HAL
open science

Conception et réalisation d'un consultant basé sur le contexte : application en histopathologie pour la gradation du cancer du sein

Anissa Aroua

To cite this version:

Anissa Aroua. Conception et réalisation d'un consultant basé sur le contexte : application en histopathologie pour la gradation du cancer du sein. Autre [cs.OH]. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, 2014. Français. NNT : 2014PA066104 . tel-01062600

HAL Id: tel-01062600

https://theses.hal.science/tel-01062600v1

Submitted on 10 Sep 2014

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

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

Thèse de doctorat de l'Université Pierre et Marie Curie

Spécialité Informatique

Présentée par

AROUA Anissa

Pour obtenir le grade de

Docteur de l'Université Pierre et Marie Curie

Conception et Réalisation d'un Consultant basé sur le Contexte. Application en histopathologie pour la gradation du cancer du sein.

Soutenue le : 13 juin 2014

Composition du Jury :

M. Frédéric Adam,	Rapporteur,	Professeur à l'University Cork College, Irlande
M. Patrick Brézillon,	Directeur de thèse,	Professeur à l'Université Pierre et Marie Curie
M. Daniel Racoceanu,	Président du jury,	Professeur à l'Université Pierre et Marie Curie
M. Noureddine Zerhouni,	Rapporteur,	Professeur à l'Université de Besançon

Ecole Doctorale Informatique, Télécommunications et Electronique (Paris)

Dédicaces

Je dédie cette thèse :

A ma mère qui s’est toujours dévouée et sacrifiée pour moi ; qui m’a aidée du mieux qu’elle pouvait pour réussir ; qui m’a accompagnée tout au long de mon parcours.

A mon père qui a toujours été là pour m’orienter dans mes choix, m’encourager ; qui m’a toujours ouvert ses bras et soutenue dans tout ce que j’ai entrepris.

A mon frère qui depuis sa naissance a embelli ma vie ; que j’ai vu grandir et vu grandir mon affection pour lui.

A mon mari qui a su m’aimer, me supporter (dans les deux sens du terme) en témoignage de son affection ; qui m’a toujours écoutée, soutenue et encouragée.

A toute ma famille et tous mes amis.

A toutes les personnes qui ont cru en moi.

Je vous aime tous et je vous témoigne ma profonde reconnaissance.

Remerciements

Tout d'abord, je remercie mon directeur de thèse, le professeur Patrick Brézillon, pour son assistance, sa disponibilité, ses conseils et orientations pendant mes trois années de thèse. C'est une personne exceptionnelle au niveau professionnel et humain et je suis admirative de sa passion pour la recherche.

Je remercie également les rapporteurs qui ont accepté d'évaluer mon travail ; le professeur Frédéric Adam et le professeur Noureddine Zerhouni. Je tiens spécialement à remercier le professeur Daniel Racoceanu, le chef du projet MICO dans le cadre duquel s'enregistrent mes travaux de thèse et qui a accepté de présider le jury. C'est une personne attentionnée avec qui on aime discuter. J'ai apprécié mes échanges avec lui qui était intéressants pour l'avancement de mes travaux.

Je remercie les partenaires du projet MICO et particulièrement le professeur Frédérique Capron, docteur Catherine Genestie et Gilles Lenaour de l'équipe UIMAP à l'Hôpital de La Pitié-Salpêtrière de AP-HP à Paris pour leur disponibilité et le partage de leur savoir. Je remercie aussi mes collègues du LIP6, particulièrement, Hassan Tahir, Brice Donval et Jean Sabourin pour les discussions fructueuses.

Résumé

Le diagnostic du cancer du sein est une activité humaine qui dépend du contexte dans lequel il est réalisé. Ce contexte se traduit par l'existence de très nombreux éléments qui rend l'automatisation de cette activité impossible. Depuis quelques années, la numérisation des lames (support de raisonnement) a incité les pathologistes à passer à l'analyse d'image de lames à l'écran. Cette migration a offre la possibilité d'une procéduralisation au moins partielle de leurs méthodes d'analyse.

Dans le cadre de cette thèse, nous nous sommes intéressés à l'activité d'analyse d'une image de lame par un pathologiste qui est modélisée dans le formalisme des graphes contextuels dans le but de proposer une solution permettant d'assister les pathologistes dans leurs diagnostics. Notre Consultant fait partie des Systèmes d'Assistance Intelligents basés sur le Contexte. L'outil principal du Consultant est basé sur la Simulation à partir de pratiques expertes décrites dans un graphe contextuel. En partant d'une image que le pathologiste doit analyser, le simulateur va développer une pratique qui est la plus adaptée au contexte de travail. Le résultat de la simulation va donc être la pratique résultante et toutes les informations sur la manière dont cette pratique a été développée. Le consultant propose alors à l'utilisateur une visualisation des résultats des simulations réalisées permettant de les analyser et de les comparer.

Mots clés : Graphes Contextuels, Modélisation du raisonnement, Système d'Assistance Intelligent basé sur le Contexte, Simulation, Pratiques.

Abstract

Breast cancer diagnosis is a human activity that is context-dependent. The context contains a large number of elements that limits strongly any possibility de complete automation. Recently, digitization of slides (reasoning support) prompted pathologists to migrate from slide analysis under microscope to slide image analysis on the screen. This migration offers a possibility of partial proceduralization of their analysis methods.

In this thesis, we are interested on the activity of slide image analysis by a pathologist that is modeled in the Contextual-Graphs formalism with the goal to propose a solution to support pathologists in their diagnosis. Our Consultant belongs to the class of Context based Intelligent Assistant Systems. The main tool of the consultant is based on the simulation of expert practices described in a contextual graph. Starting from an image to analyze, the simulator will develop a practice that is the most adapted to the working context. The output of the simulation is the resulting practice and all information about its development. The consultant proposes to the user a visualization of the different results for analysis and comparison.

Keywords: Contextual Graphs, Reasoning modeling, Context based Intelligent Assistance System, Simulation, Practices.

Table des matières

Chapitre 1 : Introduction **8**

Chapitre 2 : Etat de l'art **12**
2.1. Classe de problèmes **12**
2.1.1. But et cadre 12
2.1.2. Le diagnostic médical 14
2.1.3. Le diagnostic du cancer du sein 14
2.2. Connaissances et expertises du domaine **16**
2.2.1. Définition et caractéristiques d'un expert 17
2.2.2. L'expertise dans l'analyse de l'image 17
2.2.3. Le cancer du sein 20
2.2.4. Les connaissances médicales 20
2.2.5. Solution proposée par le projet MICO 21
2.2.6. Contribution du LIP6 et des graphes contextuels 22
2.3. Les systèmes d'aide **23**
2.3.1. Historique sur les systèmes d'aide 23
2.3.2. Systèmes Experts 24
2.3.3. Systèmes Interactifs d'Aide à la Décision 25
2.3.4. Systèmes d'assistance intelligents 27
2.3.5. Systèmes prenant en compte le contexte 30
2.3.6. Récapitulation des caractéristiques des systèmes 35
2.4. Modélisation et Management du Contexte **37**
2.4.1. De l'arbre de décision au graphe contextuel 37
2.4.2. Le contexte 38
2.4.3. L'outil Graphes Contextuels 38
2.4.4. Décomposition du graphe contextuel en arbre 40
2.5. La simulation **41**
2.5.1. Les avantages de la simulation 42
2.5.2. Les types de simulation 43
2.5.3. Composantes/caractéristiques d'un simulateur 44
2.5.4. Positionnement de la simulation proposée 45

Chapitre 3 : Un système intelligent : le Consultant **47**
3.1. Niveau conceptuel : Le soutien du Consultant à l'expert **48**
3.1.1. Architecture du Consultant 51
3.1.2. Interface avec l'utilisateur 53
3.1.3. Interface avec les graphes contextuels 60
3.2. Niveau implémentation: management du Consultant **66**
3.2.1. L'outil Simulation 66
3.2.2. Management des simulations 81

Chapitre 4 : Le Consultant dans le projet MICO **88**
4.1. Diagnostic du cancer du sein : méthode humaine **88**
4.1.1 Détection d'une mitose 89
4.1.2. Lame numérique comme support de raisonnement 93

4.1.3. Modélisation du processus d'analyse d'images 96
4.2. Diagnostic sur la plate-forme Calopix 98
4.3. Diagnostic utilisant le simulateur 99
4.4. Gestion des simulations 103
4.4.1. Gestion des images des lames 104
4.4.2. Gestion de la trace 106
4.4.3. Gestion des simulations existantes 106
4.5. Résultats de la simulation 107
4.5.1. Hiérarchie des dossiers sauvegardés 107
4.5.2. La bibliothèque d'images de lames 108
4.5.3. La réutilisation des pratiques développées 109

Chapitre 5 : Conclusion et perspectives 112
5.1. Conclusion 112
5.2. Perspectives 114

Table des illustrations

Figure 2.1 : Mitoses dans un cadre x40 (les 3 points jaunes) 18
Figure 3.1 : Graphe contextuel du management du consultant 49
Figure 3.2 : Les trois principales fonctionnalités du consultant..... 50
Figure 3.3 : Architecture proposée pour les SAIC et le Consultant 52
Figure 3.4 : Fenêtre « authentification » 56
Figure 3.6 : Description du module d'authentification..... 58
Figure 3.7 : Fonctionnement du module de création de compte..... 59
Figure 3.8 : Fenêtre de création de compte pour un utilisateur..... 59
Figure 3.9 : Fichier XML correspondant à une fiche utilisateur 60
Figure 3.10 : Instanciation de l'EC « rôle de l'utilisateur »..... 61
Figure 3.11 : Graphe contextuel de la recherche d'itinéraire à la RATP 64
Figure 3.12 : Changement de fenêtres au lancement de la simulation .. 67
Figure 3.13 : Identification progressive d'une pratique 68
Figure 3.14 : Cycle de vie du consultant..... 71
Figure 3.15 : Effet d'une action sur le cours de la pratique 77
Figure 3.16 : Graphe contextuel et sa décomposition arborescente 86
Figure 4.1 : Représentation des connaissances du domaine 90
Figure 4.2 : Graphe contextuel de l'analyse d'une lame au microscope 91
Figure 4.3 : Graphe contextuel de l'analyse automatique d'une lame ... 93
Figure 4.4 : Traitement des lames virtuelles (Ameisen et al, 2012) 94
Figure 4.5 : Exemple de lame au grossissement x40 95
Figure 4.6 : Graphe décrivant l'analyse d'une lame par un ACP. 97
Figure 4.7 : Cadres aux grossissements x10, x20 et x40 dans MICO 98
Figure 4.8 : Tableau de bord (en bas à droite) de la plate-forme CxG .100
Figure 4.9 : Effet visuel de l'instanciation de l'EC 42 dans le graphe ...101
Figure 4.10 : Les trois fenêtres de gestion de la simulation 103
Figure 4.11 : Fenêtre relative à la gestion des images de lames.....105
Figure 4.12 : Exemple de la fenêtre « trace » 106
Figure 4.13 : Structure d'enregistrement des pratiques.....108
Figure 4.14 : Fenêtre récapitulative des résultats des simulations 110

Chapitre 1 : Introduction

Notre travail s'inscrit dans le cadre de la modélisation du contexte, des systèmes d'assistance intelligents et dans le cadre applicatif du diagnostic du cancer du sein. Il consiste à réaliser un assistant intelligent—un Consultant—pour les médecins lors de leur diagnostic du cancer du sein. Le Consultant est concerné par la simulation du raisonnement des médecins et la gestion et l'interprétation des résultats des simulations.

1.1. Contexte

Le projet MICO[1] (Microscope Cognitif : explorateur visuel axé cognition pour la histopathologie) a pour objectif de développer un explorateur visuel axé cognition pour l'histopathologie. Il s'agit d'un changement radical dans la pratique de la médecine en proposant un environnement d'imagerie médicale qui permet une prise de décision plus sûre en histopathologie.

Le projet MICO réunit six partenaires. IPAL, coordinateur du projet, travaille principalement sur l'exploration et l'analyse de l'image médicale. L'équipe UIMAP de GHU-PS[2] fournit les connaissances du domaine et valide les outils proposés. TRIBVN offre la plateforme Calopix utilisée par le GHU-PS pour l'analyse des lames. Le LIP6, d'une part, intervient sur l'exécution de calculs lourds sur processeur graphique (GPU), et, d'autre part, la modélisation en graphe contextuel des raisonnements experts (là où nous intervenons). AGFA Health Care s'occupe de l'ingénierie de l'ontologie et la modélisation formelle des connaissances. Thales s'occupe de la couche sémantique intermédiaire entre les résultats des partenaires et aide à leur intégration dans la plate-forme Calopix.

[1] http://ipal.cnrs.fr/project/mico-cognitive-virtual-microscopy
[2] Groupe Hospitalier Universitaire La Pitié Salpêtrière

1.2. Solution proposée

Pour développer le Consultant, nous sommes parti du gestionnaire de graphes contextuels (Brézillon, 2007). Nous avons réalisé des extensions de ce gestionnaire afin qu'il devienne un assistant intelligent, notre Consultant. En utilisant des propriétés de l'intelligence artificielle, nous avons fait évoluer notre outil pour le rendre plus adapté aux besoins de l'utilisateur et aussi compatible avec des utilisateurs de disciplines différentes. Nous appelons « utilisateur » toute personne susceptible d'utiliser notre système, experte, novice/débutante, de domaines différents.

Le Consultant interagit avec l'acteur humain (l'utilisateur) via une interface. Cette interface permet au système d'acquérir les instanciations des éléments contextuels du graphe en cours de simulation ou en cas de prise de décision. Il doit, au fur et à mesure de son évolution, permettre l'explication, l'observation, l'apprentissage, la collaboration et l'interaction avec l'utilisateur.

Le Consultant contient les outils nécessaires au bon déroulement d'une simulation. Le cœur de notre Consultant est donc un simulateur. Ce simulateur permet d'améliorer la qualité des services proposés à l'utilisateur à travers l'exploitation de graphes contextuels. On parle ainsi de simulations basées sur les graphes contextuels ou CxG_simulations (Brézillon, 2014). Les graphes contextuels en entrée du simulateur, comme les résultats des simulations, sont enregistrés dans une « base d'expériences ». La base d'expériences contient les pratiques réalisées ainsi qu'une « base de traces » contenant tous les événements qui peuvent survenir au cours d'une simulation (par exemple, mise en pause ou interruption de la simulation, retour en arrière dans la simulation, test d'une pratique alternative, changement inattendu de contexte, etc.). Le simulateur utilise la base d'expériences et une base d'utilisateurs pour étudier et analyser les connaissances des différentes bases afin de tirer de nouvelles connaissances pouvant aider l'utilisateur dans sa prise de décision en lui proposant une vue

synthétique des pratiques réalisées. Le simulateur développe avec l'utilisateur une pratique dans un contexte de travail donné. Il peut profiter de ces simulations pour apprendre de nouvelles connaissances auprès de l'utilisateur et enrichir ainsi sa base d'expériences pour une utilisation future plus efficace.

Le Consultant est à la fois générique/standard pour permettre d'élargir le champ d'application, et spécifique/particulier pour offrir une meilleure personnalisation de l'outil à l'utilisateur. La généricité permet de satisfaire un maximum d'utilisateurs de disciplines différentes, et la personnalisation rend l'outil parfaitement adapté aux besoins de l'utilisateur. Cet aspect bipolaire du consultant fait que plusieurs classes d'utilisateurs pourront personnaliser l'outil à l'ouverture de leur session de travail.

1.3. Plan du manuscrit

Le chapitre 2 présente notre domaine d'application, à savoir le diagnostic du cancer du sein et le passage des pathologistes à la lame numérique. Nous faisons aussi le point sur l'évolution des systèmes d'aide depuis les systèmes experts jusqu'aux systèmes d'assistances intelligents. Nous présentons aussi le contexte et sa formalisation en graphes contextuels. Ensuite, nous présentons l'objet principal de la thèse, à savoir la simulation que nous resituons dans une typologie de simulations.

Le chapitre 3 décrit le Consultant aux niveaux conceptuel et implémentation. Le niveau conceptuel consiste en la description du consultant face à l'expert où nous présentons l'architecture du consultant, ses interfaces avec l'utilisateur et les graphes contextuels. Le niveau implémentation concerne les outils de management dont est pourvu le consultant, en détaillant la simulation qui pilote les simulations lancées par le consultant.

