arrive plus à atteindre son but (objectif) d'origine. Il se trouve donc face à une ***distraction.*** Cette dernière provient du fait qu'à partir d'un certain

nombre de nœuds, l'utilisateur s'intéresse à d'autres informations sans relations avec le but qu'il s'était fixé. Un autre problème apparaît quand l'utilisateur n'a pas de but précis, et cherche par essai-erreur [Daniel-Vatonne 1990].

Il se peut aussi que l'utilisateur lance simultanément plusieurs recherches différentes. Dans ce cas, il doit faire un effort considérable de concentration pour analyser et synthétiser efficacement les résultats obtenus [Daniel-Vatonne 1990 et Connel 1987]. Nous invitons le lecteur à consulter l'annexe B pour plus de détails sur l'hypertexte et l'hypermédia.

MMIR **(MultiMedia Information Retriever)** [Dunlop 1993] est un des systèmes proposés dans la littérature qui intègrent l'approche hypermédia à l'approche SRI afin de profiter des avantages de chacune. MMIR est utilisé pour gérer un manuel du code de la route. Chaque document regroupe un ensemble de règles et le corpus est modélisé par un graphe. Il présente un ensemble de règles de circulation illustrées par des images et organisées selon un ordre donné. Le composant SRI de MMIR est basé sur le modèle probabiliste selon lequel chaque règle est représentée par un ensemble de mots-clés pondérés par une fonction appelée *Inverse Document Frequency* qui tient compte du pourcentage d'apparition de ces mots dans l'ensemble des documents. MMIR préconise une description d'images basée sur la structure des documents et leurs descripteurs associés. Le descripteur de l'image sera d'une part la moyenne de l'ensemble de descripteurs utilisés dans la description des documents rattachés à l'image et, d'autre part, tous les mots-clés utilisés.

Hormis l'utilisation du langage naturel que propose MMIR et qui possède en soi ses propres limites (déjà rencontrées dans les langages de même type), le grand inconvénient de ce système réside dans son approche qui consiste à décrire les images sans tenir compte de leur contenu. Cette description peut comporter de faux descripteurs.

5. CONCLUSION

En résumé ce chapitre nous a permis d'avoir une idée sur les différentes méthodes de représentation d'images, une image peut être représentée par son contexte à travers un texte qui l'accompagne par exemple, cette technique trouve son origine dans les moteurs de recherche sur le web et aussi dans les systèmes d'archivage et de communication d'images (P.A.C.S) qui sont intégrés dans des systèmes d'informations hospitaliers (SIH) , cette approche reste inappropriée dans le domaine médical. Une autre technique consiste à représenter le contenu de l'image par le biais de ces caractéristiques physiques de bas niveau, telles que la couleur, la texture, la forme et segmentation, les systèmes qui utilisent ce type de représentation sont appelés les systèmes de recherche d'images par le contenu (CBIR). Plusieurs systèmes dans le domaine médical utilisent

cette technique. La dernière technique consiste à modéliser la sémantique de l'image donnant ainsi à des systèmes de recherche d'image par des caractéristiques de haut niveau qui expriment la sémantique. En effet l'image peut être accompagnée d'annotations sémantiques textuelles d'un expert du domaine, néanmoins cette technique pose le problème de subjectivité de l'interprétation de l'image. Plusieurs systèmes utilisent une combinaison du contenu physique et de la sémantique pour avoir un meilleure résultat lors du processus de recherche.

La diversité des techniques d'acquisition et la spécificité de l'image médicale qui est porteuse d'informations de diagnostique, a limité l'usage des systèmes de recherche d'images généraux dans le domaine médical, par conséquent ces systèmes sont incapables de répondre aux besoins du domaine médical. C'est dans ce sens que plusieurs systèmes de recherche dédiés au domaine médicale existent et utilisent différentes techniques d'indexation et de recherche d'images médicales. D'autres systèmes utilisent le raisonnement à partir de cas comme moyen de diagnostique et de recherche d'images. Dans ce chapitre nous avons également présenté les langages qui sont utilisés par les différents systèmes de recherche d'images.

Le domaine de recherche d'image médical est un domaine très actif, et plusieurs projets de recherche sont en cours (IRMA, MedGIFT …etc.). Nous allons présenter dans le chapitre suivant un système de recherche d'images médicale basé sur une technique d'intelligence artificielle permettant de rechercher des images médicale en se basant sur le principe du raisonnement à partir de cas.

Chapitre 4 Modélisation et conception

SRimCAS : Système de Recherche d'Images Médicales par Cas

1. INTRODUCTION

Dans ce chapitre, nous allons détailler le système conçu. Le domaine médical choisi est l'échographie abdominopelvienne qui est utilisée dans le cadre du diagnostique en cas de suspicion d'appendicite aiguë chez l'adulte. Durant ce chapitre plusieurs questions sont posées :

- Qu'est ce qu'un cas et comment est organisée la base de cas ?
- Quel modèle de connaissance nous utilisons pour représenter les cas. ?
- Comment nous décrivons les images du cas ?
- Quelle est l'architecture du système et quelles sont les cas d'utilisation de ce système ?
- Quelle mesure de similarité nous utilisons pour rechercher les cas similaires ?

2. METHODOLOGIE DE CONCEPTION

Nous avons utilisé une analyse et conception par objet basée sur la méthode Unified Modeling Language (UML). Dans le formalisme UML, la spécification dynamique des cas d'utilisation est donnée par une famille de scenarii décrivant des chemins particuliers des cas d'utilisation. Un scénario donné est représenté par un ***diagramme d'interaction*** qui identifie les informations échangées et les fonctionnalités demandées. Les deux types de diagrammes d'interaction sont le ***diagramme de séquence*** qui montre la chronologie des échanges de messages entre le système et les utilisateurs et le ***diagramme de collaboration*** qui met en évidence l'ensemble des objets

implémentant le cas d'utilisation et la façon dont ils sont reliés entre eux par le flot des messages pour le scénario en question. Chaque diagramme de collaboration fournit un diagramme de classes partiel. Les objets émergeant des différents diagrammes de collaboration des cas d'utilisation permettent de détecter de nouvelles classes, de nouvelles associations et de nouvelles méthodes à inclure dans le ***diagramme à objets***. En recoupant les scenarii on obtient la structure générale du processus d'utilisation du système. C'est l'analyse du flot des données échangées qui permet de dégager une vue statique à partir de ces vues dynamiques et de fournir les informations de base du modèle objet. A l'issue de la conception, parmi les diagrammes UML, seul le ***diagramme de classes/objets*** est exploité pour l'opérationnalisation du modèle conceptuel c'est à dire pour générer le code de l'application.

Nous utilisons aussi le formalisme de représentation de Fuchs [Fuchs 2000] utilisé dans le cadre du raisonnement à partir de cas (RàPC) pour les modèles de connaissance et tâches de raisonnement.

3. MODELES CONCEPTUELS DU RAPC

Le raisonnement à partir de cas (RàPC) est un moyen de raisonner et d'apprendre à partir d'expériences. La diversité des mécanismes et stratégies de raisonnement mis en œuvre nous amène à étudier le RàPC sous l'angle de la modélisation des connaissances.

Dans le cadre de la modélisation dans le RàPC, plusieurs modèles ont été proposés pour décrire une activité en terme de tâches, hiérarchique ou non. Nous utilisons une modélisation du processus en terme de tâches en s'inspirant de [Fuchs 2000] (figure 28), à l'aide de deux formalismes : un formalisme de spécification des tâches et un formalisme de décomposition des tâches. Le principe de ces deux modèles est la décomposition de tâches complexes en sous-tâches, jusqu'à obtenir des tâches non décomposables.

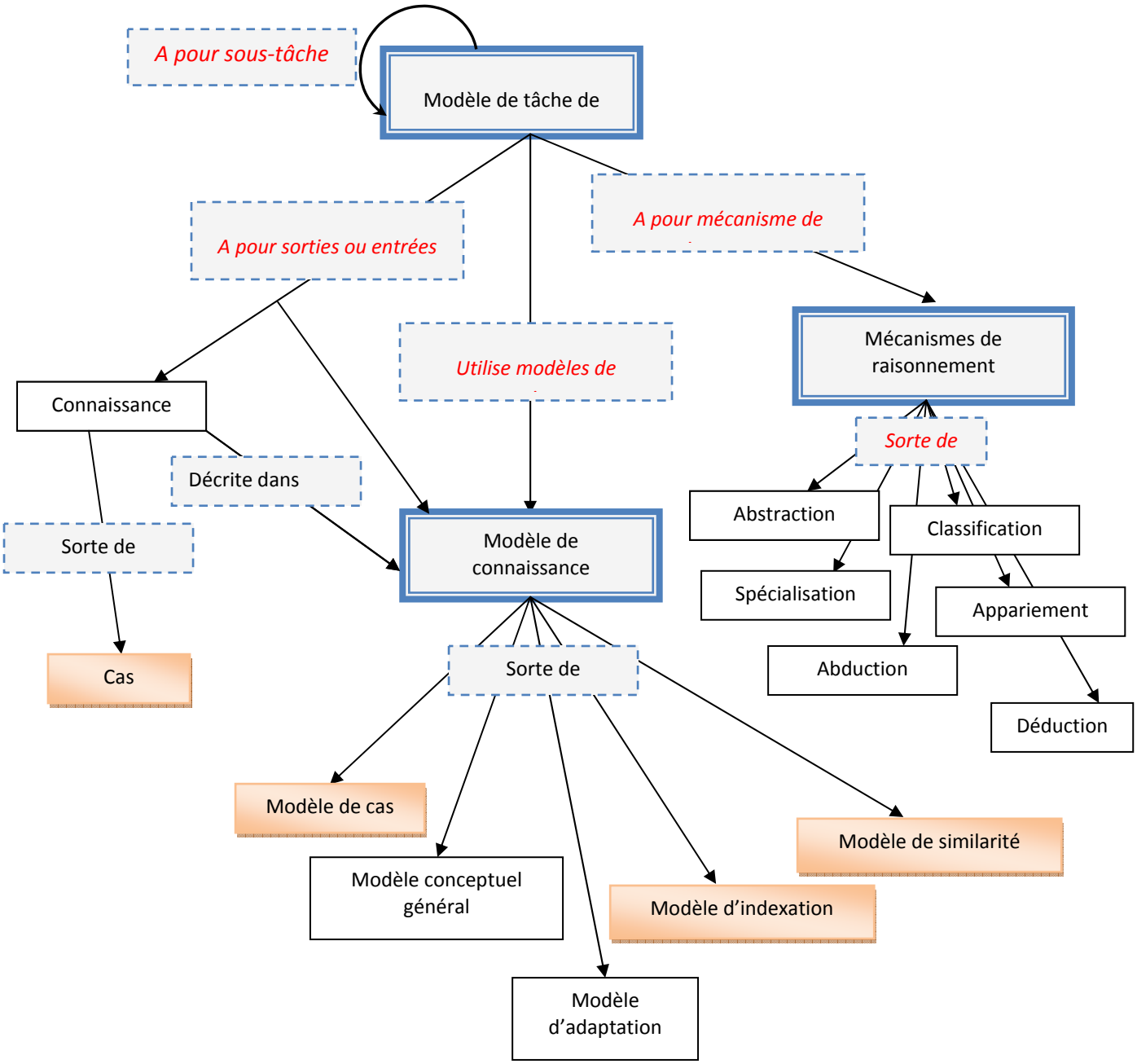

Figure 27 : Modélisation conceptuelle d'un système de RàPC : les modèles de connaissances et les modèles des tâches du RàPC [Fuchs 2000]

3.1.MODELE DE TACHE DE RAISONNEMENT

En ce qui concerne le formalisme de modélisation des tâches, Fuchs utilise un formalisme de décomposition de tâches et un formalisme de spécification de tâches pour décrire toutes les étapes du RàPC (le *quoi faire)*: élaboration d'un cas, remémoration, adaptation, etc (figure 2).

La principale tâche d'un Système de RàPC, « Raisonner à partir de cas » fait intervenir des méthodes de raisonnement (classification, appariement, etc.), des modèles conceptuels de connaissances du domaine et une mémoire de cas passées qu'elle enrichit par apprentissage (information produite). Le modèle de la tâche « Raisonner à Partir de Cas » permet de préciser les connaissances nécessaires à la réalisation des inférences de chaque tâche de raisonnement (comme indexer les cas, évaluer la similarité, etc.) Un formalisme hiérarchique permet de décrire les relations entre une tâche principale et ses sous-tâches. Les arcs matérialisant les relations de composition sont annotés à l'aide de trois symboles matérialisant l'ordre des sous-tâches, une alternative ou une itération de sous-tâches [Le bozec 2001, Fuchs 1997] (figure 29).