Le chapitre 4 utilise l'application du diagnostic du cancer du sein pour montrer comment le Consultant peut permettre d'améliorer les performances de la plateforme Calopix de TRIBVN. Cette mise en situation du Consultant nous permet de discuter concrètement plus en détail les modules du consultant sur un exemple de lame numérique.

Le chapitre 5 termine cette présentation de nos travaux par une conclusion générale et une présentation de quelques perspectives.

Chapitre 2 : Etat de l'art

Les fonctionnalités du Consultant sont illustrées dans le domaine du diagnostic du cancer du sein. Le système est supposé être utilisé par des experts du domaine dont le raisonnement repose sur des connaissances contextuelles. Le Consultant entre dans le cadre des systèmes d'aide intelligents et son principal module est un simulateur. Dans ce chapitre, nous faisons le point principalement sur le domaine (le diagnostic du cancer du sein), l'expert (le pathologiste) et l'expertise (l'analyse de lames numériques), les systèmes d'aides, le contexte et nous finissons par la simulation.

2.1. Classe de problèmes

2.1.1. But et cadre

Notre travail s'inscrit donc dans le cadre du projet MICO (Microscope Cognitif: explorateur visuel axé cognition pour la histopathologie[3]). L'objectif de ce projet est de contribuer au passage de la lame réelle (physique, visualisable à travers le microscope) à la lame numérisée (visualisable sur écran), passage qui est considéré comme une rupture dans la pratique de la médecine. Le projet MICO propose pour cela un environnement d'imagerie médicale permettant une prise de décision plus sûre en l'histopathologie.

Dans le cadre de ce projet nous ne nous intéressons qu'à l'aide que nous pouvons apporter en histopathologie pour le diagnostic du cancer du sein. Les médecins référents (ACPs[4]), spécialistes dans le diagnostic du cancer, sont considérés comme des experts du domaine : ils doivent prendre une décision critique et irréversible. Ce sont les utilisateurs du Consultant.

---

[3] **L'histopathologie** est la discipline botanique ou médicale destinée à faire un diagnostic par l'étude microscopique des tissus (vivants ou morts). (Wikipédia)
[4] ACP : anatomo-cytopathologistes

Notre but est la conception d'un outil d'aide au diagnostic médical. Cet outil doit répondre aux exigences et contraintes du domaine, de la pratique, des conventions inter- et intra-service, de la personnalité et de l'expertise des médecins.

Le défi du projet MICO est d'associer les techniques d'intelligence artificielle du LIP6 aux techniques d'imagerie / algorithmes de IPAL sur les plateformes proposées par TRIBVN, THALES et AGFA afin de créer un outil facile à utiliser qui soit dédié à la gradation du cancer du sein pour l'équipe UIMAP[5] à l'Hôpital de La Pitié-Salpêtrière de AP-HP[6] à Paris.

Le challenge est d'aider ces experts dans leur interprétation des images biomédicales en nous intéressant plus particulièrement à la cognition mise en jeu lors de cette activité par une capitalisation dynamique, sous la forme d'une base d'expériences, des interprétations par les ACPs sur les images biomédicales, et la réalisation d'un système capable d'exploiter une telle base d'expériences afin de proposer par la suite une assistance sur de nouvelles images ou pour de nouveaux ACPs.

L'aide au diagnostic qui est apportée à ces experts consiste à retrouver et à leurs présenter les différentes alternatives utilisées précédemment lors d'un choix, suggérer des démarches plus adaptées que d'autres dans un contexte précis, expliquer certaines pratiques pour un apprentissage ou un rafraichissement de la mémoire. Cette aide est fournie par un outil jouant le rôle d'un consultant auquel le médecin pourra faire appel. Ce Consultant (voir Chapitre 3) peut être utilisé tout au long de la démarche du médecin. Il propose principalement de rejouer la réalisation d'une tâche (conduisant au développement d'une pratique) à l'aide de la simulation.

Toutefois, notre travail, bien que développé pour le projet MICO, a une portée plus générale. Par exemple, des résultats ont déjà été repris dans le

[5] Unité d'Imagerie Morphologique en Anatomo Pathologie
[4] Assistance Publique-Hôpitaux de Paris

projet FlexMIm[7] visant l'implantation d'une plate-forme de télédiagnostic pour les pathologistes de la région parisienne.

2.1.2. Le diagnostic médical

Emile Littré (1863) dans son dictionnaire médical décrit : « L'art du diagnostic médical comme l'art de reconnaître les maladies par leurs symptômes (les signes) et de les distinguer les unes des autres ».

Guillaume Fonsegrive précise dans sa thèse (2008) que le diagnostic ne représente qu'un moment, une étape de la démarche de soins, celle de la réflexion précédant une prise de décision. Cette étape décisive conditionne la suite de la prise en charge, bien que certains traitements puissent être entrepris en l'absence de diagnostic établi. Elle est toutefois indécise, tant dans sa temporalité que dans ses implications.

Certes, les méthodes et le support de diagnostic sont différents selon la pathologie, l'avancement de la maladie, etc., mais pour tout diagnostic, le médecin part d'une interrogation à laquelle il cherche à trouver une réponse en utilisant les éléments dont il dispose.

2.1.3. Le diagnostic du cancer du sein

Le diagnostic du cancer du sein reste largement une activité humaine car son automatisation ne peut être que très partielle. Une partie importante de ce type de diagnostic est l'analyse d'images biomédicales qui est très subjective. Le Consultant ne remplacera donc jamais le médecin, mais au contraire chercher à l'assister dans sa démarche en lui laissant la pleine responsabilité du processus de prise de décision.

Un ensemble de paramètres agissent sur le déroulement du diagnostic. Ces paramètres sont internes ou externes au diagnostic mais tous influent sur le résultat. Lors de la collaboration avec les partenaires du projet MICO, et

[7] http://ipal.cnrs.fr/project/flexmim-collaborative-digital-pathology

particulièrement les médecins, nous avons mis en évidence un ensemble de contraintes affectant la fiabilité des résultats du diagnostic :

- Les contraintes temporelles : Certains diagnostics nécessitent une gestion temporelle car ils sont liés à d'autres examens (par exemple, la poursuite d'une opération chirurgical dépend du diagnostic réalisé à l'extérieur du bloc sur un prélèvement).
- La variabilité des cas : Chaque patient est un cas particulier qui n'est jamais identique à un autre sur l'ensemble de tous les paramètres, d'où l'importance de l'expertise des médecins qui relève plus, sans être péjoratif, d'un art que d'une science.
- Les conséquences d'une erreur : Le diagnostic est le point de départ d'un traitement particulier de la maladie qui a été identifiée ; aussi une erreur de diagnostic peut conduire à une dégradation grave de l'état du patient.
- La subjectivité du diagnostic : le diagnostic médical est subjectif et sensible à plusieurs paramètres intérieurs et extérieurs aux objets du diagnostic. Ces paramètres sont en partie prédéfinis et enseignés mais une grande partie reste relative, d'une part, aux propriétés de l'objet et aux évènements extérieurs qui peuvent surgir, et, d'autre part, à l'expérience du médecin.

Ces contraintes expliquent le fait qu'il n'existe pas de normes assurant la fiabilité de la décision (Shanteau, 1992), et cette observation est particulièrement d'actualité en médecine où la variabilité biologique est importante. Une des missions de notre Consultant est d'aider à mieux contrôler cette variabilité et d'offrir une aide au médecin dans son travail. Nous insistons sur le fait qu'il s'agit seulement d'une aide au médecin.

L'outil qui peut faciliter le diagnostic du médecin est un outil :

- d'assistance intégrant les contraintes (temporelles, physiques, etc.),
- flexible pour répondre aux sollicitations de l'expert,
- non invasif dans la tâche de l'expert,
- prévoyant pour anticiper et suggérer à l'expert,

- utilisant la manière de travailler de l'expert pour interagir dans son langage,
- souple pour s'adapter à la subjectivité du diagnostic.

Notre étude du Consultant a été faite dans le cadre de la détection de mitose sur une lame numérique pour évaluer la faisabilité de notre travail. Cette tâche est importante dans le diagnostic et intéresse particulièrement les partenaires du projet MICO. Toutefois, nous avons pris en compte dès le départ les extensions possible de l'utilisation du Consultant, d'une part, vers le diagnostic médical en général, et, d'autre part, vers les autres domaines nécessitant une assistance intelligente à l'utilisateur.

2.2. Connaissances et expertises du domaine

L'expertise est liée à l'apprentissage, car elle s'acquiert au cours du temps mais son évolution n'est pas la même pour tout le monde. Cette évolution dépend aussi de la personnalité, de la manière d'apprendre (avoir une façon adaptée à chaque personne, à la limite à chaque spécialité / domaine). Il n'y a donc pas de standards en apprentissage.

Plusieurs études discutent de l'expertise selon différents points de vue, comme en sciences cognitives (Glaser & Chi, 1988) où sept critères sont définis : (1) L'expertise est spécifique à un domaine ; (2) Les experts perçoivent des grands patterns signifiants ; (3) Les experts sont plus rapides et font moins d'erreurs ; (4) Les experts ont de meilleures performances ; (5) Les représentations des experts sont profondes, celles des novices superficielles (Chi et al., 1981) ; (6) Les experts prennent le temps de construire une représentation qui réduit l'espace-problème ; et (7) Les experts ont des habiletés méta cognitives (connaissances sur eux, sur leurs tâches, calibrations des jugements, etc.).

L'apprentissage prend du temps : Classiquement, on estime à 10 000 heures d'entraînement le temps nécessaire pour devenir un expert dans un domaine (Jeux d'échecs, Musique, Diagnostic médical). Dans notre système, l'expert

est un pathologiste qui analyse une image pour identifier des signes spécifiques d'une cellule cancéreuse.

2.2.1. Définition et caractéristiques d'un expert

Il y a presque autant de définitions du terme «expert» qu'il y a d'auteurs (Hoffman et al, 1991). L'expert est amené à prendre une décision et son rôle dans cette décision est le sujet de discussions. Shanteau (1992) montre que la littérature sur la décision donne l'image d'experts de faibles compétences, principalement à cause de biais dans les heuristiques qu'ils utilisent. Au contraire, la littérature en sciences cognitives donne l'image d'experts très compétents à tous les égards relativement aux novices. L'expertise étant spécifique du domaine où se construit l'expérience, il s'ensuit que la tâche est déterminante pour expliquer les caractéristiques de l'expertise. Shanteau a construit une « théorie de la compétence experte » selon laquelle la compétence experte dépend de cinq facteurs : (1) La possession des connaissances déclaratives du domaine ; (2) Des traits psychologiques favorables de l'expert ; (3) La possession des habiletés requises pour les décisions difficiles ; (4) La capacité à choisir les stratégies de décision appropriées ; (5) Un domaine de tâches permettant le développement de la performance. Toutes ces observations de la littérature montrent que l'expert n'est pas remplaçable par un outil informatique.

2.2.2. L'expertise dans l'analyse de l'image

Le niveau d'expertise est différent d'un pathologiste (ACP) à un autre, et leur confiance dans leurs analyses d'images est relative à cette expertise. La transmission de cette expertise aux internes se fait par la pratique et la discussion autour des analyses faites. Une telle transmission est connue sous le nom de transmission en biseau dans d'autres domaines. Nous considérons ces experts comme des tuteurs pour les internes comme novices.

L'expertise des pathologistes résulte de l'accumulation d'analyses d'images biomédicales qui relèvent plus d'un art que d'une science dans le sens où la multitude de paramètres à prendre en compte fait qu'il est impossible de

formaliser cette démarche à une granularité suffisamment fine pour que deux experts procèdent à la même analyse sur la base des mêmes éléments, comme le choix des caractéristiques jugées pertinentes ou le choix d'une méthode d'analyse. Bien sûr, cette différence peut influer sur le résultat de l'analyse, et les experts pratiquent beaucoup une forme de validation croisée. D'autres différences viennent d'une part non négligeable accordée à la subjectivité et l'humeur au moment de l'analyse. Ce point est le plus difficile à cerner pour réduire son impact sur l'analyse.

L'analyse d'une image biomédicale consiste à interpréter les différentes formes qui peuvent être identifiées sur une image, et trouver celles qui sont pertinentes pour la question posée (par exemple, « Est-ce une mitose » ?). La Figure 2.1 représente un exemple des images qui sont analysées (appelé un cadre par la suite). Les trois points jaunes en haut et à gauche de l'image ont été taguées par l'expert comme mitoses possibles.

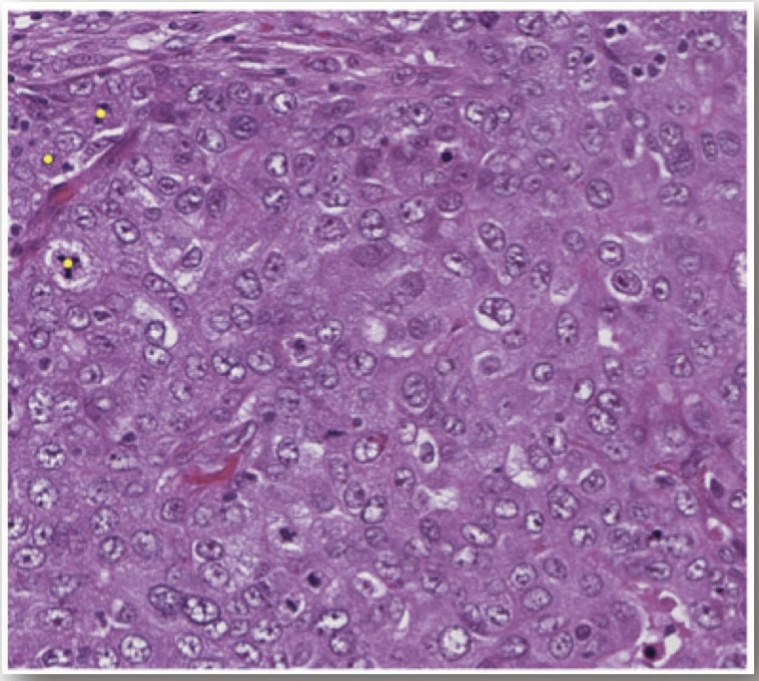


Figure 2.1 : Mitoses dans un cadre x40 (les 3 points jaunes)

L'expert identifie et reconnaît une forme en réalisant dans un premier temps une classification mentale de ces formes basée sur la distinction entre ce qui

est important et ce qui ne l'est pas (détermination d'une zone d'intérêt). Il se focalise ensuite sur les détails de l'image afin d'identifier certaines formes en zoomant dans les zones d'intérêt. L'expert cherche à répondre à une question (par exemple, cancer ou pas cancer) qui représente le focus et la raison de l'analyse. Un seul diagnostic peut correspondre à plusieurs questions et chaque question peut engendrer d'autres questions de niveau inferieur (par exemple, pour établir un diagnostic il faut détecter une forme, puis analyser ses caractéristiques à différentes granularités. Au fur à mesure de son exploration de l'image, l'expert annote l'image, et ces annotations servent de trace à son diagnostic et de base au rapport qu'il doit rédiger pour synthétiser son analyse.

Le Consultant travaille sur le processus de l'analyse d'une image de lame numérique dans le but de détecter une mitose (la forme recherchée). En début de carrière, l'expert se base sur une analyse des caractéristiques de l'objet recherché. Avec l'expérience, il s'approprie une méthode (qui devient rapidement implicite avec le temps) qui lui permet une identification globale et instantanée de la forme. Par exemple, lors de nos entretiens avec les pathologistes du GHU-PS, nous avons constaté que les internes, lors de l'analyse de l'image de lame à la recherche de mitoses, s'intéressaient aux caractéristiques de la forme recherchée (la mitose), alors que les experts détectaient directement en utilisant une vue d'ensemble basée, d'une part, sur les combinaisons dans lesquelles ces caractéristiques apparaissent, et, d'autre part, sur leurs expériences passées (en une sorte de mémoire associative) sur la recherche de mitose. Le Consultant utilise comment les médecins analysent les images, chaque utilisateur pouvant enregistrer son raisonnement dans des graphes contextuels décrivant ainsi sa façon de faire.

Il ne pourra jamais y avoir d'automatisation complète de l'analyse de l'image biomédicale. Au mieux, on ne peut que proposer que des garde-fous au pathologiste en se basant sur le raisonnement mis en œuvre par les autres pathologistes dans cette analyse sans chercher à l'influencer car le grand nombre de paramètres implique qu'il existe plusieurs manières (appelées

pratiques dans la suite) de conclure l'analyse d'une image biomédicale selon les contextes de travail dans lesquels se trouve le pathologiste. Cette automatisation limitée peut néanmoins permettre de réduire le temps d'analyse sur les tâches répétitives et avertir le médecin de la présence potentielle d'une forme (où au moins de zones susceptibles d'être d'intérêt) que le médecin pourrait ne pas avoir détectée. Le Consultant est donc au service du médecin sans influencer sa décision.