La tâche « Raisonner à partir de cas » se décompose en sous-tâches qui sont « Elaborer un cas », « Se remémorer un (ou plusieurs) cas », « Réutiliser un (ou plusieurs) cas », « Réviser un (ou plusieurs) cas » puis « Mémoriser un cas » en séquence. Par la suite nous présentons les modèles de tâches proposés par Fuchs qui seront utilisés dans le cadre du développement de SRimCas. Nous avons retenu les modèles concernant un système de RàPC dont l'objectif était l'aide au diagnostic et nous nous sommes limités aux tâches d'élaboration d'un cas et de remémoration qui seules seront développées dans le cadre de SRimCas.

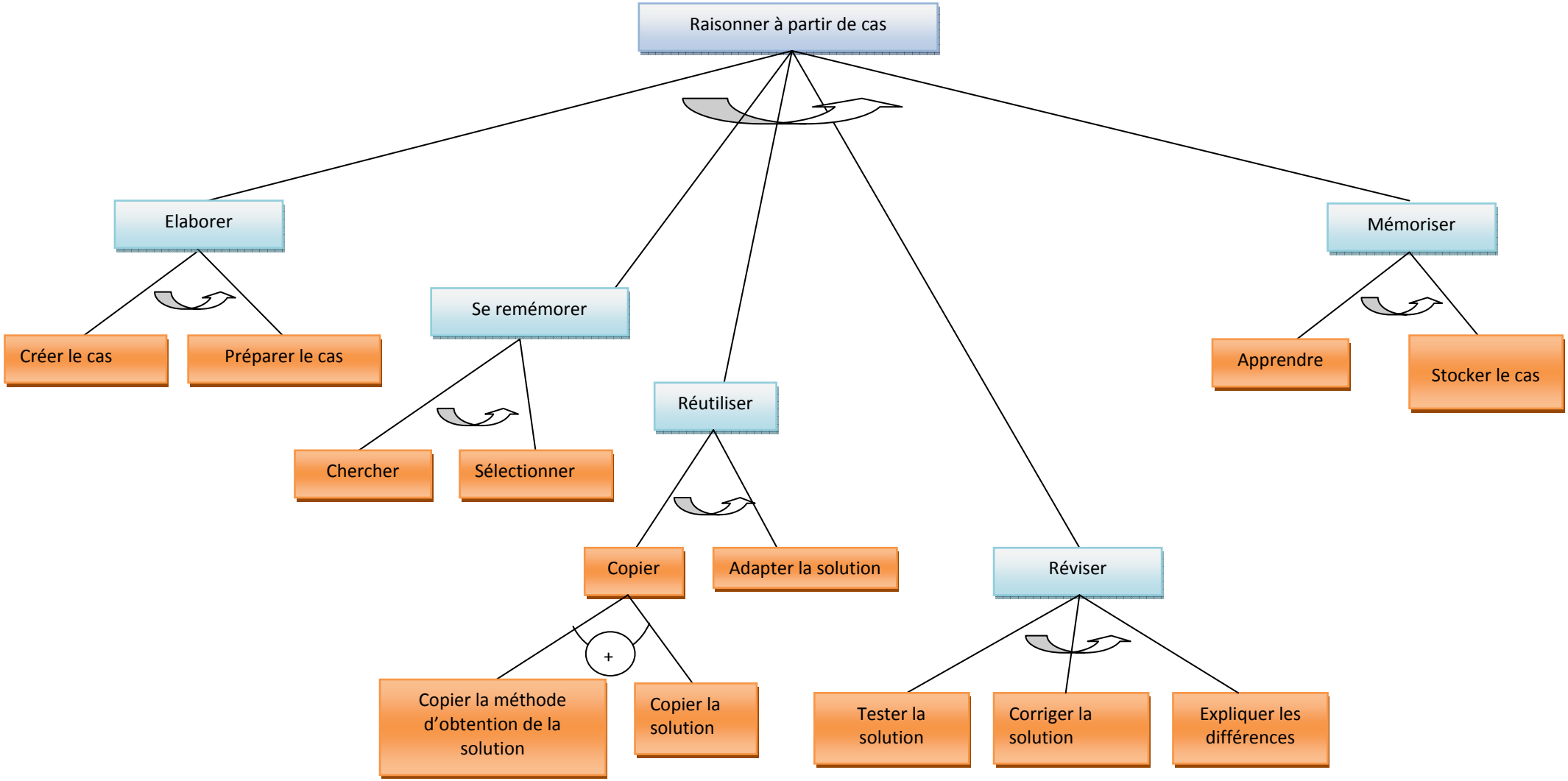

Figure 28 : Modèle de spécification de la tâche principale « *Raisonner à partir de cas* » [Fuchs 2000].

4. LES CAS D'UITILISATION DE SRIMCAS

Les cas d'utilisation permettent de structurer les besoins des utilisateurs et les objectifs (le but) de notre système. Ainsi les différents acteurs (expert et pathologiste en exercice) et leurs interactions avec le système sont identifiés (Figure 30).

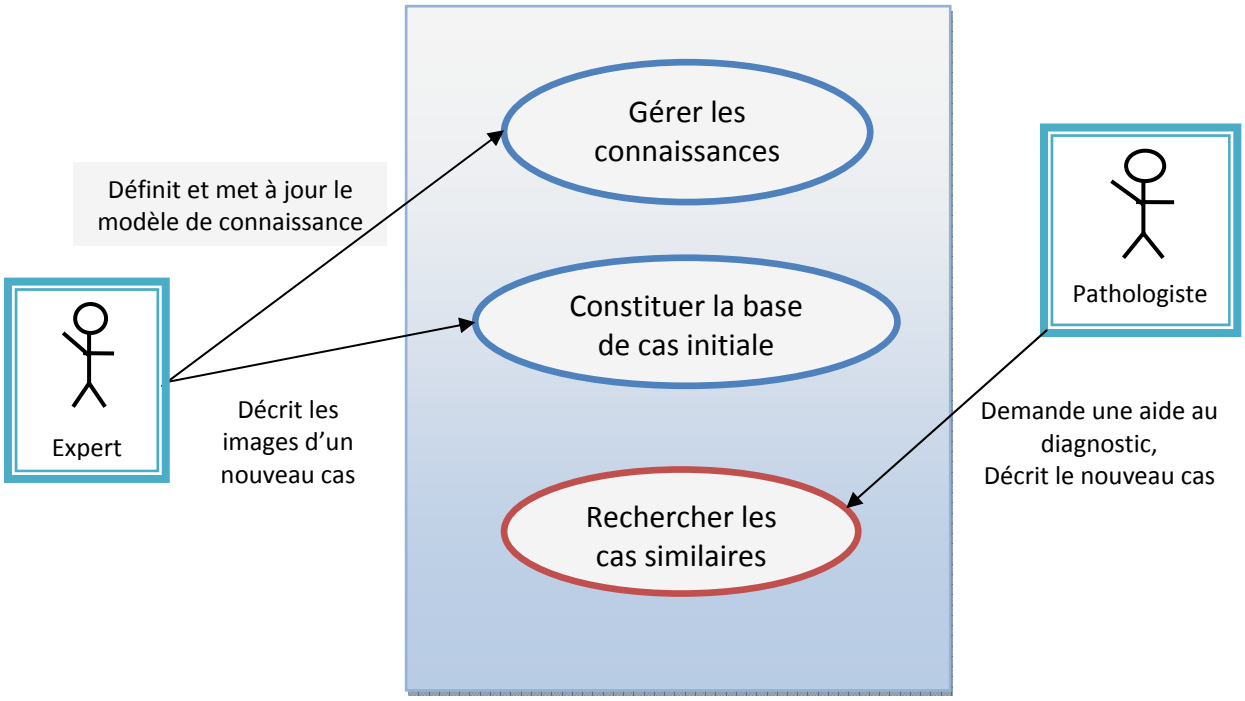

Figure 29 : Digramme des cas d'utilisation de SRimCas

- Tout d'abord, le système doit permettre aux experts de collecter les cas représentatifs de leur expérience. Cette interaction avec le système correspond au cas d'utilisation « **Constituer la base de cas initiale** ».
- Le principal cas d'utilisation, « **Rechercher des cas similaires** », permet au pathologiste en exercice, dans le cadre de sa pratique quotidienne, de s'inspirer de la solution de cas précédemment résolus pour le diagnostic d'un nouveau cas. Ce cas d'utilisation repose sur la comparaison de descriptions de cas.
- Le système doit fournir des fonctionnalités permettant de prendre en compte l'évolution des connaissances. Le cas d'utilisation « **Gérer les connaissances** » a pour rôle de maintenir à jour les modèles de connaissances de SRimCas.

5. DIAGRAMME DE COMPOSANTS DE SRIMCAS

Le diagramme de composants permet de décrire l'architecture physique de notre système en terme de modules figure 31 :

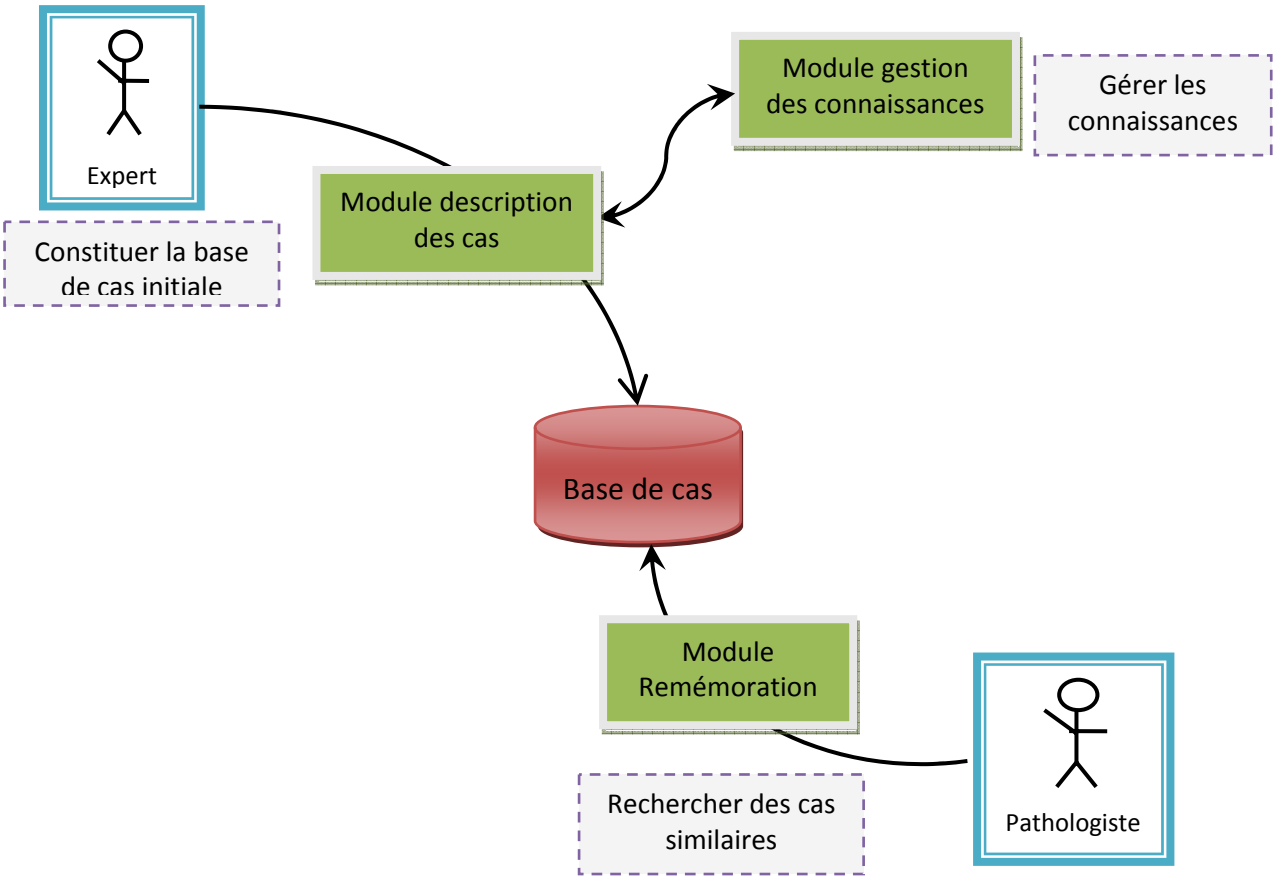

Figure 30: Diagramme des composants de SRimCas

Dans ce diagramme le module description des cas opérationnalise le cas d'utilisation « constituer la base de cas initiale », le module gestion des connaissances opérationnalise le cas d'utilisation « gérer les connaissance », le module remémoration opérationnalise le cas d'utilisation « rechercher des cas similaires ».

6. ARCHITECTURE DU SYSTEME

L'architecture du SRimCas est illustrée sur la figure 32. Elle comporte les modules suivants :

- Un **module gestion de connaissance** destiné à l'expert du domaine permettant la définition et la mise à jour des connaissances du domaine.
- Un **module description des cas** gérant l'annotation des images et la structuration des

informations associées.

- Un **module remémoration** permettant l'interrogation de la base de cas et la recherche des cas similaires.

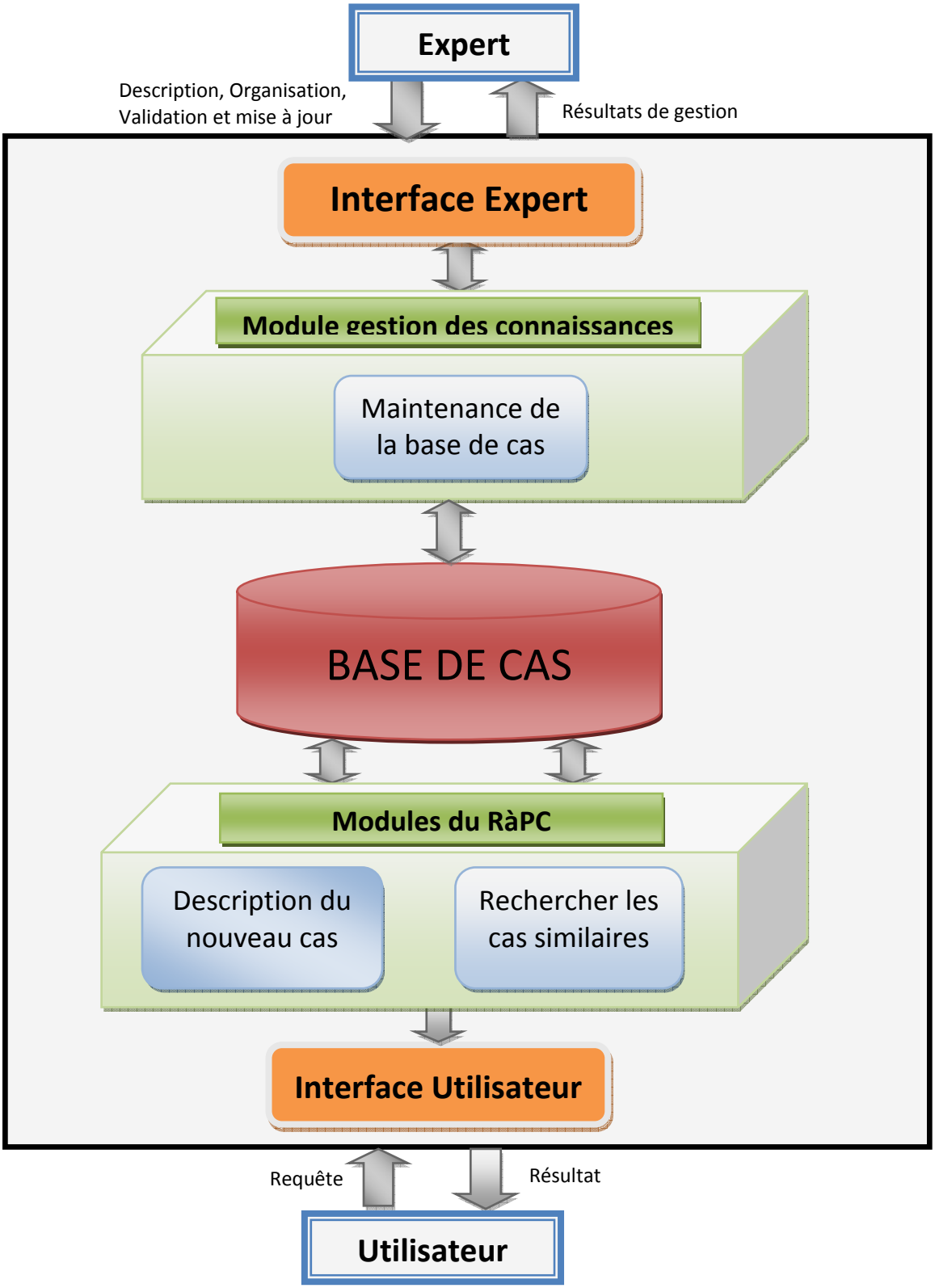

Figure 31 : Architecture du système SRimCas

Nous allons détailler par la suite les deux modules permettant la description des cas et la recherche des cas similaires, le module gestion de connaissance ne fera pas l'objet de notre étude.

7. MODELISATION ET CONCEPTION DU MODULE DE DESCRIPTION

7.1.INTRODUCTION

Cette partie est consacrée à la présentation des principes de la description des cas du domaine médical choisi et à la modélisation et la conception du module de description de SRimCas.

7.2.QU'EST CE QU'UN CAS ?

Dans sa pratique quotidienne, un expert décrit un cas en localisant au niveau d'une sélection d'images issue de l'échographie abdominale un certain nombre de régions d'intérêt (organes) auxquelles il donne une interprétation sémiologique. La synthèse de ces caractéristiques radiologiques notées CRs par la suite) lui permet de formuler un diagnostic (figure 33).

Un cas contient les données empiriques décrivant l'expérience acquise dans la résolution d'une situation précise. Il comporte deux parties : la description du problème- le cas dont on cherche le diagnostique – et la description de la solution – le diagnostic. C'est l'information plus au moins standardisée contenue dans les comptes rendus.

Figure 32: Description d'un cas sous forme d'un ensemble de caractéristiques radiologiques(CRs) associées à des régions d'intérêt (organes) dans l'image.

7.3.PRINCIPE DE DESCRIPTION DU CAS

Un ensemble de cas du domaine étant sélectionné par l'expert, la constitution de la base de cas initiale correspond à un cas d'utilisation du système consistant à effectuer de façon itérative la tâche « Ajouter un cas ». Cette tâche est représentée figure 34 selon le formalisme de Fuchs.

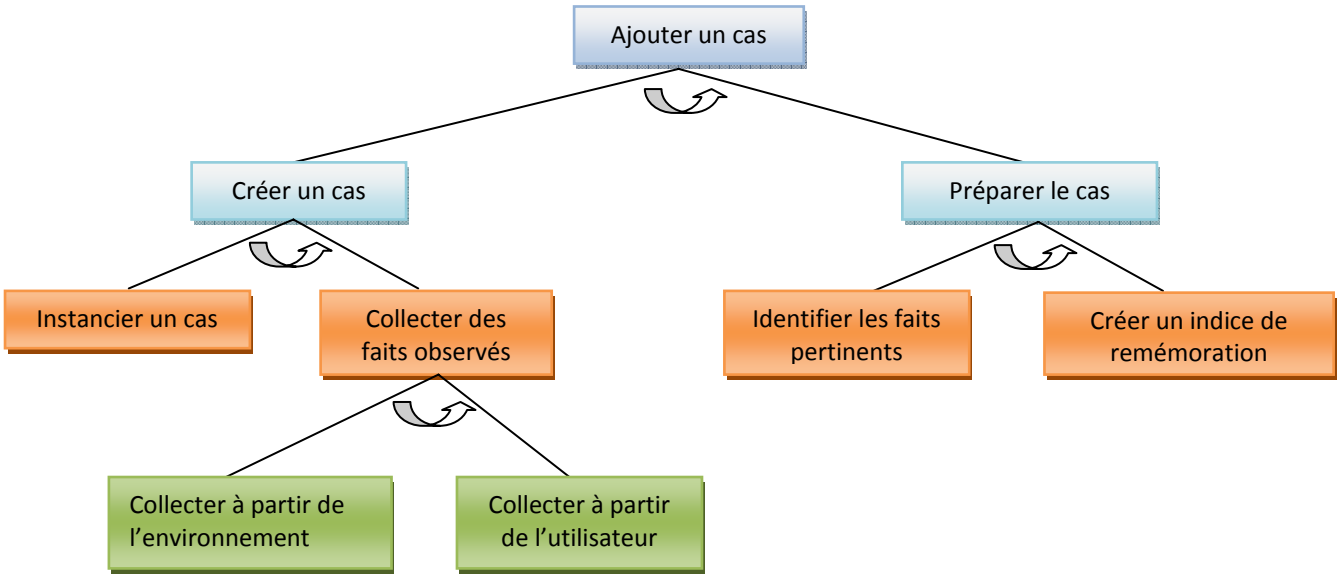

Figure 33 : Modèle de tâche « Ajouter un cas » dans SRimCas

La tâche est composée de deux sous-tâches. La première instancie le modèle de cas, et la deuxième collecte les informations pour décrire le problème, de déterminer les indices de remémoration qui permettront de rechercher un cas dans la mémoire des cas passés. La collecte des faits à partir de l'environnement consiste à acquérir les images du cas et les informations associées au cas. Si ces informations ne sont pas automatiquement importées, elles doivent être ressaisies. Il s'agit ensuite de « Préparer le cas », c'est à dire de définir parmi les informations de description collectées celles qui sont pertinentes par rapport à l'établissement du diagnostic.

Dans SRimCas, les critères descriptifs sémiologiques de l'image ne sont pas extraits objectivement par des techniques de traitement d'images mais estimés visuellement de façon subjective. Par contre, ces critères sont associés sans ambiguïté aux régions d'intérêt (organes) de l'image auxquelles ils correspondent.

7.4.MODELE D'UN CAS DANS SRIMCAS

La figure 35 présente le modèle du cas de SrimCas selon le formalisme de Fuchs. Un cas est donc constitué de la description d'un problème, de la description d'un diagnostic et éventuellement de l'explicitation du raisonnement de classification diagnostique, c'est-à-dire la façon dont le diagnostic dépend de la description.