2.2.3. Le cancer du sein

Le cancer du sein est parmi les cancers les plus compliqués, avec des variantes différentes d'une personne à l'autre. Les mitoses représentent une étape particulière du cycle de vie de la cellule et se retrouvent dans le cancer du sein. Elles sont difficilement identifiables et leur nombre est l'un des critères définissant le stade de développement de la tumeur (le grade). Ce grade peut être définis de différentes manières selon plusieurs normes lors de l'analyse des lames étudiées au microscope.

Depuis plusieurs dizaines d'années, le diagnostic du cancer du sein se fait sur la base de l'analyse au microscope de lames contenant des tranches fines d'un prélèvement organique. La préparation des lames fait l'objet d'une série assez longue de traitements d'un prélèvement de tissu. Avec l'apparition des nouvelles technologies et la progression du numérique, ces lames sont maintenant scannées (numérisées) avec une haute résolution (le scan d'une lame « pèse » souvent 60 Go) pour être analysées sur un écran d'ordinateur et sauvegardées sur des supports numériques. Cela suppose que les pathologistes mettent en place de nouvelles pratiques de diagnostic. Dans le service d'anatomo-cyto-pathologie de l'Hôpital La Pitié-Salpêtrière de l'AP-HP (partenaire du projet MICO), les pathologistes sont passés au « tout numérique » pour analyser les images des lames numériques.

2.2.4. Les connaissances médicales

Dans le projet MICO, la gestion des connaissances a été confiée à AGFA et au LIP6. AGFA utilise des ontologies pour construire la base de

connaissances, à la différence de Thales qui est chargé de la définition de règles. Le LIP6 propose un outil simple et efficace, les Graphes Contextuels CxG (Brézillon, 2007), qui permettent une représentation uniforme des connaissances, raisonnements et contextes pour acquérir les pratiques développées par les pathologistes.

AGFA construit des ontologies médicales pour les connaissances du cancer du sein qui sont des bases de connaissances. La motivation de cette méthode de représentation des connaissances est qu'elle permet de structurer les connaissances du domaine sous une forme exploitables par des systèmes de règles de production (langage N3 chez AGFA). Les freins de ce formalisme sont qu'il est peu flexible aux besoins de l'utilisateur (c'est l'utilisateur qui doit s'adapter au formalisme), et qu'il exige que les connaissances soient constituées de termes précis et inchangeables donnés a priori. Thales utilise un formalisme sûr et intégré (le langage BPEL) dans le corps de son outil pour gérer les connaissances sur sa plate-forme SETHA. Pour ces deux partenaires, les connaissances expertes doivent être relativement bien formalisées et définies a priori, ce qui est contraire à l'analyse des pathologistes qui requiert beaucoup plus de souplesse. Par ailleurs, ces approches reposent plus sur une modélisation des connaissances expertes du domaine que sur leur utilisation qui faite dans le raisonnement des experts.

Comparativement, l'outil CxG combine les connaissances et les règles dans un seul formalisme, et permet l'ajout incrémental de nouvelles connaissances et de règles (les règles définissent le raisonnement).

2.2.5. Solution proposée par le projet MICO

Dans le cadre du projet MICO, 3 groupes de travail ont été construits (afin d'avoir le plus de résultats possible à comparer) pour produire 3 plates-formes. Dans la première plate-forme Calopix (MICO 1) qui est sous la responsabilité de TRIBVN, les graphes contextuels y joueront un rôle pilote. La plate-forme MICO 2, qui est dirigée par Thales, est une plateforme propre à Thales appelée SETHA (basé sur BPEL) et Calopix sert

d'intermédiaire entre l'utilisateur et SETHA. La plate-forme MICO 3, qui est dirigé par AGFA, vise à permettre une meilleure exploitation de la sémantique du problème. AGFA propose de gérer les connaissances du cancer du sein et les pratiques en utilisant les ontologies et les règles appliquées dessus. Cette méthode est formelle mais présente un certain nombre de contraintes, à savoir la non évolutivité de la base de connaissances, la difficulté d'interprétation à travers ce formalisme, etc.

Le formalisme CxG développé par le LIP6 (Brézillon, 2007) propose une aide à la modélisation des raisonnements experts qui est complémentaire des ontologies, représentation CxG qui est facile à utiliser car décrite dans le langage XML qui peut être réutilisé directement par les autres logiciels. CxG propose une façon simple de manipuler les connaissances et les pratiques basée sur l'explicitation des contextes qui interviennent. Il permet aussi à l'utilisateur l'ajout et la modification en temps réel des connaissances afin de s'adapter à ses besoins.

TRIBVN, qui collaborait avec le groupe hospitalier bien avant le démarrage du projet, a installé pour les pathologistes un « microscope cognitif » pour lire, traiter et annoter les lames. Cet outil propose plusieurs fonctionnalités techniques aux médecins comme l'affichage d'une image de lame et son annotation. Le système de lecture de lames et d'annotations proposé par TRIBVN est bien accepté par les médecins. Toutefois, il n'y a pas de suivi du processus de diagnostic, et le médecin se retrouve confronté à un double exercice : analyser sa lame et comprendre comment réaliser cette analyse (sans compter les lourdeurs de cette approche non centrée utilisateur). C'est un système de visualisation qui ne tient pas compte du contexte de l'utilisation et de la pratique utilisée.

2.2.6. Contribution du LIP6 et des graphes contextuels

Un des objectifs du projet MICO était de pouvoir intégrer dans le microscope cognitif de TRIBVN (en fait la plate-forme Calopix qui permet la gestion de toutes les fonctionnalités du microscope cognitif) les graphes

contextuels qui décrivent le processus suivi par les médecins pour analyser une lame. Un graphe contextuel offre aux médecins un moyen de s'assurer de n'avoir rien oublier dans leur analyse. Le médecin au fur et à mesure qu'il avance dans son diagnostic, effectue des choix qui lui permettent de sélectionner l'alternative qui lui semble la plus intéressante par rapport à sa perception du contexte de travail.

Le graphe contextuel tel qu'il est présenté dans la plateforme Calopix de TRIBVN permet au médecin de mieux voir les différentes alternatives possibles et mieux faire son choix. Toutefois, seul le graphe contextuel est récupéré sur la plate-forme Calopix et aucune action (comme ajouter une nouvelle pratique) n'est possible. Il fallait donc associer l'éditeur de graphes contextuels (la plate-forme CxG) pour laisser la possibilité aux médecins de manager leurs graphes contextuels et assurer un transfert sur la plate-forme Calopix de TRIBVN. Cet éditeur de graphes est le point de départ du Consultant.

Le Consultant basé sur les graphes contextuels (CxG) doit s'adapter aux besoins des médecins tel que l'indépendance par rapport aux outils utilisés, la souplesse et la flexibilité de l'utilisation et représenter les étapes suivies par le médecin tout au long du diagnostic via un simulateur. Il doit aussi garder la trace de ses interactions avec le médecin pour proposer de meilleures solutions lors des utilisations futures.

2.3. Les systèmes d'aide

2.3.1. Historique sur les systèmes d'aide

Les systèmes d'aide sont des systèmes d'information conçus pour apporter un soutien aux utilisateurs dans la résolution des problèmes en proposant des solutions, en rappelant les alternatives, en les alertant en cas de problèmes (déviation, discordance des idées, contrainte temporelle, etc.). Le but de ces systèmes est de faciliter la tâche des utilisateurs et améliorer la qualité des services proposés.

Les premiers systèmes d'aide ont été conçus pour la prise de décision. Les premières applications étaient aux services des dirigeants d'entreprises. De nouvelles méthodes d'aide à la décision sont apparues avec les techniques de l'intelligence artificielle tels que les Systèmes Experts, les Systèmes Interactifs, les Systèmes d'Assistance Intelligents, etc. Dans ce nouveau cadre, il a été possible de répondre à de nouveaux besoins et exigences des utilisateurs.

2.3.2. Systèmes Experts

2.3.2.1. L'histoire des systèmes experts

L'apparition des systèmes experts (SEs) a été une révolution dans le domaine de l'intelligence artificielle. Le premier système expert créé en 1965 est Dendral permettant d'identifier les constituants chimiques d'un matériau à partir de spectrométrie de masse et de résonance magnétique nucléaire. Le plus connu est MYCIN créé en 1972-73 (Shortliffe, 1976), c'est un système expert de diagnostic de maladies du sang et de prescription de médicaments.

Bien avant les SEs, les chercheurs en informatique ont cherché à réaliser des systèmes pouvant aider les décideurs dans leurs prises de décision. Les SEs ont permis de rendre la notion d' « aide à la décision » un objectif de recherche en informatique et en particulier en intelligence artificielle. Un système expert permet de répondre à des questions en effectuant un raisonnement à partir de faits et de règles connus et prédéfinis. Un SE est constitué d'une base de faits, d'une base de règles et d'un moteur d'inférence.

Les systèmes experts ont évolué en fonction des besoins. Entre 1970 et 1990, deux générations de SE se sont succédées. La première génération correspond aux premiers SEs réalisés. La fin de la première génération est liée au problème de gestion des connaissances nécessaires à leur fonctionnement. Ensuite les systèmes à base de connaissances (SBC) qui ont vu le jour, ont été appelés systèmes de deuxième génération. Les années

1980 étaient les années de succès des SEs, puis leur popularité a décliné dans les années 1990 (où les derniers véritables systèmes experts ont vu le jour).

La fin des SEs est dû à leur incapacité à répondre aux besoins des utilisateurs liés à leur utilisation (Brézillon et Pomerol, 1996). En effet, le raisonnement devient difficile à suivre une fois que le nombre de règles croit (dépasse la centaine) et par conséquence il ne répond plus aux exigence du temps réel.

2.3.2.2. Les limites des systèmes experts

L'échec des systèmes experts vient de la faiblesse des interactions système-utilisateur : le système est l'oracle et l'utilisateur le novice (Karsenty et Brézillon, 1995), la méconnaissance de la dimension contextuelle des connaissances acquises, la mauvaise compréhension des besoins des utilisateurs (Brézillon et Pomerol, 1996). L'interaction des SEs réduisait le rôle de l'utilisateur à être le fournisseur de données, ce qui frustrait l'utilisateur et expliquait son désintérêt pour ce genre de système. L'idée de SEs remplaçant l'utilisateur n'était pas viable ; l'activité humaine ne peut jamais être entièrement reproduite automatiquement (et les utilisateurs n'acceptaient pas cette situation trop restrictive) ; la logique de fonctionnement utilisée par le concepteur n'est pas la logique d'utilisation de l'utilisateur (Richard, 1983). Par ailleurs, les connaissances ont une dimension contextuelle (comme leur domaine d'utilisation) qu'il n'est pas possible d'ignorer si l'on ne veut pas qu'un système aboutisse à des solutions irréalistes dans le contexte de travail.

2.3.3. Systèmes Interactifs d'Aide à la Décision

Toute activité humaine repose sur des décisions plus ou moins complexes. Pour prendre ces décisions, les décideurs estiment les conséquences et pèsent le pour et le contre des diverses alternatives qui s'offrent à eux. Pour être efficaces dans leur choix, ils doivent recueillir un maximum d'informations sur la situation, traiter ces informations, construire des

hypothèses, estimer les évolutions possibles et finalement prendre une décision en s'appuyant sur les résultats obtenus. Les systèmes informatiques « traditionnels » peuvent aider à l'acquisition et à certaines formes de traitement des informations, mais les décideurs font quand même face à un excès d'informations et ont le plus grand mal à isoler les informations les plus significatives. L'Intelligence Artificielle peut les aider en effectuant des analyses qui s'appuient sur ce large panel d'informations, grâce à de nouveaux Systèmes Interactifs d'Aide à la Décision (SIAD).

Les SIAD (Lévine et Pomerol, 1989) sont des outils dont le rôle est d'aider un utilisateur à prendre une décision en facilitant les phases de recueil d'informations, d'analyse d'options possibles et en organisant la comparaison des points forts et faiblesses de chaque solution retenue. Le principe des SIAD est d'aider les utilisateurs à prendre des décisions, et non de les prendre à leur place. Ainsi ils ne sont pas conçus pour un fonctionnement autonome, ni pour « remplacer » les utilisateurs. Ces derniers se déchargent de certaines tâches routinières liées à la prise de décision tout en étant guidé par le SIAD. L'interactivité du système réside dans les échanges entre le SIAD et l'utilisateur et dans leur compréhension mutuelle. Cette compréhension mutuelle est facilitée par l'utilisation de modèles communs de représentation et de traitement de l'information nécessaire à la décision. Ces modèles communs permettent à l'utilisateur de s'approprier rapidement les résultats obtenus par le SIAD. Ils augmentent également la compréhensibilité des explications fournies par le SIAD pour l'utilisateur.

Les SIAD préexistent à l'émergence des outils informatiques, les feuilles comptables entrant dans le cadre théorique des SIAD. Les systèmes précédant l'avènement des outils informatiques sont fondés sur des modèles fortement structurés, en général issus des mathématiques. L'arrivée des outils informatiques ne fait qu'augmenter les capacités des SIAD en autorisant l'emploi de modèles plus complexes. Les modèles utilisés par les premiers SIAD informatiques sont toutefois inspirés de modèles

mathématiques ou issus de la recherche opérationnelle. Ainsi MYCIN se veut être un SIAD basé sur un modèle constitué de faits et de règles de production.

Désormais les SIAD sont de structure plus complexe, composés de différents modules activés en fonction du type d'information et/ou du traitement des informations. Généralement de petits Systèmes Experts, dédiés à une tâche précise, peuvent être au cœur de modules d'un SIAD.

Les principales fonctionnalités des SIAD modernes consistent en l'organisation du traitement des informations, de la présentation de celles-ci à l'utilisateur et des échanges avec ce dernier. Espinasse (2009) décrit un SIAD comme un système d'information interactif, flexible, adaptable et spécifiquement développé pour aider la résolution d'un problème de décision en améliorant la prise de décision. Il utilise des données, fournit une interface utilisateur simple et autorise l'utilisateur à développer ses propres idées ou points de vue. Il aide l'utilisateur pour les décisions peu ou mal structurées en mixant des jugements humains et des informations calculées.

Selon Keen et Scott Morton (1978), un SIAD est un service plus qu'un produit. Puisque le problème ne peut être que partiellement structuré, et que les utilisateurs croit dans leur compréhension et leurs besoins au fil du temps, un SIAD doit constamment croître et évoluer tant que l'utilisateur s'adapte et apprend.

2.3.4. Systèmes d'assistance intelligents

Les systèmes d'assistance intelligents (SAI) représentent une génération après les systèmes experts. Les deux types de systèmes construisent un modèle de la situation spécifique de la réalisation d'une tâche dans un contexte particulier (Clancey, 1992). Fan et al. (2011) ont montré avec le prototype CxSWF que les graphes contextuels pourraient : (1) être des éléments clés de la modélisation des workflows et (2) être capable de gérer

les contraintes pour valider le modèle concret du workflow avant son exécution. Les graphes contextuels donnent un rôle important aux acteurs humains qui pourront prendre en temps réel des décisions à travers une représentation opérationnelle des graphes contextuels. Par exemple, les graphes contextuels peuvent s'enrichir progressivement en acquérant de nouvelles connaissances et apprendre des pratiques auprès des experts (scientifiques).

La décision n'est pas le seul domaine dans lequel des outils d'aides informatisés peuvent être utiles. Guy Boy [1991] propose le développement de Système d'Assistance Intelligents (SAI). Ceux-ci reprendraient le rôle joué par des assistants dans le contrôle de systèmes dynamiques complexes. Selon l'auteur, les assistants et les opérateurs entretiennent des relations telles que :

1. L'opérateur reste seul maître à bord : il peut consulter l'assistant quand il veut, mais prend les décisions ultimes ;
2. Si l'opérateur délègue une part de sa responsabilité sur l'assistant, l'assistant considère cette délégation comme une tâche à effectuer ;
3. L'opérateur peut à tout instant décider d'interrompre l'exécution d'une tâche par l'assistant, s'il le juge nécessaire ;
4. L'assistant peut toutefois prendre des initiatives : tester des paramètres, tenir informé l'opérateur de l'évolution de la situation, prévoir des erreurs potentielles;
5. Un assistant doit pouvoir mettre en œuvre les connaissances incluses dans le manuel, de sa propre initiative ou sur ordre de l'opérateur ;
6. Un assistant doit être capable d'expliquer, avec une quantité de détails adaptée à l'opérateur et à la tâche en cours, les résultats qu'il a obtenu.

Les relations citées ci-dessus induisent différentes conséquences pour le développement d'un SAI. Premièrement, l'utilisateur et le système d'assistance doivent établir une coopération étroite, basée sur une forte

interactivité. Le SAI n'est toutefois qu'un conseiller : il n'est pas autonome et ne cherche pas à le devenir. Le SAI doit être réactif et laisser toujours la main à l'utilisateur qui peut donner de nouvelles priorités à son assistant (Fischer, 1990). Sur ces points, les SAI rejoint les SIAD. Un SAI doit, deuxièmement, être capable de réaliser des tâches de surveillance continue du processus et informer l'utilisateur de toute déviation par rapport à un régime nominal. Il peut alors proposer, de son propre chef, un diagnostic plus ou moins avancé, une critique des actions menées par l'utilisateur en mettant en œuvre les connaissances qu'il a sur le domaine d'application (Aamodt et Nygard, 1995). Ces connaissances doivent également être utilisées pour la réalisation des tâches spécifiques qui sont demandées par l'utilisateur (comme cela est le cas des SBC en général). Enfin, le SAI doit être capable de fournir des explications ciblées sur la tâche et une qualité adaptée précisément au niveau d'expertise de l'utilisateur (Aamodt et Nygard, 1995).

Par ailleurs, la logique de l'utilisateur est très différente de la logique fonctionnelle liée au processus à contrôler. La logique de l'utilisateur est en perpétuelle évolution, grâce à la diversité des situations rencontrées en pratique, surtout dans des environnements changeants. Un SAI doit être capable de prendre en compte ces évolutions des connaissances impliquées dans les raisonnements de l'utilisateur (Fischer, 1990 ; Aamodt et Nygard, 1995 ; Ekdahl, Astor et Davidsson, 1995 ; Reddy, 1996 ; Bainbridge, 1997). Ceci est une grande différence par rapport aux SIAD et aux SBC classiques : les connaissances manipulées par un SAI sont principalement axées vers l'acquisition incrémentale des connaissances nécessaires.

Les SBC offrent toutefois un support intéressant : ils utilisent divers types de représentations et de traitements des connaissances. Ils permettent d'éditer, de modifier et d'administrer les connaissances avec une grande flexibilité (comparativement à la programmation procédurale classique). Ils peuvent remplir les conditions d'utilisation requises pour les SAI dans le sens système-utilisateur (réalisation d'une tâche, surveillance d'un

processus, explications). Toutefois ils ne sont pas très bons dans le sens utilisateur-système (acquisition incrémentale de connaissances).

Selon Boy (1991), un SBC acceptant l'acquisition incrémentale de connaissances est un bon point de départ pour le développement d'un SAI. Ce point est discutable, car les SBC ne sont pas conçus pour un niveau d'interactivité aussi élevé. Les SBC sont incapables d'adapter automatiquement leur activité à celles de l'utilisateur alors qu'un véritable assistant est capable de prendre ce genre d'initiatives. Un système coopératif peut, selon Frontin et al. (1993), adapter son comportement en observant les actions de l'utilisateur. L'acquisition incrémentale des connaissances est un point capital pour nous, et ce n'est pas une simple fonctionnalité que l'on pourrait rajouter à un SBC. Il faut prendre en compte ce mode d'évolution des connaissances pour développer un système complet en l'intégrant au plus profond de son fonctionnement.

L'approche centrée utilisateur (Wassink, Kulyk et al, 2008) peut globalement être divisée en trois phases: la phase de l'*envisioning*, la phase de spécification globale, et la phase de spécification détaillée. Dans la phase de l'*envisioning*, la situation actuelle (les utilisateurs, leurs environnements et leurs tâches) est analysée, ainsi que les exigences de l'utilisateur. Dans les phases de spécifications globales et de spécifications détaillées, des solutions sont proposées et présentées aux utilisateurs. Chacune de ces phases peut contenir plus d'une itération, alors que chaque itération se compose de trois activités (Sharp et al, 2007).

2.3.5. Systèmes prenant en compte le contexte

Le besoin de prendre en compte le contexte vient principalement de la présence de l'utilisateur dans la boucle de la manipulation du système. Le contexte d'utilisation d'un système varie selon l'utilisateur, sa tâche, la situation où la tâche est accomplit, l'instant de la manipulation, etc. Le contexte influe sur la manipulation du système d'où l'intérêt de l'intégrer dans le système afin d'améliorer l'adaptation du système à l'utilisateur.

Plusieurs recherches sont ou ont été réalisées pour replacer le contexte au centre des raisonnements artificiels. Nous présentons ici trois exemples de nature et de conception très différentes : le système *ORCA* de Turner implanté au cœur d'un système de contrôle de submersibles automatiques, et le point de vue de Gonzalez sur le « Context-Based Reasoning ». Enfin nous présentons brièvement un domaine de recherche un peu marginal pour notre objectif sur les « Context-Aware Systems ». Le choix de ces trois exemples est guidé par leur complémentarité tant au niveau de leur prise en compte du contexte que de la modélisation et de l'utilisation qui en est faite.

2.3.5.1 Context-Based Reasoning[8]

Le *Context-Based Reasoning* (CxBR) est un modèle de raisonnement basé sur le contexte introduit par Gonzalez et Ahlers (1994). Les auteurs travaillent sur les structures de contrôle de plates-formes autonomes intelligentes (PAI) et sur l'adaptation de leur comportement au contexte. Sur ce point, leurs travaux sont proches de ceux de Turner présentés ci-dessus. Nous retrouvons ainsi une approche du contexte comme cadre pour guider le comportement et l'interprétation de la situation.

Les structures de contrôle des PAI gèrent une séquence continue de contextes qui changent quand la situation change. Le comportement d'un PAI est contrôlé par le contexte actif à cet instant, qui peut être différent d'un PAI à un autre dans une même situation (à cause des spécificités des missions, des capteurs et des capacités de chacun d'entre eux). A chaque instant au moins un contexte est actif. Quand plusieurs contextes sont activés ensemble, ils doivent être compatibles et l'un d'eux correspond plus précisément au centre d'intérêt courant. Les contextes sont définis sur des intervalles de temps et peuvent définir des transitions vers des buts ou être des buts en soi. Un nombre limité d'événements est autorisé pour chaque contexte. Ceci permet de limiter l'espace de résolution d'un problème.

[8] Nous conservons la terminologie anglo-saxonne car celle-ci fait référence à une approche spécifique.

L'avènement d'un nouveau contexte modifie plus ou moins le cours des actions ou les attentes de résultat de celles-ci. Le nouveau et l'ancien contextes peuvent soit être mutuellement exclusif (dans quel cas le nouveau contexte élimine le contexte précédent), soit non-mutuellement exclusifs (dans quel cas le nouveau contexte recouvre le contexte précédent puis rends la place à celui-ci quand il n'est plus actif).

Les auteurs utilisent des Scripts (Schank, 1977) pour représenter les contextes. Ainsi le modèle de chaque contexte contient des champs fixes, des champs variables, des procédures et des règles. Les champs fixes décrivent les connaissances statiques dans ce contexte (capacités, types et champs d'action des capteurs, etc.). Les champs variables contiennent des variables du PAI (position, vitesse, etc.). Les procédures décrivent des commandes de base du PAI. Les règles sont de trois types. Premièrement, les règles sentinelles : elles surveillent continuellement les données à l'affût de facteurs pouvant modifier la situation. Elles sont à la base de la *situation-awareness*. Deuxièmement, les règles de transition : elles réagissent à une situation identifiée par les règles sentinelles et déterminent quels contextes peuvent être activés. Troisièmement, les règles internes : elles servent à prendre des décisions dans le cadre d'un contexte.

Le CxBR (Gonzalez & Ahlers, 1995) est fondé sur trois types de contextes : la mission, les contextes de la mission, et les contextes majeurs. La mission définit les objectifs et les contraintes de la mission. Elle est fixée une fois pour toute au début et reste active jusqu'à la fin de celle-ci. Les contextes de la mission encadrent le comportement stratégique des PAI. Ils contiennent des informations sur le contrôle du PAI et sur les règles de désactivation de ce contexte et sur les contextes pouvant les suivre. A chaque instant un, et un seul, contexte de la mission est actif. Les contextes majeurs encadrent le comportement tactique du PAI. Ces contextes ne sont pas mutuellement exclusif et ne sont pas nécessaire à chaque instant. Ils délimitent plus précisément le comportement en fonction de détails de la situation. Cette approche distinguant trois niveaux de contexte est originale. Elle permet de

décrire le contexte de manière opérationnelle : la mission définit les objectifs, le contexte de la mission dirige les raisonnements stratégiques et définit les buts à atteindre en fonction de la situation, et enfin les contextes majeurs restreignent, si nécessaire, les actions du PAI pour les adapter à des situations particulières.

2.3.5.2 « Context-Aware Systems »[9]

Le dernier exemple choisi correspond à un domaine de recherche encore émergent : les ***context-aware systems***. Ceci regroupe divers types de systèmes et d'objets qui adaptent leurs fonctionnalités et/ou leurs comportements à leur environnement ou leur état interne. Ceci concerne principalement la programmation mobile, dont le contexte et les besoins de l'utilisateur changent fréquemment.

Les systèmes actuels traitent des contextes très restreints pour des raisons de capacité limitée des objets mobiles support des applications. Les contextes employés sont souvent liés à la localisation, la datation et les personnes autour. Les buts des ces systèmes sont très variés : assistants professionnels, aide-mémoire, guides (touristiques ou autres), etc.

L'un des premiers systèmes opérationnels est l'Active Badge du laboratoire de recherche de Olivetti (Want *et al,* 1992). Chaque employé porte un badge actif émettant dans l'infrarouge. Des capteurs placés sur le pourtour du bâtiment permettent de localiser le badge de tout porteur actuellement dans les locaux. Ce système permet de savoir où se trouvent les personnes présentes sur le site (pour, par exemple, transférer un appel sur le poste le plus proche) et de déterminer les rapprochements de personnes. Le système ParcTab mis en place un peu plus tard à Xerox PARC (Want *et al,* 1995) est plus complexe. Les utilisateurs ne portent plus un simple badge, mais un assistant personnel électronique qui communique (toujours par infrarouge)

[9] Nous gardons ici la terminologie anglo-saxonne car la traduction française, qui se situe entre *systèmes sensibles* et *systèmes conscients*. La première traduction efface certaines caractéristiques importantes (ces systèmes ne se contentent pas d'une simple prise en compte du contexte) ; la seconde est, quant à elle, trop optimiste.

non plus avec des capteurs associés au bâtiment dans son ensemble, mais avec un réseau local formé par les dispositifs de la salle où se trouve l'utilisateur. Outre les fonctions classiques et non-sensibles au contexte des PDA (calendrier, gestionnaire de tâches, carnet d'adresses…), les ParcTab offrent des fonctionnalités nouvelles et adaptées à la situation : information sur la salle, recherche de ressources disponibles les plus proches (par exemple les photocopieuses), lecture/modification de répertoires informatiques dédiés à la salle (pour laisser des notes aux collègues qui vont y passer par exemple), localisation de collègues, télécommande de différents appareils présents dans la pièce, … Dans ces deux applications, le contexte permet de localiser le porteur (soit du badge, soit du ParcTab) et donc de tracer les différents employés. Dans le cas du système ParcTab, le contexte adapte les applications disponibles et permet de trier les informations.

Les applications de guide sont beaucoup plus nombreuses, car elles sont sur un créneau porteur en association avec les téléphones portables et les systèmes de navigation routiers qui sont en pleine expansion commerciale. Ceux-ci localisent l'utilisateur (soit par GPS, soit par les cellules des réseaux de communication), lui renvoient des informations (touristiques, environnementales, commerciales, etc.) en fonction de ses préférences et de son environnement, et adaptent leurs fonctionnalités. Le système GUIDE développé à l'Université de Lancaster (Davies *et al*, 1998) est même capable de faire retrouver son chemin à un touriste égaré, de lui indiquer s'il est déjà passé par ce lieu. Le contexte permet d'adapter les informations aux volontés de l'utilisateur, de sélectionner quelle information fournir, d'en déclencher d'autres.

Les aide-mémoire ont beaucoup à gagner en basant leur système sur le contexte. En effet, la mémoire humaine retient des éléments de connaissance en association avec le contexte dans lequel ces éléments ont été rencontrés. Par exemple où, quand, comment, avec qui tel événement a eu lieu. Un aide-mémoire est utile quand on ne se souvient plus d'un fait précis. Par contre, dans ces situations, il est fréquent de se souvenir de détails contextuels

associés à ce fait. Les aide-mémoire, s'ils retiennent eux aussi le contexte en même temps que les faits, peuvent déterminer quel fait a eu lieu en fonction des éléments contextuels dont se souvient l'utilisateur. Tel est le cas notamment des systèmes Forget-Me-Not (Lamming et Flynn, 1994), StartleCam (Healey et Picard, 1998), etc.

Les *context-aware systems*, tels que ceux que nous venons de présenter, forment une grande famille d'applications concrètes de travaux de recherche sur les divers rôles que joue le contexte sur nos activités quotidiennes. L'augmentation des capacités des PDA en tout genre est de bon augure quant à la prospérité de cette branche. Les premiers systèmes proposés ne prennent en compte qu'une infime partie du contexte, mais nous verrons bientôt arriver des systèmes plus complexes. Les contextes actuellement mis en œuvre sont pauvres, et leur structuration n'est pas nécessaire. A l'avenir, les concepteurs de tels systèmes, prenant en compte de plus en plus d'éléments contextuels, devront structurer les contextes mis en œuvres dans les systèmes et rejoindre ainsi les questions soulevées dans les deux exemples traités précédemment.

2.3.6. Récapitulation des caractéristiques des systèmes

Un système peut être qualifié d'intelligent s'il offre certains services à l'utilisateur afin de réduire au maximum ses efforts. Toutefois, l'autonomie du système intelligent ne doit en aucun cas négliger l'utilisateur qui est au centre du système, et ceci dès la phase de conception. En effet, la décision est toujours prise par l'utilisateur et le concepteur du système ne doit en aucun cas chercher remplacer l'utilisateur par son système. Dernièrement le contexte a été ajouté à la liste des caractéristiques des systèmes intelligents qu'il faut prendre en compte dès la conception du système.

Le tableau suivant (Table 1) donne une comparaison des systèmes informatiques selon leurs caractéristiques. SE est mis pour systèmes experts, SC pour systèmes cognitifs, SIAD pour systèmes interactifs d'aide à la décision, SI pour systèmes intelligents, et SAIC pour systèmes d'assistance

intelligents basés sur le contexte. Ce tableau résume ainsi les traits dont nous avons discutés précédemment.

	SE	SC	SIAD	SI	SAIC
Base de données	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Base de connaissances	Non	Oui	Oui	Oui	Oui
Base d'expériences	Non	Non	Non	Oui	Oui
Prise en compte du contexte	Non	Non	Non	Non	Oui
Gestion des traces	Non	Non	Non	Oui	Oui
Capacité de transmettre les connaissances	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Capacité d'acquérir les connaissances	Non	Non	Oui	Oui	Oui
Analyse	Non	Non	Oui	Oui	Oui
Apprentissage	Non	Oui	Oui	Oui	Oui
Non imposition des connaissances + négociation	Non	Non	Oui	Oui	Oui
Anticipation du comportement	Non	Non	Non	Oui	Oui
Utilisation de son historique	Non	Non	Non	Oui	Oui
Indépendance du système	Non	Oui	Oui	Oui	Oui

Table 1 : Comparaison des systèmes informatiques pour un service à l'utilisateur (inspiré de Jorion, 1989).

Plus on évolue dans le temps plus les exigences pour les systèmes intelligents augmentent. De nouvelles caractéristiques sont ajoutées au système pour répondre au mieux aux exigences de l'utilisateur. La place réservée à l'utilisateur est de plus en plus remarquable dans les systèmes intelligents.