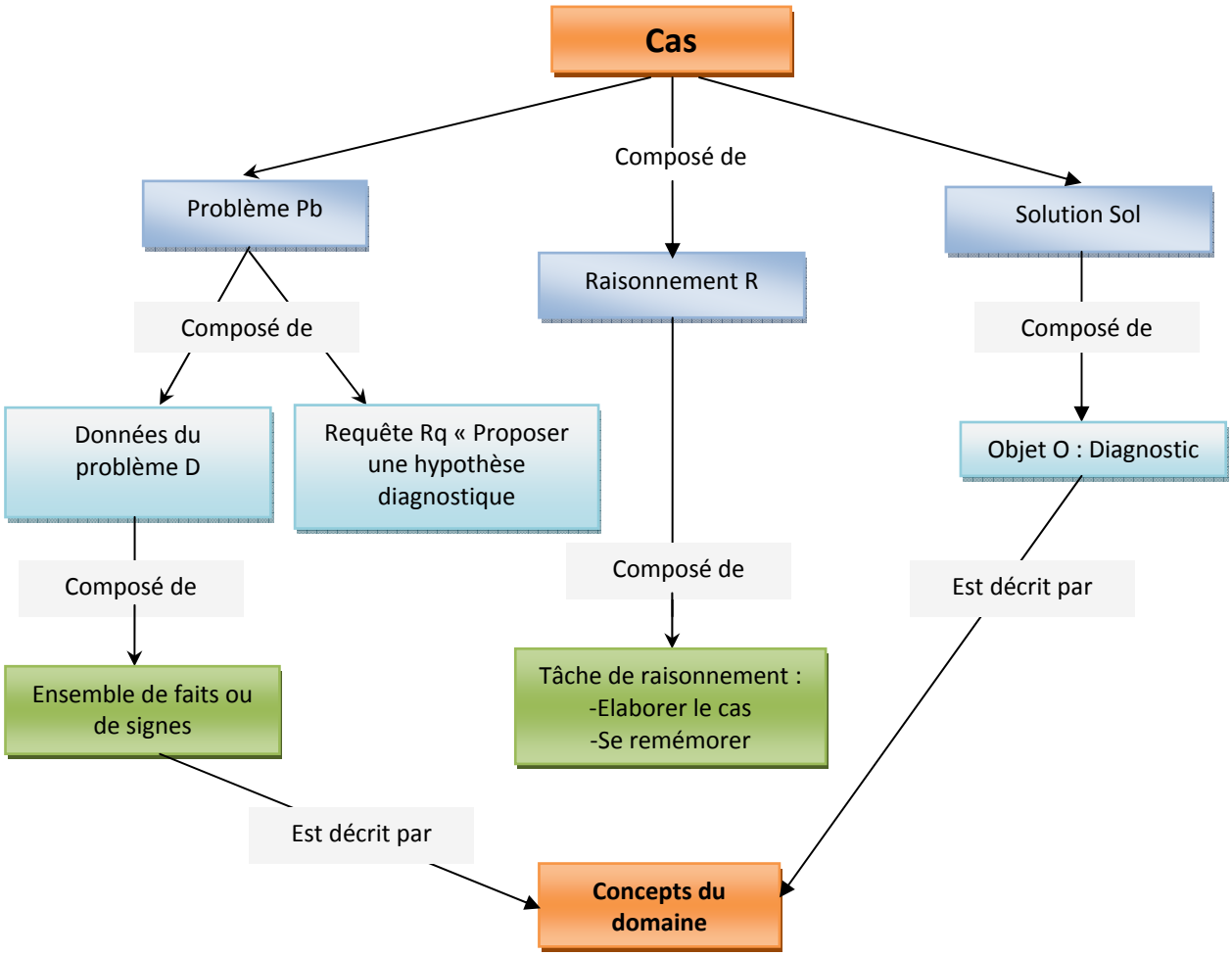

Figure 34 : Modèle de cas dans SRimCas

Un problème est composé d'un ensemble de descripteurs D et d'une requête Rq désignant le but à atteindre par le raisonnement R. D comprend un ensemble de contraintes ou buts à satisfaire par la solution et constitue une spécification partielle de Sol : Pb = (D, Rq) La solution Sol est un objet construit au cours du raisonnement R et satisfaisant les contraintes spécifiées dans Pb. La trace du raisonnement R est l'ensemble des étapes de raisonnement, des résultats intermédiaires et des décisions prises pour satisfaire Rq à partir de l'état initial D. Le problème D et la solution Sol sont décrits en référence au modèle conceptuel général (ontologie du domaine).

- **Description du problème :**

La description des images du cas fait intervenir d'une part les organes localisés par l'expert au niveau des images (le foie, la rate, la vésicule biliaire, …etc.) et d'autre part leur caractéristiques (taille, homogénéité, forme, situation…etc.), ainsi que l'interprétation linguistique réalisée par l'expert sous forme de caractéristiques radiologique(CRs) normaux ou pathologiques.

- **Les organes dans l'image**

En pratique, le pathologiste doit pouvoir **localiser** un organe dans l'image pertinente pour l'interprétation diagnostique du cas en utilisant en ensemble d'outils sur l'image (sélection d'un « symbole visuel » par exemple).

- **Diagnostique :** Le diagnostique de cas dans SRimCas est exprimé par l'expert sous forme d'un libellé libre et d'un libellé normalisé

7.5.DIAGRAMME DE CLASSE/OBJETS DU CAS

Un cas est associé à un ensemble d'images. Ces images sont associées à une description, une description est matérialisée au niveau de l'image par des annotations. Une description comporte : les organes sélectionnés au niveau des images du cas, leurs caractéristiques radiologiques (CRs) reconnues par le pathologiste.

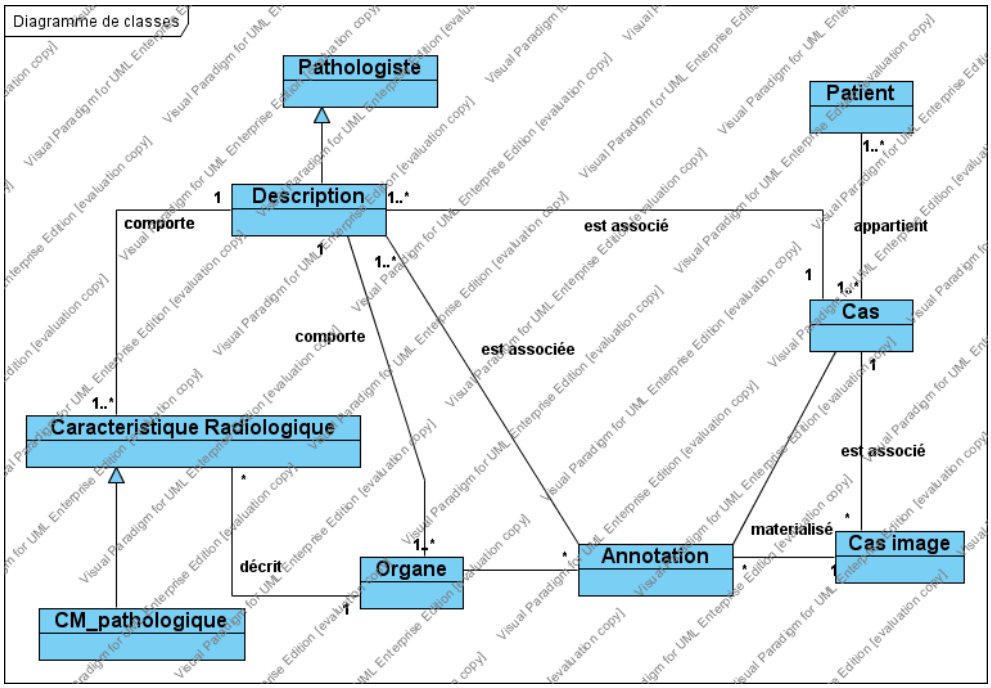

Figure 35 : Digramme de classe objet du cas

4.1.DIAGRAMME DES CAS D'UTILISATION DU MODULE DESCRIPTION DES CAS

Les experts doivent pouvoir naviguer librement dans les grands champs stockés sur le serveur d'images. Si des objets pertinents sont observés, ils doivent pouvoir être repérés et décrits par des termes choisis dans le formulaire de description. Si le formulaire structuré ne convient pas à l'utilisateur, il doit pouvoir ajouter un commentaire libre sur l'image (figure 37).

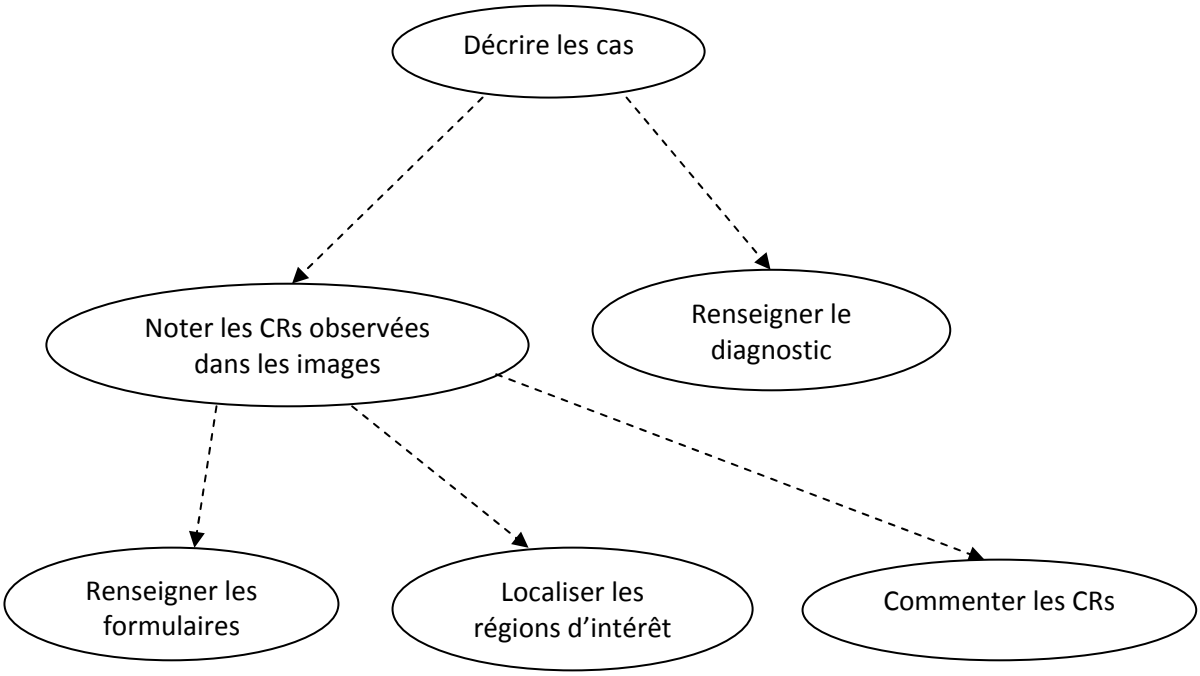

Figure 36: Cas d'utilisation pour la description des cas

8. MODELISATION ET CONCEPTION DU MODULE REMEMORATION

8.1.INTRODUCTION

Dans cette partie, nous présentons les principes de la remémoration de cas similaires et la modélisation formelle du cas d'utilisation « Rechercher des cas similaires » dans SRimCas.

8.2.PRINCIPE DE LA REMEMORATION

La tâche « Rechercher des cas similaires » est constituée des deux sous-tâches initiales du Raisonnement à Partir de Cas tel qu'il est formalisé par Fuchs, c'est à dire « Elaborer le nouveau cas » et « Se remémorer ». Les phases d'adaptation et d'apprentissage du RàPC ne sont pas

prises en compte par la version actuelle de SRimCas. Il ne s'agit pas tant de proposer directement un diagnostic que de présenter à l'utilisateur les cas similaires qui le guideront dans sa démarche diagnostique vers une décision pertinente.

8.3.MODELE DE LA TACHE « REMEMORER »

La comparaison du nouveau cas et des cas de la base met en œuvre tout d'abord une recherche de cas compatibles reposant sur l'indexation définie puis la sélection de cas parmi ce sous-ensemble selon un algorithme d'évaluation de similarité (figure 38) :

Le modèle de la tâche « Se remémorer » met en évidence trois étapes :

- **Se remémorer les cas utiles** : tout d'abord on commence à rechercher les cas intéressants pour la résolution du problème posé et pour lesquels il est pertinent d'évaluer à quel point ils sont similaires au problème posé.
- Se remémorer les cas similaires : on définit des principes de similarités entre description de cas.
- Sélectionner les meilleurs cas : l'utilisateur sélectionne la meilleure solution en choisissant certains cas similaires en fonction de leur intérêt par rapport à la démarche diagnostique en cours.