Afin de satisfaire l'utilisateur, ces systèmes ont évolué depuis les premiers systèmes experts jusqu'aux systèmes d'assistance intelligents d'aujourd'hui en fonction du besoin exprimé par l'utilisateur, ce qui a rapproché de plus en plus le système de l'utilisateur, et les approches se sont orientées vers les systèmes centrés utilisateur après être passé par les systèmes orientés utilisateur. L'échec des premiers systèmes d'aide a montré que la résolution d'un problème devait relever d'un système cognitif homme-machine.

2.4. Modélisation et Management du Contexte

2.4.1. De l’arbre de décision au graphe contextuel

La prise de décision est un processus dynamique, et son contexte évolue conjointement tout au long de ce processus. La modélisation du processus de prise de décision est représentée sous la forme d'un arbre de décision (Raïffa, 1968). Cette approche tente de représenter la décision étape par étape grâce à deux types de nœud: les nœud d'événements et les nœuds de décision. A un nœud d’événement, des chemins se séparent en fonction de l’événement sur lequel le décideur n'a aucune influence. Alors que pour un nœud de décision, l’acteur humain fait un choix. Le principal problème avec cette structure est l'explosion combinatoire. Le nombre de feuilles augmente de façon exponentielle suivant la profondeur de l'arbre. L'ajout d'un nœud événement peut facilement doubler la taille de l'arbre. Les graphes contextuels ont vu le jour suite à des modifications apportées sur les arbres de décision afin d’améliorer l’utilisation de la modélisation par les décideurs (Pasquier, 2002).

Une des modifications simplifiant la représentation est le remplacement de séquences d’actions par des « petites procédures » appelées macro-actions. Les macro-actions sont basées sur l’expérience des opérateurs et reprennent une part du plan du diagnostic et d’action (Pomerol, 1997). L'évolution d'un arbre de décision vers un graphe contextuel n’est pas seulement une simplification graphique. Le but des graphes contextuels n'est pas de prendre une décision dans l'incertitude, mais de représenter le long de chaque branche un état qu’un acteur peut identifier. Le chaînage des différents contextes (les nœuds événements) le long d'un chemin représente l'évolution du contexte. Ainsi, dans un graphe contextuel, les connaissances contextuelles évoluent en permanence en fonction de leur prise en compte dans le raisonnement humain. Dans un domaine dynamique tel que le diagnostic du cancer où la façon de faire diffère d’un cas à l’autre, il est fondamental de représenter avec précision la dynamique de raisonnement des experts.

2.4.2. Le contexte

Le contexte a longtemps joué un rôle bien reconnu dans un certain nombre de domaines, tels que le traitement du langage naturel (Moore, 1995), la résolution de problèmes (Brézillon, 1999), l'apprentissage automatique (Widmer, 1996), l'acquisition de connaissances (Brézillon & Abu-Hakima, 1995), et les bases de données et l'ontologie (Goh et al, 1994). Cependant, il n'y a pas de définition claire du contexte (Brézillon, 1999a). Bazire et Brézillon (2005) ont présenté une étude sur 166 définitions de contexte qui suggère que la définition du contexte dépend du domaine auquel elle a été proposée.

Brézillon (1999) montre que le contexte joue un rôle important dans un certain nombre de domaines depuis longtemps, en particulier pour des activités telles que le fait de prévoir les changements de contexte, expliquer et aider à les manipuler les événements imprévus, et aider l'opérateur à concentrer son attention sur un focus.

La définition la plus connu du contexte, et la plus opérationnelle, pour notre travail est : le contexte est « ce qui contraint la résolution d'un problème sans y intervenir explicitement. » (Brézillon et Pomerol, 1999). Une autre vision du contexte est donnée par Greenberg (2001) où un contexte est considéré comme une construction dynamique avec cinq dimensions: (1) temps, (2) épisodes d'utilisation, (3) interactions sociales, (4) objectifs internes, et (5) des influences locales.

2.4.3. L'outil Graphes Contextuels

L'outil Graphes Contextuels (CxG) [10] a été développé dans un cadre conceptuel cohérent, comme le montre son utilisation dans plusieurs applications du monde réel : métro, de la sécurité routière, l'assemblage de composants logiciels, etc. (Brézillon & Pomerol, 1999). L'outil CxG est un logiciel qui permet aux utilisateurs de construire des graphes contextuels.

[10] http://cxg.fr

Un graphe contextuel donne une représentation cohérente des processus de raisonnement et les éléments contextuels qui lui sont liés. Il s'agit d'une expression de la réalisation de la tâche qui prend en compte le contexte. Cet outil est utilisé dans des domaines où le raisonnement doit s'appliquer à des problèmes complexes où un certain nombre d'éléments contextuels hétérogènes interviennent.

Un graphe contextuel est composé de quatre items, dont les éléments contextuels (ECs) qui permettent de réaliser de différentes façons une tâche. Un EC propose plusieurs chemins (branches) qui vont dépendre de l'instanciation du contexte (un choix exclusif parmi plusieurs valeurs possibles). La branche qui correspond à la valeur retenue de l'EC (son instanciation) correspond à un ensemble d'actions et d'ECs relatifs (une méthode pour résoudre ce problème local) au contexte choisi.

L'élément contextuel (EC) est représenté par un couple de nœuds: les cercles (avec le numéro sur le cercle) sont des nœuds contextuels (une entrée et plusieurs sorties), les petits cercles (sans numéro sur le cercle) sont des nœuds de recombinaison (plusieurs entrées et une seule sortie). Les sorties d'un nœud contextuel correspondent aux valeurs connues que peut prendre l'EC. Pour chaque valeur, une méthode est utilisée pour l'étape locale du problème à résoudre comme la plus adaptée pour cette instanciation de l'EC. Une fois, cette étape locale résolue, l'instanciation ne joue plus de rôle sur le reste du raisonnement, et donc toutes les branches peuvent être regroupées au nœud de recombinaison. L'instanciation de l'élément contextuel joue un rôle uniquement entre le nœud contextuel et le nœud de recombinaison (même si l'instanciation reste connue après le nœud de recombinaison). Une fois l'EC instancié, les actions ou les activités pertinentes sur la branche correspondante à l'instanciation seront exécutées.

2.4.4. Décomposition du graphe contextuel en arbre

Les graphes contextuels ont été utilisés comme façon de représenter le diagnostic, le raisonnement humain, la prise de décision. Le simulateur, dont nous allons parler dans la suite de ce manuscrit, va utiliser les graphes contextuels comme modèles du raisonnement à simuler. L'originalité de ce type de simulation est que le modèle—la pratique dans notre cas—est construit en même temps qu'il est utilisé. En effet, ces graphes contextuels décrivent l'ensemble des pratiques qui ont été développées par des utilisateurs lors de résolutions précédentes du problème dans des contextes différents. Afin de manager plus facilement les pratiques résultantes (les analyser, les comparer) nous avons procédé à une décomposition arborescente du graphe contextuel. Un graphe contextuel correspond à la transformation d'un arbre de décision (comme expliqué dans la section précédente). La transformation inverse (retraduire le graphe en un arbre) permet d'identifier comme feuilles les pratiques constituant le graphe. La transformation est basée sur la décomposition arborescente des graphes séries-parallèles.

Les graphes séries-parallèles (GSPs) sont des graphes avec deux sommets distinguées appelées « terminaux » (ou bornes), formées de manière récursive par deux opérations de composition simple. Les graphes contextuels (CxG) ont une seule entrée et une seule sortie ; les éléments du graphe sont définis sur une branche principale d'une façon linéaire ce qui impose une seule entrée et une seule sortie. La récursivité est retrouvée grâce aux éléments contextuels où sur les branches d'un EC, on peut reconstruire un autre graphe (en y plaçant un autre EC).

Un graphe contextuel peut être vu comme un ensemble de sous graphes emboités. Cette observation est identique pour les GSP et les CxG. La fin d'un sous graphe correspond au début du deuxième sous graphe s'ils sont en série (dans le cas des CxG, on les appelle une suite d'ECs). Dans le cas des sous graphes en parallèle, le début des sous graphes est fusionné ainsi que la fin. Cette fusion est représentée dans les graphes contextuels par les ECs.

Ainsi, nous pouvons dire qu'à partir de cette définition les CxG sont un cas particulier de GSP. Les autres caractéristiques des GSP intéressantes pour les CxG sont données dans la Table 2.

	GSP	**CxG**
Entrée	1	1
Sortie	1	1
Nombre de chemins depuis l'entrée jusqu'à la sortie.	Produit du nombre de branches en série et sommation de celle en parallèle.	Produit du nombre de branches en série et sommation de celle en parallèle.
Types de nœuds	1	4
Lien entre les nœuds	Arêtes	Branches
Branches parallèles	S'exécutent au même temps	Choix exclusif pour les ECs, ordre indifférent pour les GAP
Décomposition arborescente	Oui Défini les chemins	Oui Défini les pratiques

Table 2 : Tableau comparatif des propriétés des GSP et CxG

Par contre, les graphes contextuels contiennent des éléments que les GSP ne possèdent pas : les activités et les branchements temporels. L'activité n'est pas un problème puisqu'il s'agit d'un graphe contextuel en soit et donc peut être remplacée par ce sous-graphe dans le graphe principal. Le branchement temporel peut poser plus de difficultés puisqu'il s'agit d'un ensemble de chemins inclusifs correspondant aux différentes combinaisons de ce qui existent sur les branches du branchement temporels (A-B ou B-A pour deux branches).

2.5. La simulation

Afin de représenter le monde réel, la simulation se base sur un modèle. Ce modèle permet de décrire un phénomène. La simulation est un moyen de représenter un comportement naturel ou physique de façon interactive et simple à adopter par l'utilisateur. Elle permet l'imitation du fonctionnement

d'un processus du monde réel ou d'un système au cours du temps. La simulation implique la génération et l'observation d'une histoire artificielle du système afin de tirer des conclusions concernant les caractéristiques de fonctionnement du système réel représenté (Banks, 1999). C'est une méthode de résolution de problèmes qui est indispensable pour de nombreux problèmes du monde réel. Elle est utilisée pour décrire et analyser le comportement d'un système, demander "Que faire si ?" pour le système réel, et aider à sa conception.

Les objectifs d'une simulation peuvent être : (1) reproduire un comportement (par exemple, un jeu vidéo) ; (2) tester le comportement d'un système afin d'éviter les conséquences négative de sa mise en route avec certains paramètre non sûr (par exemple, le déplacement d'un robot) ; (3) informer (par exemple, la simulation météo) ; et (4) apprendre (par exemple, la simulation du pilotage d'un avion).

2.5.1. Les avantages de la simulation

Les avantages de la simulation vont au-delà de la simple représentation dynamique ou prédiction (Banks et al, 2000; Law et Kelton, 2000; Pegden, Shannon et Sadowski, 1995 ; et Schriber, 1991). Parmi ces avantages, il faut noter :

(1) Choisir correctement : la simulation permet de tester tous les aspects d'un changement ou d'un ajout dans le système sans engager des ressources ;

(2) Comprendre "Pourquoi?" : les gestionnaires veulent souvent savoir pourquoi certains phénomènes se produisent dans un système réel. Grâce à la simulation, il est possible de trouver la réponse aux questions en reconstruisant la scène et de passer un examen microscopique du système ;

(3) Explorer les possibilités : un des plus grands avantages de l'utilisation des logiciels de simulation, est qu'une fois un modèle valide de la simulation est développé, il est possible d'explorer de nouvelles politiques, des procédures opérationnelles ou des méthodes sans les

perturbations de l'expérimentation in vivo avec le système réel. Ces modifications sont incorporées dans le modèle et leurs effets sont observés sur le système simulé plutôt que le système réel ;

(4) Diagnostiquer les problèmes : l'organisation des services est très complexe, si complexe qu'il est impossible d'envisager toutes les interactions qui auront lieu à un moment donné. La simulation permet de mieux comprendre les interactions entre les variables qui composent ces systèmes complexes.

2.5.2. Les types de simulation

La simulation peut être classée selon plusieurs critères tel que le niveau de détails, le domaine d'application, et la nature discrète-continue.

1) le niveau de détails. Les simulations varient selon le niveau, ils vont de la simulation de haut niveau à la simulation de bas niveau. Les simulations de haut niveau sont plus abstraites et plus simples à concevoir, et de bas niveau plus détaillées (précis) et plus complexe.

Les simulations se classent dans cet ordre : simulation comportementale, simulation fonctionnelle, analyse temporelle statique, simulation au niveau porte, simulation commutateur de niveau, et simulation au niveau circuit.

2) le domaine d'application. La simulation a été appliquée dans plusieurs domaines pour des besoins et des raisons différents. Les grandes familles de domaine où la simulation est appliquée sont la physique, l'économie, la biologie et le raisonnement. Avec le développement des technologies actuellement, la simulation a pénétré des domaines très éloignés comme la chimie moléculaire pour la mise au point de nouvelles molécules à partir des configurations spatiales.

Certains domaines tels que l'aviation où l'erreur n'est pas tolérée nécessitent un modèle mathématique très précis. Le maximum des cas possibles sont représentés (même les moins probable) avec toutes les conditions. Par contre, la simulation d'un itinéraire à suivre dans les transports en commun est moins complexe car la conséquence d'une erreur est beaucoup moins grave que la simulation du pilotage d'un avion.

Dans la suite nous donnons quelques exemples de simulations. Les jeux vidéo sont une manière de modéliser et simuler différents types de comportements. Dans les jeux vidéo plusieurs paramètres et composantes de l'intelligence artificielle entrent en jeu ; en premier lieu, l'imitation du comportement humain et la mise en situation quasi réelle (réalité virtuelle et réalité augmentée). Les jeux vidéo sont conçus pour des buts distractifs et/ou éducatifs. Dans l'aéronautique, les pilotes sont formés sur des simulateurs pour le gain de temps et d'argent qu'offre une telle simulation pour la formation.

3) nature discrète-continue. Il existe deux grandes classes de simulations ; les simulations continues et discrètes. La différence entre les deux dépend principalement du type de modèle utilisé. La simulation à événements discrets est adaptée pour les problèmes dans lesquels les variables changent en temps discrets et par étapes discrètes. La simulation continue est adaptée pour les systèmes dans lesquels les variables peuvent changer continument (Özgün & Barlas, 2009). La simulation basée sur les graphes contextuels se place dans la catégorie des simulateurs discrets car le modèle (les graphes contextuels) est basé sur des évènements.

2.5.3. Composantes/caractéristiques d'un simulateur

Banks (1999) liste les différentes composantes d'un simulateur. Les principales parmi elles qui nous intéressent sont :

- Les modèles (spécifique à chaque cas (objectif) de la simulation). Le modèle est une représentation du système réel qui peut aller d'un modèle mathématique (par exemple un système d'équations différentielles non linéaires) à des graphes ou des ensembles de règles en passant par un large spectre d'autres types de représentation,
- Les évènements (dans le cas de la simulation discrète). Les événements sont des occurrences qui changent l'état du système. Ils surgissent à n'importe quel moment de la simulation. Ces évènements sont par contre prédéfinis dans le simulateur car le modèle est supposé connu et fixé au départ.

- Les variables sont une collection de toutes les informations nécessaires pour définir ce qui se passe avec le système. C'est leur évolution qui est suivi lors d'une simulation.

L'une des limites de la simulation est l'impossibilité de la prédiction exhaustive. On ne peut pas cerner toutes les conditions au bon déroulement de la simulation, car ceci dépend du contexte. Une autre limite est l'évolution temporelle pour certains systèmes : un comportement chaotique peut avoir lieux dans certains modèles non linéaires (comme les attracteurs étranges). Les simulateurs ne peuvent en aucun cas reproduire la réalité, il y a toujours des situations non prévues (non définies dans le simulateur) où le simulateur (comme tout système) se trouve dans l'incapacité de réagir.

2.5.4. Positionnement de la simulation proposée

Afin de répondre à une question, le simulateur utilise en entrée les graphes contextuels et en sortie va proposer une pratique (la solution au problème posé à l'entrée pour le contexte de travail donné). La pratique est ensuite développée progressivement en fonction des réponses données aux questions/ alternatives proposés dans le graphe à travers les ECs. La simulation permet de mieux cerner le focus (l'objectif) visé par l'utilisateur en mettant en évidence les conséquences des choix effectués.

La spécificité de la simulation que nous proposons doit être considérée du point de vue de l'interaction avec l'utilisateur. Contrairement à la simulation classique, l'instanciation des ECs nécessaires au déroulement de la simulation ne se fait pas seulement avant le lancement de la simulation mais aussi au cours de la simulation (le développement de la pratique). L'utilisateur et le simulateur co-construisent cette pratique tout au long de la simulation.