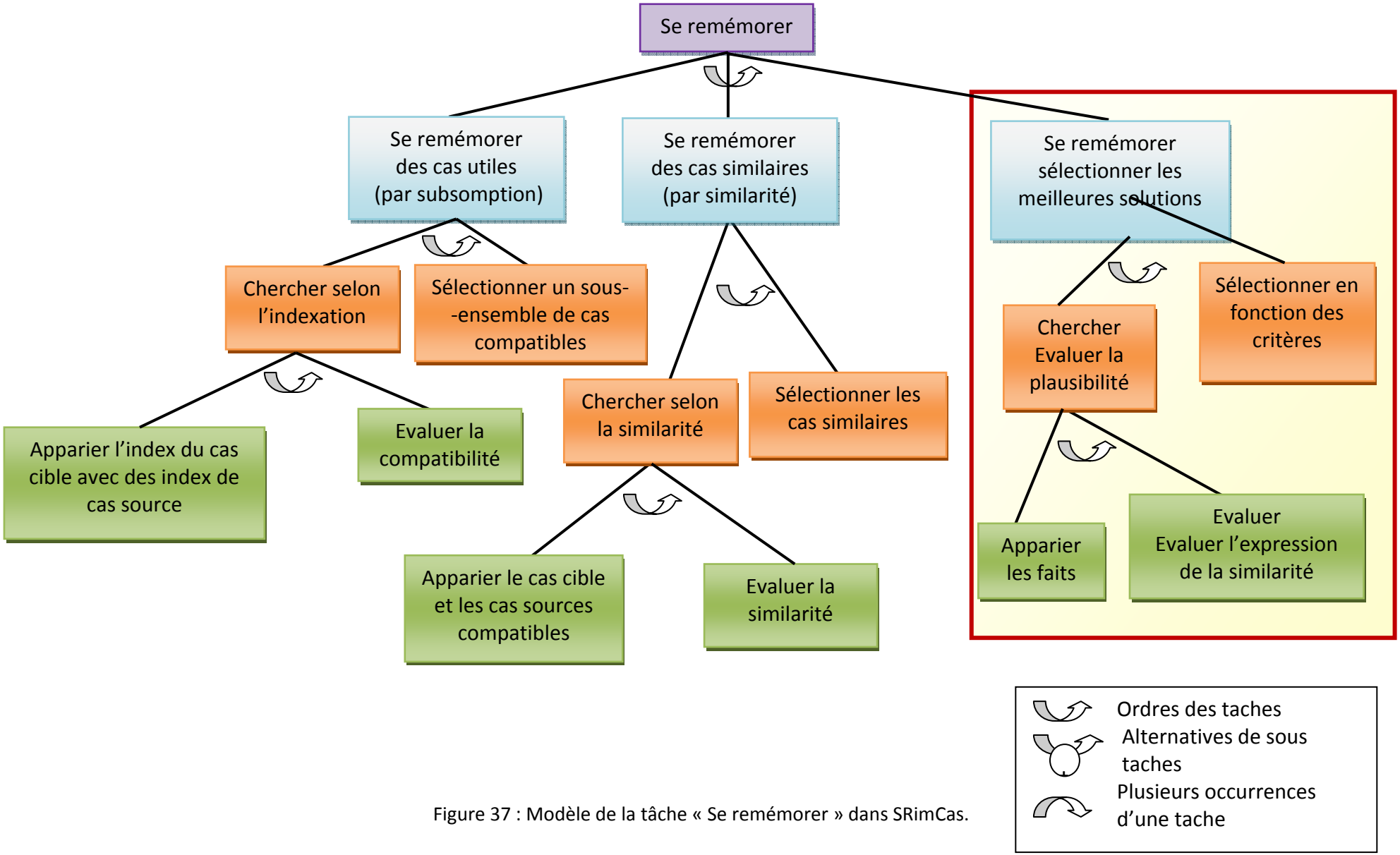

Figure 37 : Modèle de la tâche « Se remémorer » dans SRimCas.

8.4.DEPLOIEMENT DE SRIMCAS

En tant que plateforme sur Internet, SRimCas se doit d'être compatible avec un maximum d'environnements matériels et logiciels et accessible via un mode de communication répandue. Le choix du protocole HTTP (Hyper Text Transfer Protocol) comme support de communication de la plateforme permet de répondre à ces critères.

L'architecture de communication de la plateforme SRimCas (Figure 39) est basée sur une approche "pur JAVA", dans laquelle les clients, les messages et le serveur utilisent des technologies basées sur JAVA.

Les clients de la plateforme (Applets JAVA) et le serveur (JAVA Server Pages) communiquent ensemble en utilisant un mécanisme de messages. Le serveur n'envoie jamais de message directement aux clients (pas de diffusion de messages ou broadcast) : les clients doivent explicitement interroger le serveur. L'accès à la base de cas se fera à travers les caractéristiques de JAVA/JDO.

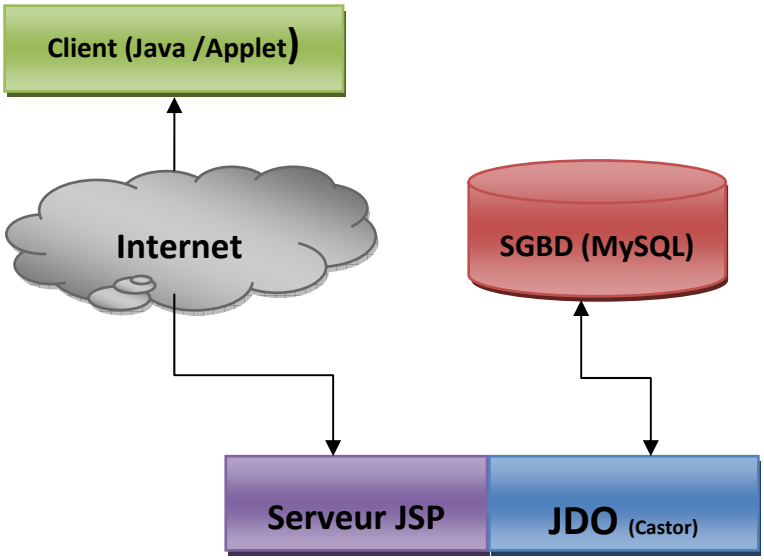

Figure 38 : Architecture de communication de SRimCas.

Pour lancer l'application SRimCas, l'utilisateur se connecte sur le site web hébergeant l'application et démarre l'Applet Java. Par la suite, l'Applet utilise ce même canal HTTP pour communiquer avec le serveur.

En fait, d'une manière plus générale, le mode de communication choisi pour la plateforme impose actuellement l'utilisation d'un client JAVA. Un mécanisme de message basé sur un format plus ouvert et plus neutre (avec la norme SOAP, par exemple) autoriserait le fonctionnement du serveur avec d'autres clients.

Conclusion et Perspectives

L'objectif de ce travail était de proposer une architecture fonctionnelle d'un système de recherche d'images médicales basé sur une méthode d'intelligence artificielle qui est le raisonnement à partir de cas (RàPC). Le système conçu devra permettre à partir de la description du cas à résoudre de retrouver dans la base le(s) de cas, le(s) plus similaire(s) et également de visualiser, par une navigation qui utilise des liens de similarités, les cas « proches » du cas répondant à la requête.

Le cadre de ce travail se focalise sur une technique de l'imagerie médicale qui est l'échographie abdominopelvienne utilisée lors du processus de diagnostique de l'appendicite pour des pathologistes en exercice quotidien.

Au cours de l'état de l'art que nous avons réalisé, nous nous sommes focalisés sur la problématique de description des images à savoir : la représentation des images par le biais du contexte, contenu et sémantique, en présentant les limites de chaque technique et notamment pour les images médicales, pour chaque paradigme de description d'image , quelques systèmes de recherche d'images ont été présenté et notamment ceux qui sont utilisé dans le domaine médical, l'état de l'art nous a montré la limite et la difficulté d'appliquer les systèmes de recherche d'image dite généraux dans le domaine médical.

La technique utilisée pour la recherche d'images dans ce mémoire est basée sur le raisonnement à partir de cas (RàPC), ce type de raisonnement qui est indiqué dans les domaines où l'activité repose de façon importante sur les connaissances du domaine. Dans les domaines où il n'existe pas vraiment de théorie du domaine. Dans les domaines où il est difficile d'évaluer objectivement des solutions, l'avantage d'un système RàPC est de justifier ces solutions par l'exemple. Un tel système permet d'anticiper les problèmes qui peuvent survenir lors de l'utilisation d'une solution donnée car un cas renferme une description d'un problème, de sa solution et de l'adéquation de la solution. Dans le domaine médical, le RàPC est particulièrement intéressant dans la mesure où le type de raisonnement mobilisé lors de la

démarche diagnostique repose essentiellement sur l'expérience liée à la résolution de cas rencontrés lors de la pratique.

Le premier prototype de SRimCas a été réalisé dans le cadre restreint du domaine de l'échographie abdominopelvienne, la base de cas n'est pas assez riche et la description des cas doit être améliorée et validée par un nombre plus important d'experts du domaine. En ce qui concerne la procédure de recherche, un système de remémoration da cas offre plusieurs avantages. SRimCAS se compose de plusieurs modules :

- ***Module de description des cas adapté au domaine et à la démarche diagnostique en échographie abdomino-pelvienne***

Notre système est capable de gérer l'annotation explicite des images, c'est-à-dire la mise en correspondance de régions d'intérêt (organes) dans l'image avec la description textuelle associée dans un vocabulaire contrôlé. En effet, le pathologiste peut ainsi toujours faire référence aux apparences visuelles usuelles du terme qu'il veut utiliser au cours de la phase de description

- ***Module de remémoration de cas similaires pour l'aide au diagnostic***

Dans ce cadre, un système de RàPC nous a semblé pouvoir répondre aux besoins des utilisateurs et s'intégrer facilement à une pratique quotidienne où le pathologiste est régulièrement amené à montrer des images à un expert du domaine. L'interrogation ou la navigation dans une base de cas (selon des liens de similarités) peut être utile dans plusieurs contextes que sont l'aide au diagnostic, l'aide à la formation.

Au delà du travail présenté et réalisé, plusieurs voies de développement peuvent être décrites :

- Etendre le modèle de cas en tenant compte de la multimodalité des données (cliniques, biologiques, radiologiques, histologique) impliquées dans la procédure diagnostique.
- L'intégration de SRimCas à un environnement hospitalier ceci permettra de l'utiliser comme un serveur d'expertise offrant des fonctionnalités d'aide au diagnostic et de

recherche d'information sophistiquées, dans un système hospitalier d'archivage et de communication des images (Picture Archiving and Communicating System (PACS)).

- Il existe une importante variabilité inter-observateurs en ce qui concerne l'interprétation et notamment la description des images. Doter notre système d'un module de consensus pour valider les connaissances extraites à l'occasion de la comparaison de descriptions d'images de cas réalisées par plusieurs pathologistes. Ceci permettra d'une description multi-experte des cas. Ce module permettra aussi de standardiser les cas et implanter une mesure de similarité et de concordance utilisée pour comparer des descriptions de plusieurs pathologistes et de participer de façon importante à la stratégie de validation des concepts obtenus lors de la phase d'acquisition des connaissances.
- Utiliser notre système dans un environnement collaboratif sur internet pour l'aide au consensus en échographie abdominopelvienne. L'apport de ce travail concerne la modélisation et l'implémentation d'une plateforme permettant l'exécution de ces consensus via Internet. Cette nouvelle architecture repose sur l'informatisation de contraintes liées à 3 domaines distincts : 1) les contraintes liées au matériel visuel (stockage, diffusion et annotation des images) ; 2) les contraintes liées au matériel sémantique utilisé pour la description des images (les formulaires) ; 3) les contraintes liées au matériel collaboratif (les interactions entre les experts).

Bibliographie

[Aamodt & Plaza 1994] Aamodt A., Plaza E. «**Case-based reasoning: foundational issues, methodological variations and system approaches»**. AICom Artificial Intelligence Communications, vol.7, n°1, pp 39-59, mars 1994.
(***Disponible sur*** http://home.cc.gatech.edu/ccl/uploads/45/aug-28-Aamodt-Plaza-94.pdf)

[Abad-Mota 1995] Abad-Mota S., Kulikowski C., «**Semantic Queries on Image Databases: The IMTKAS model»**, Proceedings of Basque International Workshop on Information Technology, 1995, San Sebastian, Spain, P. 20-28.

[Anatani 2004] Antani S, Roodney Long L. George R.Thoma. «**Content-Based Image Rereival for Large Biomedical Image Archives».** Medinfo 2004.
(***Disponible sur*** http ://lhncbc.nlm.nih.gov/lhc/docs/published/2004/pub2004041.pdf)

[Angelaccio 1990] Angelaccio M., Catarci T., Santucci G., «**QBD*: A graphical Query Language with recursion»**, IEEE Transactions on software engineering, 1990, Vol. 16, N°10, P. 1150-1163.

[Ashley 1996] Ashley W. «**What shoe was that? The use of computerized image database to assist in identification»**,Forensic Science International, 1996, Vol. 82, N°1, P.7-20.

[Auriol 1995] Auriol E. «**Intégration d'approches symboliques pour le raisonnement à partir d'exemples. L'induction et le raisonnement par cas dans le diagnostic technique»**. Mémoire de thèse. Spécialité Informatique. Paris : Université de Dauphine ; 1995.

[Bach 1993] Bach J. R., Paul S., Jain R., «**A Visual Information Management System for the Interactive Retrieval of Faces»**, IEEE transactions on Knowledge and data engineering, 1993, Vol. 5, N° 4, P. 619-628.

[Bach 1996] Bach J.R., Fuller C., Gupta A., «**The Virage image search engine: an open framework for image management»**, Proceedings of the SPIE, 1996, Vol. 2670,P. 76-87.

[Bachimont 2000] Bachimont B. « **Engagement sémantique et engagement ontologique : conception et réalisation d'ontologies en ingénierie des connaissances »**. In : Charlet J, Zacklad M, Kassel G, Bourigault D, editors. Ingénierie des connaissances. Evolutions récentes et nouveaux défis. Paris : Eyrolles ; 2000. P. 305-324.

[**B**aldi 1999] Baldi G., Colombo C., Del Bimbo A., **« Compact and Retrieval-Oriented Video Representation Using Mosaics »**, Proceedings of Third International Conference, Visual'99, 1999, Amsterdam, P. 171-178.

[**B**errut 1988] Berrut C., **« Une méthode d'indexation fondée sur l'analyse sémantique de documents spécialisés. Le prototype RIME et son application à un corpus medical »,** Thèse de doctorat de 3ème cycle, Université de Grenoble, 1988.

[**B**ertino 1998] Bertino E., Catania B., **«A constraint-based approach to shape management in multimedia databases »**, Multimedia Systems, 1998, Vol. 6, N° 1, P. 2-16.

[**B**ichindaritz 2004] Bichindaritz I.,« **Semantic Interoperability of Case Based Reasoning Systems in Biology and Medicine**». University of Washington 1900 Commerce Street Tacoma, WA 98402, USA 2004.

[**B**ichindaritz 2005] Bichindaritz I.,« **Editorial Case Based Reasoning in the Health Sciences** ». University of Washington 1900 Commerce Street Tacoma, WA 98402, USA 2005 .

[**B**isson 1993] Bisson G. KBG - **« Induction de bases de connaissances en logique des prédicats »**. Thèse de Doctorat. Spécialité Informatique. Orsay : Paris-Sud ; 1993.

[**B**isson 2000] Bisson G. **« La similarité : une notion symbolique/numérique »**. In: Diday E, Kodratoff Y, Brito P,Moulet M, editors. Induction symbolique numérique à partir de données. Toulouse : Cépaduès Edition ; 2000.

[**B**ourigault 1996] Bourigault D, Lépine P. **« Utilisation d'un logiciel d'extraction de terminologie (Lexter) en acquisition des connaissances »**. In : Acquisition et ingénierie des connaissances. Tendances actuelles. Toulouse : Cépaduès ; 1996. P. 267-84

[**B**ouet 1996] Bouet M, Khenshaf A, Briand H. **« Shape representation for image retrieval ».** In: 7th ACM multimedia conference; Orlando; 1996; p. 1-4.

[**B**rooks 1981] Brooks P., **« Symbolic reasoning among 3D models and 2D images »**, Artificial Intelligence, 1981, Vol. 17, N° 1-3, P. 285-348.

[**C**an 1992] Cannan S.J., **« SQL – The Standard Handbook»**, London: McGraw Hill, 1992.

[**C**ardenas 1993] Cardenas A.F., Ieong I.T., Taira R.K., Barker R., Breant C., **« The Knowledge-Based Object-Oriented PICQUERY+ Language »**, IEEE-Transactions on Knowledge-and-Data-Engineering, 1993, Vol. 5, N° 4; P. 644-657.

[Cea 2008] **« Les techniques d'imagerie médicale »**. disponbile sur www.cea.fr/content/download/5416/35384/file/MemoC.pdf

[Celeux 1989] Celeux G, Diday E, Govaert G, Lechevallier Y, Ralambondrainy H. **« Classification automatique des données : environnement statistique et informatique »** : Dunod ; 1989.

[Charlet 2000] Charlet J, Reynaud C, Teulier R. **«Ingénierie des connaissances pour les systèmes d'information ».** In Ingénierie des systèmes d'information. Cauvet C, Rosenthal-Sabroux C(eds) ; Hermès ;2000

[Chang 1980] Chang N.S., Fu K.S., **« Query By Pictorial Example »**, IEEE Transactions on Software Engeneering, 1980, Vol. SE-6, N° 6, P. 519-524.

[Chang 1988] Chang S. K., Jungert E., **«An intelligent image database system »**, IEEE Transactions on-Software-Engineering, 1988, Vol. 14, N° 5, P. 681-688.

[Chang 1989] Chang S.K., Jungert E., Li Y., **« Representation and retrieval of symbolic pictures using generalized 2D strings »**, Proceedings of the SPIE—The International Society for Optical Engineering, 1989, Vol. 1199, pt. 3, P.1360- 72.

[Chang 1991] Chang S. K., Jungert E., **« Pictorial data management based upon the theory of symbolic projections »**, in Journal of Visual Languages and Computing, 1991, Vol. 2, N° 3, P. 195-215.

[Chebeir 2001] Chebeir R. « **Modélisation de la description d'images : application au domaine médical »**. Thèse de doctorat, laboratoire INSA. 2001.

[Chellappa 1995] Chellappa R., Wilson C.L., Sirohey S., **« Human and Machine Recognition of Faces: A survey »**, Proceedings of the IEEE, 1995, Vol. 83, N° 5, P. 705-741.

[Cheng 1998] Cheng S.F., Chen W., Sundaram H., **« Semantic Visual templates: linking visual features to semantics »**, Proceedings of International Conference on Image Processing, ICIP'98, Los Alamitos, CA, USA, 1998, Vol. 3, P.531-535.

[Chu 1998] Chu W. W. Hsu C.C, Cardenas A, Taira R, **« Knowledge-Based image Retreival with spatial and temporal Constructs »**, IEEE Transactions and data Engineering 1998, Vol 10, N°6,P.872-888

[Chusseau 1999] Sébastien CHUSSEAU. « **Système d'aide à la décision pré-opératoire en chirurgie orthopédique de la scoliose** ». Thèse de doctorat spécialité automatique industrielle et humaine, l'université de valenciennes et du hainaut-cambrésis 1999. ***Disponible sur*** www.eric.watelain.free.fr/Telecharger/these_chusseau.pdf

[Comaniciu 1998] Comaniciu D., Meer P., Foran D, and Medl E. **« Biomodal system for interactive indexing and retrieval of pathology images ».** In Workshop on Applications of computer vision, pages 76-81, Princeton, NJ, 1998

[Connell 1987] Connell J.H., Brady J.M., **«Generating and generalizing models of visual objects»**, Artificial-Intelligence, 1987, Vol. 31, N° 2; P. 159-183.

[Ciocca 1998] Ciocca G., Gagliardi I., Schettini R., **« Retrieving color images by content »**, Proceedings of the Image and Video Content-Based Retrieval Workshop, 1998, Milano, Italy, P.57-64.

[Codd 1970] Codd E.F., **« A relational Model of Data for Large Shared Data Banks »**, Communications of the ACM, 1970, Vol. 13, N° 6, P. 377-387.

[Cordier 2004] Amélie cordier. **« Gestion des Connaissances pour des Systèmes à Base de Connaisances Hybrides »**. Mémoire de DEA DISIC, Université de Claude Bernard Lyon I, Laboratoire LIRIS, Juin 2004.

[Coté 1994] Coté R, Rothwell D, Brochu L. **« SNOMED International »** (3rd ed.). Northfield: College of American Pathologists; 1994.

[Daniel-Vatonne 1990] Daniel-Vatonne M-C., **« Hypertext : general principles and variations »**, Technique et Science Informatiques, 1990, Vol. 9, N° 6, P. 475-492.

[Dayhoff 1991] Dayhoff RE, Kuymak PM, Shepard B. **« Integrating medical images into hospital information systems »**. J Digital Imaging 1991; 4:87-93.

[Dayhoff 1999] Dayhoff RE, Kuzmak PM, Kirin G, Frank S. **«Providing a complete online multimedia patient record ».** Proc AMIA Symp 1999:241-5.

[Degoulet 1998] Degoulet P, Fieschi M. « **Informatique médicale »**. Paris : Masson ; 1998.

[Dicom 2008] **« Norme DICOM en Imagerie Médicale : Que doit savoir le radiologue clinicien ? »** disponible sur http://eviewbox.sourceforge.net/JFR98/intro.html

[Dicom 2008a] **« Comprendre la nécessité de DICOM ».** Disponible sur http ://dicom.online.fr/fr/dicomwhatfr.htm,

[**D**ieng 2000] Dieng R, Corby O, Giboin A, Golebiowska J, Matta N, Ribière M. **« Méthodes et outils pour la gestion des connaissances »**. Paris : Dunod ; 2000.

[**D**imitrovski 2008] Dimitrovski I, Gorgevik D, Loskovska S. **« Web –Based medical image retrieval system ».** Faculty of Electrical Engineering and Information Technology. Mecedonia 2007.

[**D**ioleti 2005] Isavella DIOLETI. **« Modélisation et expérience pour l'indexation symbolique d'images sur le web »**. Universite Joseph Fourier – Grenoble i U.F.R en informatique et mathematiques appliquees 2005.

[**D**u 1988] Du H., Azmoodeh M., **« GQL: A Graphical Query Language for Semantic Databases »**, Proceedings of Statistical and Scientific Database Management – Fourth International Working Conference, 1989, Berlin, West Germany, P.259-277.

[**D**unlop 1993] Dunlop M., Van Rijsbergen C.J., **«Hypermedia and free text retrieval»**, Information Processing and Management, 1993, Vol. 29, N° 3, P. 287-298.

[**E**akins 1999] Eakins J.P., Graham M.E., **« Content-based Image Retrieval »**, [on line] Technical report of the JISC Technology, Institute for Image Data Research, University of Northumbria at Newcastle, 1999, 66 p.

[**E**genhofer 1996] Egenhofer M.J., **« Spatial-Query-By-Sketch »**, Proc. Of Symposium on Visual Languages, 1996, Los Alamitos, CA, USA, P. 60-67.

[**E**ncarta 2008] Encyclopédie Microsoft® Encarta® **« Imagerie médicale »** en ligne 2008 http://fr.encarta.msn.com © 1997-2008 Microsoft Corporation.

[**F**arguhar 1996] Farguhar A, Fikes R, Rice J. **« The Ontolingua server: a tool for collaborative ontology construction »**. In: Gaines B, Musen M, editors. Banff; 1996; p. 1-19.

[**F**lickner 1995] Flickner M., Sawhney H., Niblack W., **« Query by image and video content: the QBIC system »**, Computer, 1995, Vol. 28, N° 9, P. 23-32.

[**F**ranck 82] Franck A., **« MAPQuery: Database Query Language for Retrieval of Geometric Data and their graphical representation »**, Computer Graphics, 1982, Vol. 16,N° 3, P. 199-207.

[**F**uchs 1997] Fuchs B. « **Représentation des connaissances pour le raisonnement à partir de cas. Le système Rocade** » Mémoire de thèse. Spécialité : informatique. Université de Saint Etienne ; 1997.

[Fuchs 2000] Fuchs B, Mille A. « **Une modélisation au niveau connaissance du raisonnement à partir de cas ».** In : Aussenac-Gilles N, Condamines A, Bourigault D, Frontin J, editors. Journées. 2000

[Fuchs 2007] Fuchs B, Mille A, Prie Y, Cram D. « **Raisonner à partir de l'expérience tracée : Application à un raisonnement collaboratif ».** Projet PROCOGEC : PROgiciel Collaboratif de Gestion de connaissances. 2007

[Gelgon 1999] Gelgon M., Bouthemy P., **« A Region Tracking Method with Failure Detection for an Interactive Video Indexing Environment »**, Proceedings of the Third International Conference, Visual'99, 1999, Amsterdam, P. 261-268.

[Gentner 1983] Gentner D. **« Structure-mapping: theoretical framework for analogy »**; Cognitive Science 1983; 7:155-170.

[Gomez-perez 1998] Gomez-perez A. **« Ontological engineering ».** In: ECAI 98; Budapest; 1998.

[Grimines 1999] Morten Grimnes and Agnar Aamodt. **«A two layer case-based reasoning architecture for medical image understanding».** 1999
Disponible sur www.cbr-biomed.org

[Gud 95] Gudivada V. N., Raghavan V. V., **« Content-based image retrieval systems »**, Computer, 1995, Vol. 28, N° 9, P. 18-22.

[Guillermo 2006] Guillermo C.R. **« Management de l'innovation technologique et des connaissances : synergie entre la théorie TRIZ et le Raisonnement à Partir de Cas. Application en génie des procédés et systèmes industriels ».** Thèse de doctorat de L'institut National Polytechnique De Toulouse.2006.