Dans la suite nous présentons les caractéristiques que doivent avoir un simulateur en fonction du but de la simulation. C'est pourquoi nous avons classé les simulateurs par objectif et domaines d'application. Les types de simulateurs sont présentés dans le tableau suivant (Table 3), chaque type

répond à certaines exigences avec un niveau d'efficacité. Dans la Table 3, SA est mis pour simulateur d'avion, SV pour simulateur de voiture, JV pour jeux vidéos, SI pour simulateur informatique (comme la météo), SO pour simulateurs d'objets, SR pour simulateur de raisonnement, SQ pour simulateur qualitatif.

	SA	**SV**	**JV**	**SI**	**SO**	**SR**	**SQ**
Réduction du risque d'erreurs dans le monde réel	+++	+++	0	+	0	++	++
Améliorer la qualité de la décision	++	++	+	+++	0	+	+
Apprentissage	++	++	+++	0	++	+++	+++
Réduction du coup	++	++	+	0	+++	+++	+++
Imitation du monde réel	+++	+++	+++	+	+++	+++	+++
Amélioration des capacités cognitives	+	+	+++	0	0	+	+
Rendre service	0	+	0	+++	0	0	0
Exploration des possibilités	++	++	+	+++	0	++	++
Capacité d'anticipation	++	+	+	++	0	+++	++
Explication / information	+++	+++	0	+++	0	++	++

0 : Caractéristique non existante dans le type de simulation.
+ : Caractéristique peu existante dans le type de simulation.
++ : Caractéristique partiellement existante dans le type de simulation.
+++ : Caractéristique totalement existante dans le type de simulation.

Table 3 : Comparatifs des simulateurs selon les caractéristiques

Conclusion

Le domaine d'application de notre système, à savoir pour le diagnostic du cancer du sein, est un domaine riche en connaissance et sa pratique est essentiellement humaine et basée sur l'expertise. La simulation du raisonnement du médecin lors du diagnostic du cancer du sein propose une meilleure visualisation des choix et leurs impacts. Dans le chapitre suivant nous présentant le Consultant avec ces différentes fonctionnalités.

Chapitre 3 : Un système intelligent : le Consultant

Le Consultant appartient à la classe des systèmes d'assistance intelligents basés sur le contexte. Pour concevoir notre Consultant, nous sommes parti du gestionnaire de graphes contextuels CxG-Manager (Brézillon, 2005) dont nous avons étendu les fonctionnalités.

Le CxG-Manager est un logiciel qui permet aux utilisateurs de construire, consulter et modifier des graphes contextuels. Un graphe contextuel donne une représentation cohérente des processus de raisonnement et les éléments contextuels qui lui sont liées. Il représente les différentes manières (pratiques) de réaliser une tâche selon le contexte. Cet outil permet d'aborder des problèmes complexes dans différents domaines où un certain nombre d'éléments contextuels provenant de plusieurs sources hétérogènes interviennent.

En utilisant l'approche intelligence artificielle, nous avons fait évoluer cet outil pour le rendre plus adapté aux besoins de l'utilisateur et être compatible avec un plus grand nombre d'utilisateurs de disciplines différentes. Nous appelons « utilisateur » toute personne susceptible d'utiliser le Consultant, experte, novice/débutante, de domaines différents.

Le système que nous proposons est à la fois générique/standard, afin de permettre d'élargir son domaine d'application, et spécifique/particulier, afin d'offrir plus de personnalisation du système. La généricité permet de satisfaire un grand d'utilisateurs de disciplines différentes. La personnalisation du système permet d'adapter l'outil aux spécificités de tout utilisateur.

L'outil principal du Consultant est le simulateur. Ce simulateur permet d'améliorer la qualité des services offerts à l'utilisateur en lui proposant les pratiques déjà développées pour résoudre précédemment son problème dans

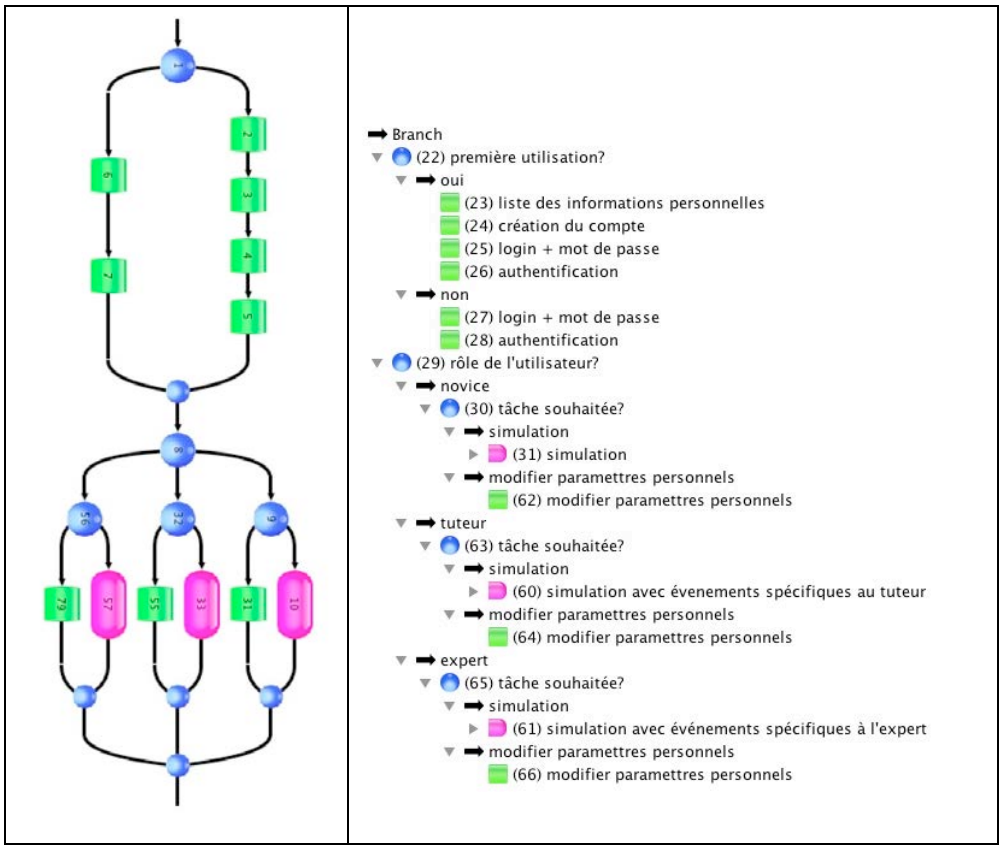
différents contextes grâce à leur représentation dans un graphe contextuel. Nous détaillons dans la suite le management du Consultant depuis l'authentification de l'utilisateur (pour la personnalisation du service apporté) jusqu'à la gestion des différents types de résultats de la simulation.

3.1. Niveau conceptuel : Le soutien du Consultant à l'expert

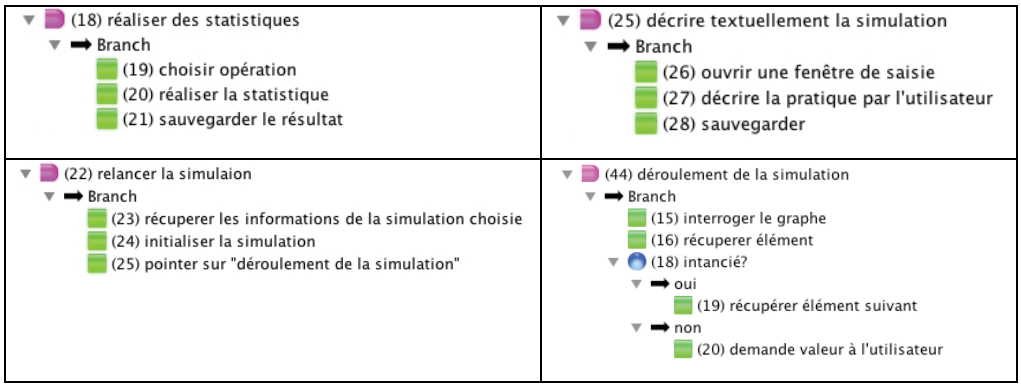
Puisque le graphe contextuel est un moyen de représenter les connaissances expertes mises en jeu dans la résolution d'une tâche par un expert, nous avons représenté le fonctionnement du Consultant lui-même sous la forme d'un graphe contextuel (voir Figure 2.1) pour mieux expliquer l'utilisation du Consultant au cours d'une session. Ce graphe contextuel permet, en même temps, de regrouper les différentes fonctionnalités du Consultant, les organiser (par les activités), mettre en évidence les liens entre eux et distinguer les comportements du Consultant selon le type d'utilisateur (à travers les ECs). Une pratique dans ce graphe contextuel correspond à une utilisation du Consultant.

Le graphe contextuel donné Figure 2.1 regroupe les cas possibles d'utilisation du Consultant. Les ECs (cercles bleus) représentent les interactions qui existent entre le Consultant et l'utilisateur, les branches représentent la réaction face au contexte qui se présente suite à l'interaction. Chaque branche correspond à une suite d'actions à réaliser par le consultant avec l'intervention de l'utilisateur.

Le graphe contextuel de la Figure 3.1 décrit l'utilisation du consultant et tous les contextes possibles. Cela a permis de mieux cerner les fonctionnalités dont l'utilisateur a besoin. Le graphe contextuel représente les interactions envisagées de l'utilisateur avec le consultant depuis le lancement du consultant jusqu'à la fin de la simulation.



(a) : graphe général



(b) : contenu de certaines activités du graphe

Figure 3.1 : Graphe contextuel du management du consultant

Les activités « 18-réaliser des statistiques » et « 25-décrire textuellement la simulation », ne font pas partie des objectifs de ce travail mais lui sont liées. La réalisation des statistiques à partir de graphes contextuels est l'objet de la thèse de H. Tahir (Tahir, 2013). L'activité 44 décrit le déroulement de la

simulation et l'activité 22 décrit la relance d'une simulation existante ou de la simulation en cours.

Apparition sur la page principale : L'accès à toutes les fonctionnalités du Consultant depuis la page principale se présente de la manière suivante (Figure 3.2).

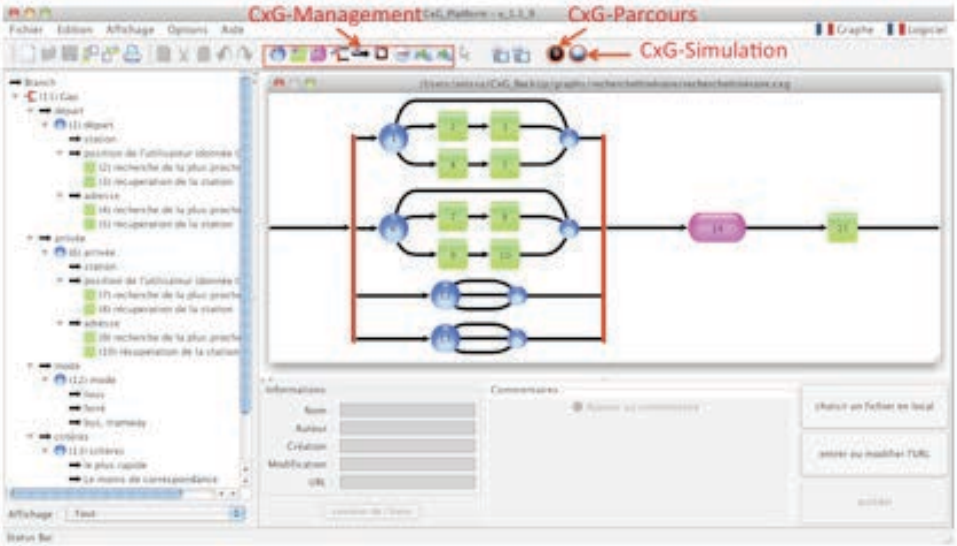


Figure 3.2 : Les trois principales fonctionnalités du consultant

La Figure 3.2 représente la fenêtre principale du Consultant sous la forme d'un tableau de bord manipulable par l'utilisateur. Cette fenêtre contient tous les outils nécessaires pour manipuler un graphe depuis sa création jusqu'au développement d'une pratique par simulation ou lecture du graphe contextuel pour expliquer le raisonnement et les variantes qui ont été abandonnées à chaque étape. Une grande partie de l'espace d'affichage de cette fenêtre est consacré à la visualisation du graphe contextuel sous forme graphique. La fenêtre de gauche donne une représentation arborescente des légendes du graphe contextuel.

Des boutons spécifiques de la fenêtre principale (dans la barre menu du haut dans la Figure 3.2) sont dédiés à la simulation et au parcours du graphe. Une fois une fonction du Consultant activée, d'autres fenêtres s'ouvrent tout en gardant la fenêtre principale accessible. L'effet de toute action réalisée sur le

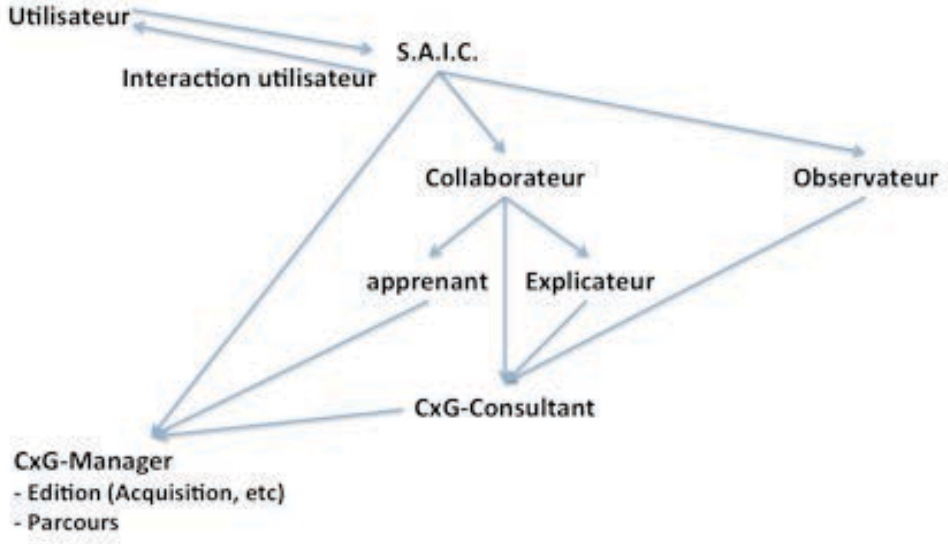
graphe contextuel dans une de ces fenêtres est visible dans toutes les autres fenêtres.

Nous allons maintenant décrire les différentes fonctionnalités du Consultant en commençant par distinguer les différents types d'utilisateur, ensuite l'authentification de l'utilisateur pour chacun et les types d'utilisation qui sont proposés. Nous poursuivons en décrivant le « browser » qui permet de parcourir un graphe contextuel. Nous continuons avec la fonctionnalité principale de notre système, le simulateur, en décrivant les sous-fonctionnalités. Nous abordons ensuite une fonctionnalité intéressante dans le domaine de la simulation qui est l'hybride entre la simulation et la lecture du graphe et nous finissons par les suggestions et la comparaison des pratiques qui ont été développées au cours d'une session.

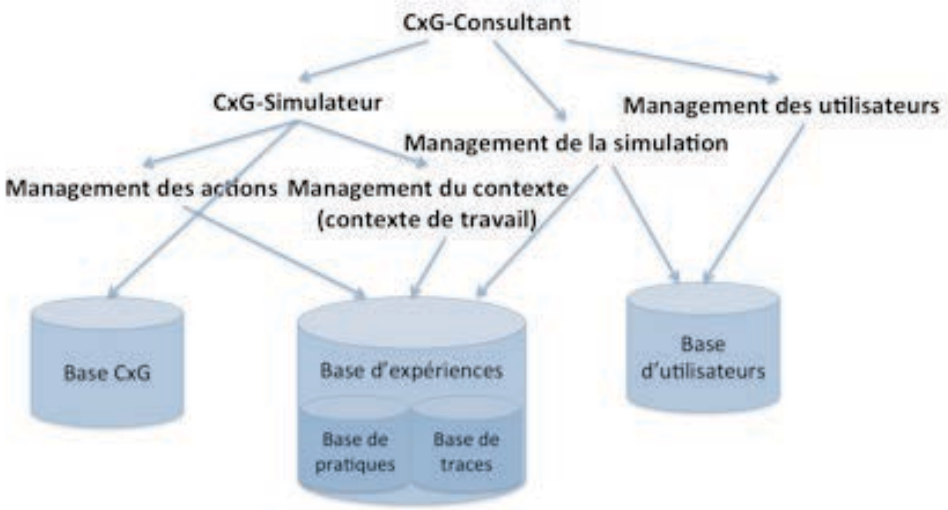
3.1.1. Architecture du Consultant

La Figure 3 présente une schématisation de l'architecture du SAIC (Brézillon et Aroua, 2013) dans lequel doit s'intégrer le Consultant en termes de rôle (Figure 3.3-a) et de fonctionnalités (Figure 3.3-b). L'interface à travers laquelle le SAIC interagit avec l'utilisateur permet au Consultant d'instancier les ECs au cours d'une simulation, d'interroger l'utilisateur en cas d'échec (ce qui lui permet d'enrichir sa base d'expérience) ou en cas de nécessité de prise de décision.