[Hal 1989] Halin G., **« Apprentissage pour la recherche interactive d'images : Processus EXPRIM et prototype Rivage »,** Thèse de l'université Nancy I-CRIN, 1989.

[Hermes 1995] Hermes T., Klauck C., Kreyss J., et al., **« Image retrieval for information systems »**, Proceedings of the SPIE – The International Society for Optical Engineering, 1995, Vol. 2420, P. 394-405.

[Hidki 2007] Hidki A, Depeursinge A, Müller H. **« The MedGIFT Project: Global Perspectives of Medical Doctor ».** Medical Imaging technology vol.25 N°5 Novmeber 2007.

[Holt 2005] Holt A., Bichindaritz I, Schmidt Rainer, Perner P, «**Medical applications in case-based reasoning** » **The Knowledge Engineering Review** Volume 20 , Issue 3 (September 2005) Pages: 289 - 292 : 2005

[Honeyman 1996] Honeyman J.C, Frost M.M., Moser R., et al., **« RIS requirements to support a PACS infrastructure »,** Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering , 1996 , Vol 2711.P.120-125

[Hou 92] Hou Y. T., Hsu A., Liu P., et al., **« A content-based indexing technique using relative geometry features »**, Proceedings of the SPIE – The International Society for Optical Engineering, 1992, Vol. 1662, P. 59-68.

[Hsu 1996] Hsu C.C.; Chu W.W., Taira K., **«A knowledge-Based Approach for retreiving images by content »,** IEEE Transactions on knowledge and data engineering, 1996, Vol. 8, N°4, P.522-532.

[Huet 1998] Huet B., Vailaya A., **«Relational Histograms for shape indexing»**, IEEE International Conference on Computer Vision, 1998, Mumbai India, P. 563-569.

[Huynh 2002] HUYNH Thanh Liem. « **Recherche d'informations médicales sur Internet dans l'exercice quotidien de la médecine générale une étude comparative entre deux outils complémentaires: moteur de recherche et annuaire thématique ».** Thèse de doctorat en médecine. Académie de PARIS, Université RENE DESCARTES, Faculté de médecine cochin port royal. 2002.

[Ikonomakis 1999] Ikonomakis N., Plataniotis K.N., Venetsanopoulos A.N., «**A Region-based Color Image Segmentation Scheme»**, Proceedings of the SPIE: Visual Communications and Image Processing, 1999, Vol. 3653, P. 1202-1209.

[IRMA 2008] **« IRMA (Image Retreival in Medical Applications), Project description»**, disponible sur http://libra.imib.rwth-aachen.de/irma/index-en.php accédé le 07/11/2008.

[Iso 1996] «**ISO/IEC JTC1/SC21 N10491, ISO/IEC 9075»,** Part 8, Committee Draft (CD),Database Language SQL -Part 8: SQL/Object, July 1996.
Disponible sur ftp://speckle.ncsl.nist.gov/isowg3/dbl/BASEdocs/cd-objct.pdf.

[Joseph 1988] Joseph T., Cardenas A.F., «**PICQUERY: A High Level query Language for Pictorial Database Management»**, IEEE Transactions on Software Engineering,1988, Vol. 14, N° 5, P. 630-638.

[Kak 2002] Kak A. and Pavlopoulou. «**Content-Based Image Retrieval from Large Medical Databases».** In 3D Data Processing, Visualization, Transmission, Padova, Italy, 2002

[Kherfi 2004] M.L.Kherfi and Ziou Université de Sherbrooke, A.Bernardi Laboratoires Universitaires Bell. «**Image Retrieval From the World Wide Web: Issues, Techniques, and Systems»**. ACM Computing Surveys, vol. 36, no 1, march 2004.

[Klossa 1998] Klossa J, Cordier JC, Flandrin G, Got C, Hemet J. A European de facto «**Standard for image folders applied to telepathology and teaching»**. Int J Med Inf 1998;48 (1-3):207-16.

[Kolodner 1992] Kolodner J.L. «**An introduction to case-based reasoning Artificial Intelligence Review»**, N°6, pp 3-34, 1992

[Kolodner 1993] Kolodner J.L «**Case-Based Reasoning Morgan Kaufmann»**, San Mateo, California, USA, 1993.

[Korn 1998] Korn F., Sidiropoulos N., Faloustos C., Siegel E. ,and Protopapas Z. «**Fast and effective retrieval of medical tumor shapes».** IEE Transactions on knowledge and data engineering, 10(6):889-904, 1998

[Kuntz 2001] DIENG-KUNTZ R., CORBY O., GANDON F., GIBOIN A., GOLEBIOWSKA J., MATTA N., RIBIÈRE M., « **Méthodes et outils pour la gestion des connaissances : une approche pluridisciplinaire du knowledge management** »,2001, 2e éd. Paris,

[Lamb 1990] Lamb H., Chen H., Ty F., et al., «**A graphical Interface for object oriented query language»**, George J. Knafl Ed. Proceedings of IEEE Computer society International Computer software & applications conference, Chicago, 1990,Los Alamitos USA: IEEE Computer Society Press, P. 231-237.

[Landré 2001] Landré J., Truchetet F., Montuire S. et David B., « **Content-based multiresolution indexing and retrieval of paleontology images »**, SPIE Proceedings of Storage and retrieval for Media Databases - San Jose - CA USA, 2001.

[Larue 1993] Larue T., Pastre D., Viemont Y., «**Strong Integration of Spatial Domains and Operators in a Relational Database System»**, Proc. Of the 3rd Symposium on Advances in Spatial Databases, Berlin, Germany, 1993, N° 692, P. 53-72.

[Leake 1996] LEAKE D, «**Case-Based Reasoning: Experiences, Lessons, and Future Directions»**, 1996, Menlo Park AAAI Press/MIT Press

[Le Bozec 2001] Le Bozec C : «**Gestion des connaissances multi-expertes en imagerie médicale. IDEM : Images et Diagnostic par l'Exemple en Médecine»**, Thèse de doctorat en informatique médicale de l'université Paris VI, 2001.

[LeBozec 1998a] Le Bozec C (a), Jaulent MC, Zapletal E, Heudes D, Degoulet P. «**IDEM: a Web application of case-based reasoning in histopathology »**. Comput Biol Med 1998;28(5):473-87.

[LeBozec 1998b] Le Bozec C (b), Jaulent MC, Zapletal E, Degoulet P. «**Unified modeling language and design of a case-based retrieval system in medical imaging »**. Proc AMIA Symp 1998:887-91.

[LeBozec 1998c] Le Bozec C., Jaulent M.-C., Zapletal E**.** « **IDEM : Remémoration de cas pour l'aide au diagnostic en anatomie pathologique ».** Ingénierie des Connaissances, Loria INRIA, Nancy, Mai 1998

[Lee 95] Lee Y.C., Chin F.L., « **An iconic query language for topological relationships in GIS»**, International Journal of geographical information Systems, 1995, Vol. 9,N° 1, P. 25-46.

[Lee 2004] Denny Lee. « **Content-Based Image Retrieval Systems:A High Level Overview of their components ».**OHSU Medical Informatics Course Project *Course 514: Information Retrieval 2004.*

[Lehmann 2000] Lehmann T., Wein B., Dahmen J. Bredno J., Vogelsang F., and Kohnen M. «**Content-Based Image Retreival in Medical Applications: A novel Multi-Step Approach ».** In International Society for Optical Engineering(SPIE), volume 3972(32), pages 312-320, 2000.

[Lehmann 2004] Thomas M. Lehmann, Mark O. Güld, Christian Thies, Benedikt Fischer, Klaus Spitzer, Daniel Keysers[a], Hermann Ney, Michael Kohnen, Henning Schubert, Berthold B. Wein. « **The IRMA Project: A State of the Art Report on Content-Based Image Retrieval in Medical Applications ».** Department of Medical Informatics. Aachen University of Technology (RWTH), Aachen, Germany 2004.

[Le Roux 2004] Bernard Le Roux. « **Recherche dans les bases de données images : une approche de description et une mesure de similarité combinant les aspects physiques et sémantiques de l'image »**. mémoire d'ingénieur CNAM spécialité Ingénierie Intégration Informatique : Systèmes d'Information. centre régional associé de Bourgogne centre d'enseignement de Dijon.2004.

[Liu 1996] Liu F., Picard R. W., « **Periodicity, directionality and randomness: Wold features for image modeling and retrieval »**, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1996, Vol. 18, N° 7, P. 722-733.

[**L**igier 1994] Ligier Y., Ratib O., Girard C., et al. « **OSIRIS: A medical manipulation system »**, M.D. Computing Journal, 1994, Vol. 11, N° 4, P.212-218.

[**L**im 1996] Lim J.H., The H.H., Lui H.C., et al., « **Stochastic Topology with Elastic Matching for Off-line Handwritten Character Recognition »**, Pattern Recognition Letter, 1996, Vol. 17, N° 2, P. 149-154.

[**L**owe 1998] Lowe HJ, Antipov I, Hersh W, Smith CA. **« Towards knowledge-based retrieval of medical images. The role of semantic indexing, image content representation and knowledge-based retrieval »**. Proc AMIA Symp 1998:882-6.

[**M**anjunath 1996] Manjunath B. S., Ma W. Y., «**Texture features for browsing and retrieval of image data»**, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1996, Vol. 18, N° 8, P. 837-842.

[**M**anmatha 1996] Manmatha R, Aussenac-Gilles N. « **Le schéma du modèle conceptuel, étape dans la modélisation des connaissances. Acquisition et ingénierie des connaissances. Tendances actuelles »**. Toulouse: Cépaduès; 1996. p. 29-48.

[**M**arkus 2004] Markus Nilsson, Mikael Sollenborn «**Advancements and Trends in Medical Case-Based Reasoning: An Overview of Systems and System Development ».** Malardalen University Department of Computer Science and Engineering Vasteras, Sweden

[**M**artinez 2000] Martinez J. « **Les bases d'images »**. In: Le Maitre J, Charlet J, Garbay C, editors. **Le document multimédia en sciences du traitement de l'information**. Toulouse: Cépaduès; 2000. p. 129-158

[**M**artinet 2004] Jean Martinet. « **Un modèle vectoriel relationnel de recherche d'information adapté aux images »**. Thèse de doctorat spécialité informatique, université Joseph Fourier Grenoble 1. 2004.

[Mascarini 1996**]** Mascarini Ch., Ratib O., et al., « **In-house access to PACS images and related data through World Wide Web** », Proceedings –of-SPIE, The International Society for Optical Engineering, 1996, Vol. 2711, P.531-537

[**M**aurice-Demourioux 1993] Maurice-Demourioux M.,Lâasri B.,Levallet C.,Pinson S. « **Le raisonnement à partir de cas : panorama et modélisation dynamique »** Actes du Congrès INFORSID, pp 145-159, Lille, France, 11-14 Mai 1993

[MedGIFT 2008] **« MedGIFT: GNU Image finding tools presentation »**, departement de radiologie et informatique médicale, hôpitaux université de Genève. Disponible sur http://www.dim.hcuge.ch/medgift/01_presentation_Fr.html accédé le 07/11/2008

[Mechkour 1995] Mechkour M., «**Un modèle étendu de représentation et de correspondance d'images pour la recherche d'informations : Application à un corpus d'images historiques »,** Thèse de doctorat de 3ème cycle de l'UJF, Grenoble, 1995.

[Meyer 1994] Meyer B., «**Pictorial Deduction in Spatial Information Systems**», IEEE Symposium on Visual Languages, 1994, St. Louis, Missouri, P. 23-30,

[Mille 1999] Mille A. « **Etat de l'art du raisonnement à partir de cas ».** In: Plateforme de l'AFIA 99; Palaiseau;1999

[Minka 1996] Minka T., «**An image database browser that learns from user interaction**», MIT Media Laboratory, Cambridge MA, MIT Master of Engineering Thesis, 1996.

[Mukherjea 1999] Mukherjea S., Cho J., «**Automatically Determining Semantics for World Wide Web Multimedia Information Retrieval»**, Journal of Visual Languages and computing, 1999, Vol. 10, N° 6, P. 585-606.

[Müller 2003] Henning Müller, P.Fabry, and A. Geissbuhler. «**medGIFT – retrieving medical images by there visual content».** In World summit of the information society, forum science and society, Geneva, Switzerland, 2003.