Dans la figure 3.3-b nous présentons les fonctions du Consultant et les liens qui existent entre ces fonctions et les différentes bases de données et de connaissances. Il existe 3 principales fonctions du Consultant : la simulation, l'analyse des résultats des simulations et une fonction classique pour tout système informatique, la gestion des utilisateurs. Le simulateur permet la réalisation d'une simulation basée sur les graphes contextuels.



(a) : Organisation en termes de rôles



(b) : Organisation en termes de fonctionnalités

Figure 3.3 : Architecture proposée pour les SAIC et le Consultant

Les graphes contextuels sont récupérés de la « base CxG », le résultat de la simulation est enregistré dans la « base d'expériences ». La base d'expériences contient les pratiques réalisées ainsi qu'une sous base, la « base de traces », où sont récupérés tous les événements liés à la manipulation de la simulation (par exemple, interruption de la simulation, retour en arrière dans la simulation, changement inattendu de contexte, etc.). L'outil de management de la simulation utilise la base d'expériences et la base d'utilisateurs afin d'étudier et analyser les connaissances qu'y existent

et tirer de nouvelles connaissances pouvant aider l'utilisateur dans sa prise de décision et avoir une vue synthétique des pratiques réalisées.

Le Consultant utilise la simulation pour suivre le développement de la pratique de l'utilisateur, où le nombre d'échanges est limité. Le Consultant peut profiter de ces simulations pour apprendre de nouvelles connaissances auprès de l'utilisateur et enrichir sa base d'expériences pour une utilisation future.

3.1.2. Interface avec l'utilisateur

Etre centré utilisateur suppose que le Consultant connaisse tout ce qui concerne l'utilisateur et ce qu'il fait ainsi que ses interactions avec le système. La gestion de l'utilisateur est donc une étape indispensable dans la conception du Consultant.

3.1.2.1. Types d'utilisateur

Le consultant distingue les utilisateurs par leurs profils/rôles, leurs objectifs et la façon dont ils utilisent les fonctionnalités du système. Nous distinguons trois principaux types d'utilisateurs, à savoir l'expert, le tuteur et le novice.

L'expert est la personne à contacter en cas de doute pour avoir son avis, c'est à partir de l'expert que sont développés et modifiés les graphes contextuels contenant les pratiques utilisées au quotidien par le simulateur pour répondre aux besoins des autres utilisateurs. Le Consultant permet à l'expert d'utiliser l'éditeur de graphe afin de créer ses propres graphes contextuels, simuler le développement d'une pratique dans un graphe contextuel. Il peut aussi analyser les pratiques réalisées par d'autres experts.

Le tuteur utilise le Consultant pour créer des graphes contextuels de test ou définir des contextes de travail particuliers pour permettre à l'apprenant de développer ses compétences. Le tueur peut accéder au fichier correspondant aux pratiques réalisées par les utilisateurs qui sont sous sa responsabilité et de comparer des pratiques prescrite et effective de l'apprenant. Il pourra

aussi travailler sur la trace de toutes les manipulations du Consultant faites par les apprenants sous sa direction à partir de la « base de trace» (détaillée après).

Le tuteur fourni au novice un exercice correspondant à une tâche donnée dans un contexte de travail imposé sur un objet particulier. Dans le projet MICO, le graphe contextuel décrit comment analyser l'image d'une lame numérique (l'objet) en vue d'identifier des mitoses (la tâche). Le tuteur connaît la pratique qu'il faut appliquer pour l'image donnée (la tâche prescrite à apprendre par l'apprenant), c'est celle qui servira de référence à la pratique développée par l'apprenant (la pratique effective). L'évaluation de l'apprenant se fera à partir de la comparaison des pratiques prescrite et effective.

Le tuteur est un rôle supplémentaire que peut jouer l'expert. Si un tuteur est forcément expert, tous les experts ne sont pas tuteurs. Le tuteur peut aussi jouer le rôle du novice. Ceci lui permettra de se mettre à la position du novice et être au courant des conditions d'utilisation du simulateur pour l'exercice qu'il a donné.

Le novice est celui qui réalise des simulations sur des graphes contextuels pré-créés, il ne peut pas modifier lui-même un graphe contextuel, et son utilisation du Consultant est limitée à la simulation. Par contre, il peut analyser ses pratiques et les comparer aux pratiques autorisées par le tuteur. Le novice possède les connaissances du domaine (la pathologie anatomique) mais ne possède pas les connaissances expertes pour les exploiter.

Le novice construit sa pratique (effective) en réalisant une simulation au cours de laquelle il devra répondre au simulateur afin d'instancier les éléments contextuels rencontrés et donc participer à la construction de la pratique avec le simulateur. Le tuteur compare la pratique prescrite et la pratique effective en mettant en évidence, éventuellement, les discordances qu'il notifie au novice.

3.1.2.2. Sur l'utilisation du Consultant

Chaque utilisateur ayant un compte, peut utiliser le consultant selon le rôle qui lui est attribué. Ainsi, il a la possibilité d'accéder aux fonctionnalités qui lui sont permises.

La communication entre les experts (quelque soit leur niveau d'expertise) est nécessaire pour l'amélioration de leur niveau de connaissances individuel ou pour regrouper les connaissances respectives afin de mieux résoudre un problème. Dans le projet MICO, si un expert a un doute sur un diagnostic, il peut faire appel à d'autres experts pour valider son diagnostic, ce qui permet d'avoir un meilleur diagnostic et par conséquence le traitement le plus approprié au malade. Il y a donc plusieurs raisons d'utiliser le Consultant : validations des pratiques par les expert, apprentissage pour les novices, test des compétences des étudiants/internes.

Le Consultant récupère les pratiques développées par les novices à la fin des simulations ainsi que leur comparaison avec la pratique prescrite par le tuteur. Si le résultat de la comparaison ne satisfait pas le tuteur, celui-ci peut alors décider d'ajouter des explications aux éléments du graphe (dans la partie « commentaires ») afin de mieux guider le novice lors de ses prochaines simulations. Ensuite, le Consultant peut proposer une nouvelle fois au novice la même simulation afin de vérifier si les instructions données par le tuteur ont été bien assimilées.

3.1.2.3. L'authentification

L'authentification permet de donner aux utilisateurs des droits d'accès et de modification correspondant à leur position. Certaines parties seront inaccessibles pour le novice, l'expert aura tous les droits et le tuteur a, en plus, la possibilité de s'authentifier comme un novice pour voir les limites de sa manipulation pour consulter la trace de la simulation faite par le novice.

Le compte « administrateur » est une authentification spéciale permettant de résoudre des problèmes techniques ou la modification de certaines fonctionnalités suite à la demande de l'utilisateur.

Figure 3.4 : Fenêtre « authentification »

L'authentification se fait concrètement en introduisant l'identifiant que le système vérifie dans sa base de données (on peut utiliser le formalisme CxG comme base de données ou bien une base de données classique ou un simple fichier « profil utilisateurs »). Si l'identifiant existe parmi d'autres dans la base de données, l'utilisateur peut ainsi accéder à sa session. Si l'identifiant n'existe pas, un message d'erreur est communiqué et une nouvelle saisie est demandée.

- Une fenêtre d'authentification (Figure 3.4) est ouverte au lancement du consultant.
- Une authentification valide est suivie de l'accès au tableau de bord (interface principale) du consultant.
- La validation est vérifiée en cliquant sur le bouton « accéder ».
- Le consultant vérifie dans sa « base d'utilisateurs » l'existence du fichier correspondant au login saisi, ensuite il vérifie la correspondance du mot de passe avec le login c'est-à-dire il retrouve le mot de passe dans le fichier en question (Figure 3.5).
- Un message d'erreur est affiché si le login est invalide, ce qui veut dire l'utilisateur n'a pas de fiche qui l'identifie.
- Si le mot de passe est invalide, un autre message d'erreur est affiché alertant l'utilisateur de la non cohérence du mot de passe saisi. En cas d'oubli du mot de passe, l'utilisateur peut cliquer sur le bouton

« oublié », un e-mail est envoyé automatiquement au login introduit (l'e-mail est récupéré de sa fiche personnelle). Une fenêtre de confirmation de l'envoie de l'e-mail sera affichée.

- le bouton « contacter l'administrateur » permet d'afficher les coordonnées de l'administrateur afin que l'utilisateur puisse prendre contact avec lui pour une éventuelle suggestion ou réclamation, etc.
- le bouton « créer un compte » redirige l'utilisateur vers une fenêtre lui permettant de s'inscrire et avoir une « fiche utilisateur » en introduisant toute les informations requises pour une authentification valide.
    - Ces informations caractérisent l'utilisateur et seront utilisées en cas de besoin d'identification de l'utilisateur lors de sa manipulation du consultant (par exemple, le nom de l'utilisateur est conservé lors de l'enregistrement de la trace d'une simulation).
    - faire des statistiques par utilisateur où on aura besoin de certaines informations sur l'utilisateur tel que son rôle.

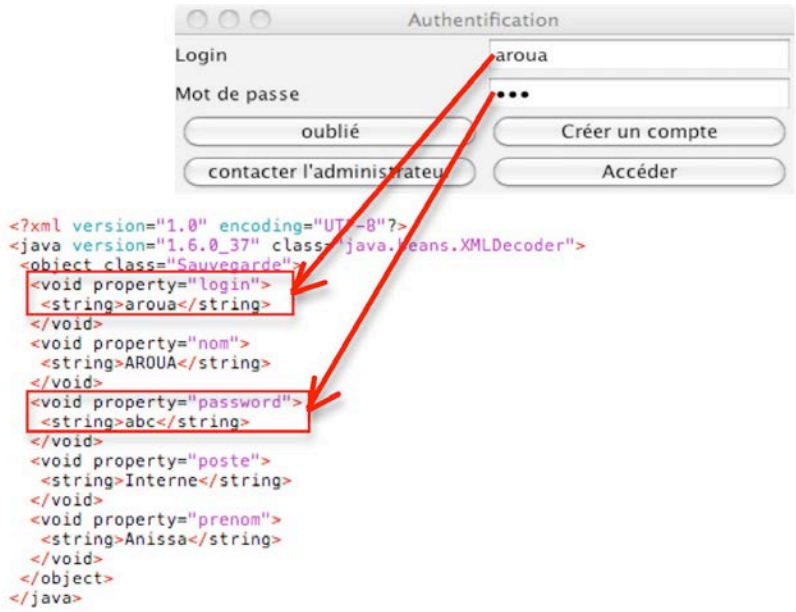


Figure 3.5 : Lien entre l'authentification et la fiche utilisateur

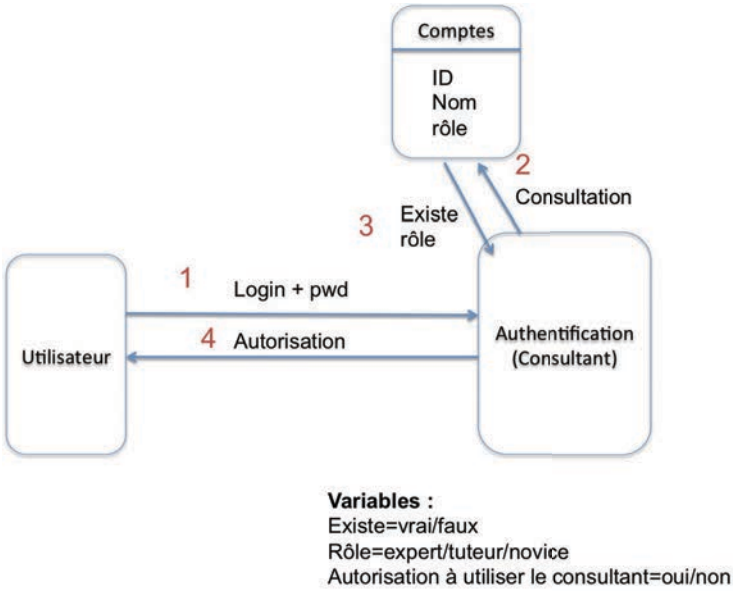


Figure 3.6 : Description du module d'authentification

La session est propre à un utilisateur, une interface est proposée avec le Consultant comprenant les fonctionnalités auxquelles il a droit. Toute manipulation faite dans le cadre de cette session est sauvegardée et accessible pendant toute la session. L'utilisateur peut rendre certains produits (résultat de simulation) visible à d'autres utilisateurs. Les informations de session sont conservées dans un profil de l'utilisateur (en général, un ensemble de variables).

L'ouverture de la session se fait suite à l'authentification. La fermeture d'une session engendre l'arrêt de la simulation en cours si elle existe. Les résultats des simulations sont sauvegardés et accessibles par le propriétaire de la session. A la réouverture de la même session, l'utilisateur aura la possibilité de les consulter.

Les droits d'accès sont gérés par le module administrateur qui définit les manipulations possibles pour l'utilisateur. Certains droits sont liés directement au types d'utilisateur (au niveau technique), ils sont systématiquement définis avec la réalisation du Consultant et prennent effet dès la création du compte et la première authentification, et d'autres sont personnalisables, là où intervient l'administrateur pour modifier les droits de

chaque utilisateur (au niveau technique, on pourra imaginer un module de gestion des droits d'accès consultable que par l'administrateur).

3.1.2.4. Création de compte

Pour utiliser le Consultant, chaque utilisateur doit créer un compte en introduisant des informations qui l'identifient et le distingueront des autres utilisateurs (chaque utilisateur a un identifiant unique). Ces informations permettent une première distinction entre les types d'utilisateurs. Le rôle de l'utilisateur est une information importante pour l'exploitation de l'historique de l'utilisation.