[Müller 2005] Henning Müller, PhD, Antoine Rosset, MD, Arnaud Garcia, Jean-Paul Vallée, PhD, MD and Antoine Geissbuhler, MD**.** «**Benefits of Content-based Visual Data Access in Radiology».** From the Service of Medical Informatics, University and University Hospitals of Geneva,2005.

[Müller 2007a] Müller H, Michoux N, Bandon D and Geissbuhler A. «**A Review of Content Based Image Retrieval Systems in Medical Applications: Clinical Benefits and Future Directions»**.Division for Medical Informatics, University Hospital of Geneva. 2007.

[Müller 2007b] Müller H, Zhou X, Depeursinge A, Pitkanen M, Iavindrasana J, Geissbuhler A. «**Medical visual information retreival : State of the art and challenge ahead».** Medical Informatics Services, university and hospitals of Geneva. 2007.

[Müller 2008] Müller H, Geissbuhler A. «**Medical Multimedia Retreival».** Medical Informatics Services, university and hospitals of Geneva. 2008.

[Napoli 1997] Napoli A. «**Une introduction aux logiques de descriptions»**. Rapport de recherche RR 3314.Nancy: INRIA ; 1997.

[Nelson 1994] Nelson T.H., «**Xanadu: Document Interconnection Enabling Re-Use with Automatic Author Credit and Royalty Accounting»**, Information Services and Use, 1994, Vol. 14, N° 4, P. 255-265.

[Niblack 1993] Niblack W., Barber R, Equitz W., et al, «**The QBIC project: querying image by color, texture and shape»,** Proceedings of the SPIE- The international Society for Optical Engineering, 1993, Vol 1908, P.173-187

[Niblack 1997] Niblack W., Xiaoming Zhu, Hafner J.L. et al., «**Updates to QBIC system»,** Proceedings of the SPIE- The international Society for Optical Engineering, 1997, Vol 3312, P.150-161.

[NLM 1997] NLM. «**Medical Subject Headings (MeSH) ».** Bethesda: National Library of Medicine; 1997.

[NLM 1998] NLM. «**Unified Medical Language System»**. Bethesda: National Library of Medicine; 1998.

[OMS 1993] OMS. «**Classification Internationale des Maladies (CIM-10) »**; 1993

[Ogle 95] Ogle V.E., Stonebraker M., «**Chabot: Retrieval from a relational database of images»**, Computer, 1995, Vol. 28, N° 9, P. 40-48.

[Ooi 1998] Ooi B.C., Tan K.L., Chua T.S., et al., «**Fast image retrieval using color-spatial information»**, VLDB journal, 1998, Vol. 7, N° 2, P. 115-128.

[Oppenheim 1975] Oppenheim A.V., Schafer R.W., «**Digital Signal Processing»**, Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1975, P. 541-554.

[PenTland 1995] Pentland A., Picard R.W., Sclaroff S., «**Photobook: tools for content-based manipulation of image databases»**, Proceedings of the SPIE – The International Society for Optical Engineering, 1995, Vol. 2368, P. 37-50.

[Pietka 1991a] Pietka E., Kaabi L., Kuo M.L, et al, «**Feature extraction in carpal bone analysis»,** IEEE Transactions on Medical Imaging, 1991, Vol. 12, N° 1, P. 44-49

[Pietka 1991b] Pietka E., McNitt-Gray M.F., Kuo M.L. et al, «**Computer assisted phalangeal analysis in skeletal age assessement»,** IEEE Transations on medical Imaging. 1991, Vol. 10, N°4, P.616-620.

[Quellec 2008] Gwénolé Quellec. «**Indexation et fusion multimodale pour la recherche d'information par le contenu. Application aux bases de données d'images médicales».** Thèse de doctorat TELECOM Bretagne, Ecole doctorale Matisse mention traitement du signal. 2008

[Rainer 2000] Rainer Schmidt, Lothar Gierl. «**Case-based Reasoning for Medical Knowledge-based Systems».** Institute for Medical Informatics and Biometry, University of Rostock Rembrandtstr. 16 / 17, D-18055 Rostock, Germany 2000.

[Rassinoux 1994] Rassinoux A.M., Baud R.H., Scherrer J.R., «**A multilingual Analyser of Medical Texts»**, Proceedings of the Second International Conference on Conceptual Structures, 1994, Berlin, Germany, P. 84-96.

[Rector 1999] Rector AL. «**Terminology and concept representation languages: where are we? »** Artificial Intelligence in Medicine 1999;15(1):1-4.

[Remco 2000] Remco C. Veltkamp, Mirela Tanase. «**Content-Based Image Retrieval Systems: A Survey».** Department of Computing Science, Utrecht University. 2000.

[Richter 1993] Richter MM, Wess S, Althoff KD, Maurer F. In: Richter MM, Wess S, Althoff KD, Maurer F,editors. «**First European Workshop on Case Based Reasoning»**; Berlin: Springer Verlag; 1993.

[Rifqi 2000] Rifqi M, Berger V, Bouchon-Meunier B. «**Comment choisir précisément une mesure de similitude dans un raisonnement à partir de cas ? »** In: Raisonnement à Partir de Cas; Toulouse: IRIT; 9 mai 2000; p. 17-24.

[Rijsbergen 1997] Rijsbergen van C.J., «**Information Retrieval»**, 2nd edition, [on line] London: Butterworth Publishers, 1979, Disponible sur: http://www.dcs.gla.ac.uk/Keith/Preface.html

[Roussopoulos 1988] Roussopoulos N., Faloutsos C., Sellis T., «**An efficient pictorial database system for PSQL**», IEEE transactions on Software Engineering, 1988, Vol. 14, N° 5, P. 639-650.

[Salton 1983] Salton G., McGill M.J, «**Introduction to Modern Information Retrieval**», New-York: Mc Graw-HILL, 1983, 448 p.

[Salton 1990] Salton G., Buckley C., « **Improving retrieval performance by relevance feedback** », Journal of the American Society for Information Science, 1990, Vol. 41, N° 4, P. 288-297.

[**S**hyu 1999] Shyu C., Kak A., Kosaka A., Aisen A. and Broderick L., « **ASSERT: A physician-in-the loop content-based image retrieval system for HRCT image databases** ». In computer vision and image understanding, volume 75, page 111-132, 1999.

[**S**mith 1996] Smith J.R., Chang S.F., « **VisualSeek: A fully automated content-based image query system** », ACM Multimedia International Conference, 1996, Boston; MA, P. 87-98.

[**S**mith 1997a] Smith J. R., Chang S. F., « **Querying by color regions using the VisualSEEk content-based visual query system** », Maybury, MT ed .Intelligent Multimedia Information Retrieval, Menlo Park, Calif. : AAAI Press, 1997, P. 23-41.

[**S**mith 1997b] Smith J. R., Chang S. F., « **An image and video search engine for the World- Wide Web** », Proceedings of SPIE Storage and Retrieval for Image and Video Databases V, 1997, Vol. 3022, P. 84-95.

[**S**offer 1998] Soffer A., Samet H., « **Pictorial Query Specification for browsing through spatially Referenced Image Databases** », Journal of Visual Languages and Computing, 1998, Vol. 9, N° 6, P. 567-596.

[**S**trat 1991] Strat T.M., Fischler M.A., « **Context-based vision: Recognizing objects using information from both 2D and 3D imagery** », IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1991, Vol. 13, N°. 10, P. 1050-1065.

[**S**trat 1995] Stricker M., Orengo M., « **Similarity of color images**», Proceedings of SPIE Storage and Retrieval for Image and Video Databases III, 1995, Vol. 2420, P.381-392.

[**S**trat 1996] Stricker M., Dimai A., «**Color indexing with weak spatial constraints**», Proceedings of SPIE Storage and Retrieval for Image and Video Databases IV, 1996, Vol. 2670, P. 29-40.

[**S**tricker 1996] Stricker M., Dimai A., « **Color indexing with weak spatial constraints** », Proceedings of SPIE Storage and Retrieval for Image and Video Databases IV, 1996, Vol. 2670, P. 29-40.

[**S**wain 1991] Swain M. J., Ballard D. H., « **Color indexing** », International Journal of Computer Vision, 1991, Vol. 7, N° 1, P. 11-32

[Santini 1996] Santini S, Jane R. « **Similarity queries in image databases** ». In: IEEE International conference on computer vision and pattern recognition; San Fransisco; Juin 1996; p. 646-651.

[Schank 1982] Schank R. «**Dynamic Memory. A Theory of Reminding and Learning in Computers and People** ». Cambridge University Press ed; 1982

[Schreiber 1999] Schreiber AT, Ackermans AK, Anjewierden A, De Hoog R, Shadbolt N, Van de Velde W, et al. « **Knowledge engineering and management**: **the CommonKADS methodology** »; 1999.

[Simon 1998] Simon G. « **Aide à la conception et à la validation de mémoires d'entreprises** ». In: Bourigault D.Editor. Ingénierie des Connaissances; 1998; p. 267-275.

[Staes 1993] Staes F., Tarantino L., « **OOQBE*: An intuitive graphical query language with recursion** », Proceedings of the fifth International Conference on Human-Computer Interaction, 1993, Orlando, Florida, Vol. 2, P. 603-608.

[Tagare 1997] Tagare HD, Jaffe CC, Duncan J. **Medical image databases: a content-based retrieval approach**. J Am Med Inform Assoc 1997;4(3):184-98

[Tamura 1978] Tamura H., Mori T., Yamawaki T., **Textural features corresponding to visual perception**, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1978, Vol. 8, N° 6, P. 460-472.

[Tchounikine 1997] Tchounikine A. Amghar Y., Flory A,. « **Semantic Interrogation for a radiological documentary record** », 10th IEEE symposium on Computer-Based medical system, 1997, Maribor, Slovenia, P.98-103.

[Trayser 1994] Trayser G. « **Interactive System for Image Selection** », [on line] Digital Imaging Unit Center of Medical Informatics University Hospital of Geneva, Disponible sur: http://www.expasy.cg/UIN/html1/projects/isis/isis.html

[Tristan 2004] Tristan Glatard. « **Indexation d'images médicales basée sur le contenu : Application à la recherche et à la segmentation d'images** ». Rapport de stage .Ecole doctorale EEA de Lyon. 2004

[Tsuda 1990] Tsuda K., Yoshikata A., Hirakawa M., et al., «**IconicBrowser: An iconic retrieval system for Object-oriented databases**», journal of visual languages and computing, 1990, Vol. 1, N° 1, P. 59-76.

[Tversky 1977] Tversky A. «**Features of Similarity**». Psychological review 1977;84:327-352.

[Vadaparty 1993] [Vad 93] Vadaparty K., Aslandogan Y.A., Ozsoyoglu G.,«**Towards a unified visual database access**» , SIGMOD-Record. 1993, Vol. 22, N° 2, p.357-366.

[Vogel 1990] Vogel C. «**KOD: une méthode pour le recueil et la modélisation de connaissances »**. In: Journées internationales sur les systèmes experts et leurs applications; Avignon; Mai-Juin 1990;

[Yamaguchi 1980] Yamaguchi K., Ohbo N., Kunii T.L., et al., «**ELF: Extended relational model for large, flexible picture databases »**, Proceedings of the Workshop on Picture Data Description and Management, Asilomar, CA, 1980, P.95-100.

[Yi-Miin 1993] Yi-Miin M., Scamell R.W., «**A Human Factors Experimental Comparison of SQL and QBE**», IEEE Transactions on Software Engeneering (TSE), 1993, Vol. 19, N° 4, P. 390-409.

[Zapletal 2003] Zapletal E, Le Bozec C, Degoulet P, Jaulent MC : «**A collaborative platform for consensus sessions in pathology over Internet**»*, In Proceedings of Stud Health* Technol Informatics, Vol 95, pages 2249, 2003.

[Zapletal 2004a] Zapletal E. «**Un environnement collaboratif sur Internet pour l'aide au consensus en anatomie pathologique : La plateforme IDEM**», Thèse de doctorat en informatique médicale de l'université Paris VI, 2004.

[Zapletal 2004b] Zapletal E, Le Bozec C, Degoulet P, Guinebretière JM, Jaulent MC : «**Specifications and implementation of a new exchange format to support *computerized consensus in pathology***»*, In Proceedings of MEDINFO'04 Symp* (SanFrancisco California), Vol 11, pages 693700, 2004.

[Zloof 1977] Zloof M.M., «**Query By Example: A Database Language**», IBM Systems Journal, 1977, Vol. 16, N° 4, P. 324-343.