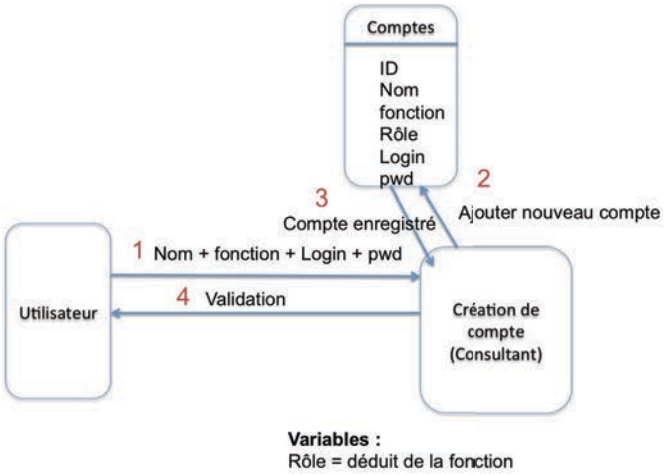


Figure 3.7 : Fonctionnement du module de création de compte

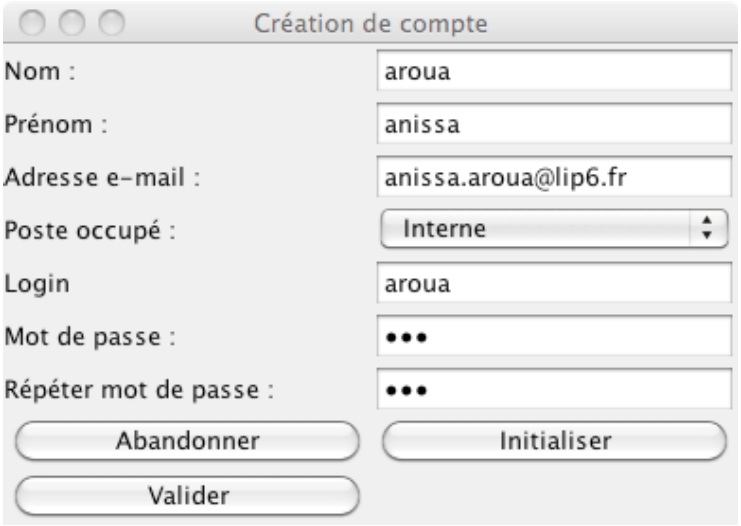


Figure 3.8 : Fenêtre de création de compte pour un utilisateur

- L'ajout d'un nouvel utilisateur se fait via le module « création de compte » (Figure 3.8).
- L'utilisateur est invité à remplir tous les champs.
- L'ajout d'un utilisateur se fait en cliquant sur le bouton « valider ».
- Un champ laissé vide par l'utilisateur génère un message d'erreur qui est affiché pour lui expliquer la cause de la non création du compte. (l'utilisateur doit remplir les champs vides).
- Une fois la validation faite, un fichier XML est créé correspondant à la « fiche utilisateur » (Figure 3.9).
- Le fichier XML est sauvegardé dans le dossier au nom de l'utilisateur.
- Le dossier de sauvegarde contiendra toutes les pratiques réalisées par l'utilisateur en question.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<java version="1.6.0_37" class="java.beans.XMLDecoder">
 <object class="Sauvegarde">
  <void property="login">
   <string>aroua</string>
  </void>
  <void property="nom">
   <string>AROUA</string>
  </void>
  <void property="password">
   <string>abc</string>
  </void>
  <void property="poste">
   <string>Interne</string>
  </void>
  <void property="prenom">
   <string>Anissa</string>
  </void>
 </object>
</java>
```

Figure 3.9 : Fichier XML correspondant à une fiche utilisateur

Apparition sur la page principale : fenêtre qui suit celle de l'authentification en cas de clic sur un bouton spécifique (le cas d'un nouvel utilisateur). La fenêtre ouvre sur un formulaire dont l'utilisateur doit remplir les champs.

3.1.3. Interface avec les graphes contextuels

Nous décrivons dans cette section des outils pouvant expliciter les pratiques telle qu'elles peuvent être représentées dans un graphe contextuel. Le développement d'une pratique dans un contexte donné correspond à un parcours dans le graphe contextuel.

3.1.3.1. Lecture du graphe

Le lecteur de graphes contextuels propose une présentation interactive d'un graphe contextuel à l'utilisateur. Un parcours du graphe correspond au développement d'une pratique sous la supervision de l'utilisateur. Ce type de simulation manuelle du développement d'une pratique revient à traverser un ensemble d'items reliés entre eux, dont des éléments contextuels pour lesquels il est nécessaire de connaître l'instanciation. Cette instanciation peut être connue à l'avance ou calculée, résulter de l'exécution d'une action ou plus généralement, demandée à l'utilisateur. Mais le plus intéressant pour l'utilisateur est de pouvoir explorer des alternatives à tout moment, revenir en arrière, changer l'instanciation d'un élément contextuel, etc. alors que le simulateur impose le déroulement de la pratique correspondant le mieux au contexte de travail.

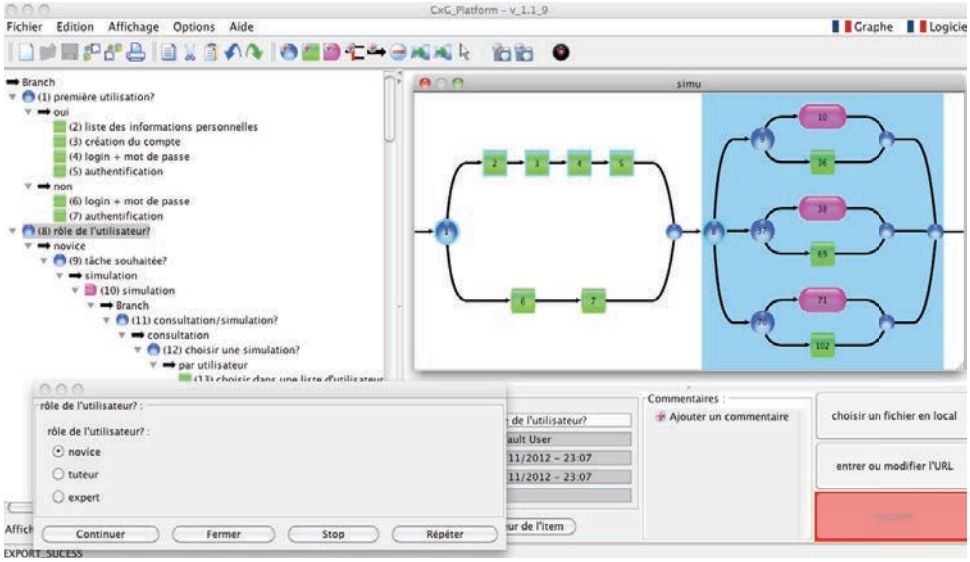


Figure 3.10 : Instanciation de l'EC « rôle de l'utilisateur »

A l'inverse, la progression sur un chemin du graphe contextuel est guidée par le simulateur. Il n'est donc pas possible de changer le décours de la simulation (mais cela relève du rôle du lecteur de graphe) soit un nouvel élément contextuel (par exemple, pour introduire une nouvelle pratique), soit d'ajouter une branche à un élément contextuel (pour introduire une nouvelle instanciation amenant à une alternative de la pratique existante

dans le graphe contextuel. La Figure 3.10 montre un exemple de pratique à demi-développée (les items traversés sont cerclés de bleu turquoise jusqu'à l'élément contextuel « rôle de l'utilisateur »). Les principales étapes sont :

- Le parcours est lancé par l'utilisateur suite à un clic sur le bouton simulation.
- La simulation peut être démarrée à tout instant sans aucun impact notable sur les autres fonctionnalités.
- En entrée, le simulateur part d'un graphe contextuel, et en sortie, fournit un chemin dans ce graphe (le chemin qui est défini dans un fichier associé au parcours).
- Une fenêtre assure l'interaction entre l'utilisateur et le simulateur dans laquelle les ECs sont traduits sous la forme de choix multiple (boutons radio dans la petite fenêtre en bas à gauche de la Figure 3.10).
- Chaque instanciation faite par l'utilisateur permet au simulateur de connaître la branche à suivre et donc d'avancer dans le développement de la pratique.
- Les actions sont lancées par le simulateur sans interaction avec l'utilisateur.
- Il est supposé qu'il n'y a aucune influence des actions sur les choix et le développement de la pratique.
- Les liens vers l'extérieur de la simulation (accès à une page web ou ouverture d'un document Word ou pdf) peuvent être attachées aux éléments du graphe et lancés suite à une confirmation de la part de l'utilisateur une fois arrivé à l'item en question.

3.1.3.2. Simulation

La simulation est une façon intelligente de « lire » un graphe contextuel. Elle gère tous les éléments du graphe et leurs impacts sur le développement de la pratique. Elle gère aussi les autres éléments externes au graphe qui assurent son bon déroulement tel que la gestion des instanciations dans le contexte de travail (cf. contexte de travail) et des éléments qui améliorent sa qualité tel que la gestion de la trace (cf. gestion de la trace).

Notre motivation dans la conception du simulateur est de fournir des connaissances synthétiques, de permettre un accès facile à ces connaissances et de les présenter sous une nouvelle forme intelligible. Ces connaissances sont le résultat de plusieurs manipulations des connaissances déjà décrites dans le graphe.

Le graphe contextuel correspond à un ensemble de pratiques structurées par les éléments contextuels qui permettent de résoudre un même problème. Comme ces pratiques correspondent à ce qu'a fait un utilisateur, un graphe contextuel est une sorte de base d'expériences (Brézillon, 2014). L'analyse d'un graphe contextuel correspond à la séparation cognitive des différentes pratiques possibles dans le graphe contextuel sur la base des contextes de travail où ont été développées ces pratiques. La simulation est un moyen de représenter simplement un processus de façon interactive et simple. Chaque simulation enrichit la base d'expériences, ce qui permet au Consultant d'être plus efficace la fois suivante.

3.1.3.2.1. Exemple introductif

Afin d'introduire la simulation et ses caractéristiques, prenons un exemple simple : la recherche des moyens de transport public nécessaires pour un déplacement à Paris d'un point A à un point B. L'exemple choisi est le module proposé par la RATP qui offre aux usagers la possibilité de trouver l'itinéraire correspondant au mieux à leurs exigences (le plus court, le plus rapide, pas de marche à pied, etc.). Le fonctionnement de cette fonctionnalité est décrit par le graphe contextuel donné dans la Figure 3.11.

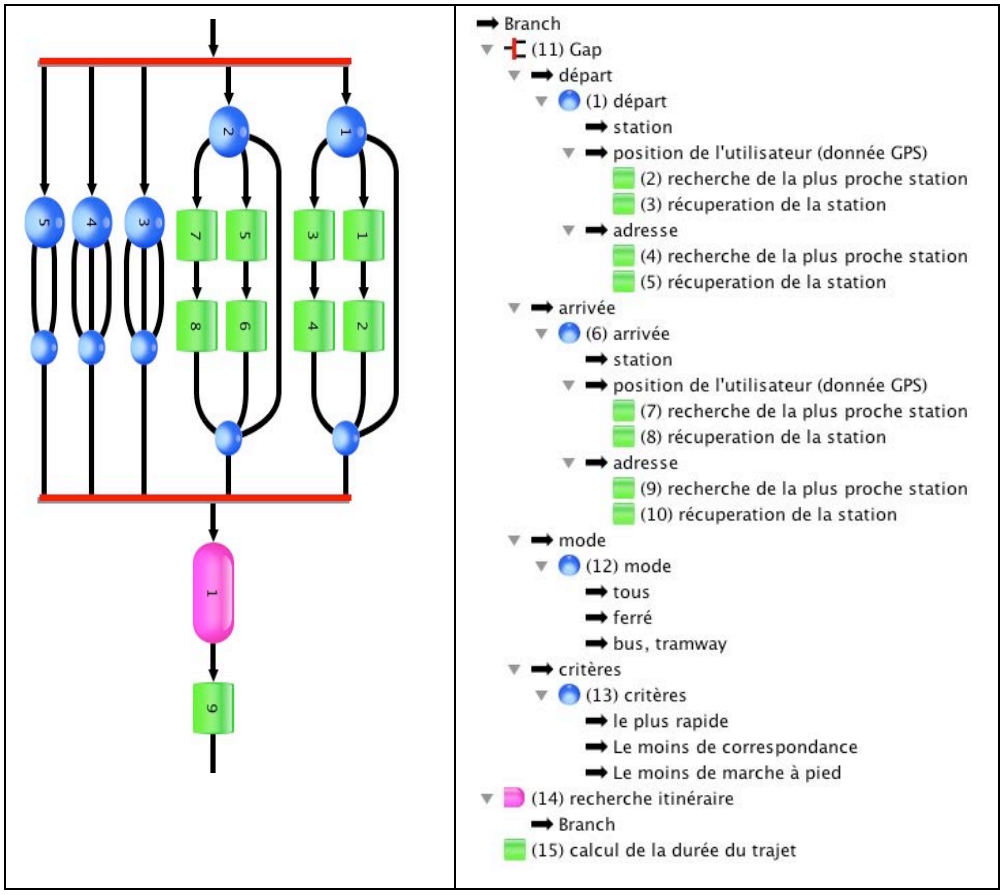


Figure 3.11 : Graphe contextuel de la recherche d'itinéraire à la RATP

Le graphe contextuel (Figure 3.11) décrit la recherche d'un itinéraire en transport en commun à Paris. Le premier élément du graphe est un branchement temporel décrivant le paramétrage de la recherche. Là, l'utilisateur défini son point de départ et sont point d'arrivée qui peuvent se mettre sous plusieurs formes (station, position, adresse) dont la recherche dépend. Il définit aussi ses préférences pour la recherche, à savoir le mode de transport (ferré, bus, à pied ou peu importe) et les critères de sélection (l'itinéraire le plus rapide, celui avec le moins de correspondance ou le moins de marche à pied). La météo est aussi un critère important pour le choix du moyen de transport (par exemple, s'il fait beau, l'utilisateur peut préférer prendre le bus et profiter de la vue sur Paris). Ces préférences dépendent de l'état de l'utilisateur (s'il est pressé ou non, s'il a des difficultés à marcher, etc.). Il s'agit donc bien d'une recherche d'itinéraire « centrée utilisateur ». Le branchement parallèle est intéressant quand

l'ordre des paramètres de recherche à saisir importe peu pour la recherche de l'itinéraire. Une fois tous les paramètres réunis, la recherche d'itinéraire est lancée puis la durée du trajet calculée.

3.1.3.2.2. Entrées / sorties du simulateur

Il est nécessaire de fournir le contexte de travail pour réaliser une simulation et récupérer le résultat de la simulation, et la manière dont ce résultat a été obtenu.

Entrées : Un graphe contextuel et un contexte de travail. Le contexte de travail contient tous les éléments contextuels du graphe, la liste de leurs valeurs et les instanciations connues de ces éléments contextuels. Comme le but de la simulation est de trouver un chemin dans le graphe, il n'est donc pas nécessaire de connaître a priori l'instanciation de tous les éléments contextuels car seuls ceux sur le (futur) chemin à prendre nous intéressent à l'inverse d'une simulation numérique qui demande la définition complète de l'état initial. Par contre, ceci implique que le simulateur doive tester en arrivant à un élément contextuel s'il connait sa valeur, et, dans la négative, demander à l'utilisateur de fournir cette valeur (l'instanciation dans le contexte de travail). Donc les entrées de la simulation vont être demandées tout au long de la simulation quand cela s'avère nécessaire.

Sorties : La fin de la simulation se produite lorsque le simulateur arrive au nœud final du graphe contextuel. Les sorties correspondent à l'identification de la pratique la plus adaptée au contexte de travail (un des chemins dans le graphe) et une réponse au problème posé (le graphe contextuel correspondant à toutes les solutions connues pour le problème). Il est à noter qu'il n'y a pas de réponse unique, la sortie « pas de solution » est tout à fait envisageable car toute solution trouvée correspond à un contexte donné. Par exemple, trois rois de France successifs ont eu la tâche « Révocation de l'Edit de Nantes » à résoudre, les deux premiers rois n'ayant pas eu le temps de la réaliser (suite à des guerres avec les pays voisins), c'est le troisième qui n'avait pas de guerre en cours qui a pu s'en occuper. Il y a également en

sortie d'autres informations statistiques sur l'usage du graphe, sur l'utilisation des pratiques, etc.

3.2. Niveau implémentation: management du Consultant

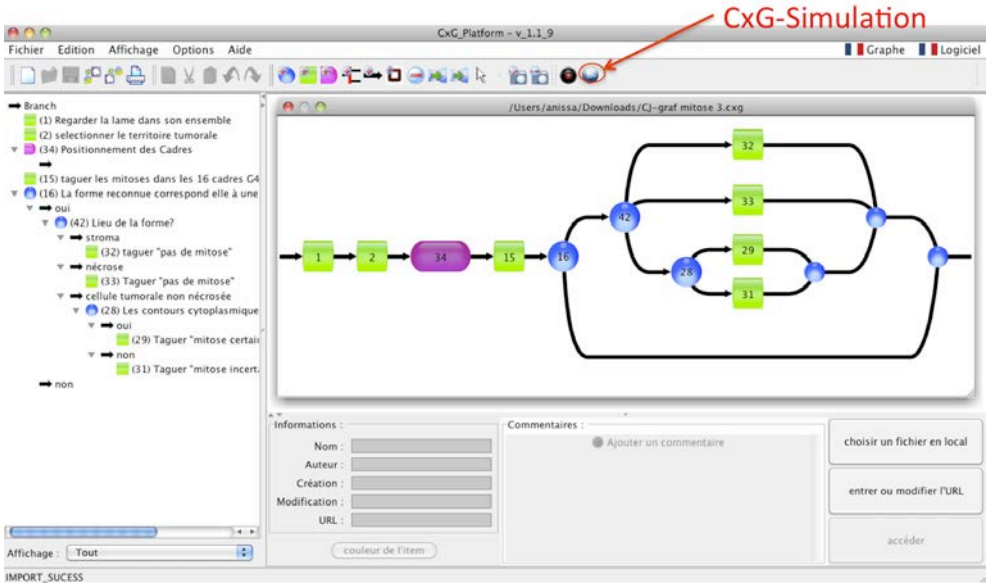
3.2.1. L'outil Simulation

3.2.1.1. Lancement de la simulation

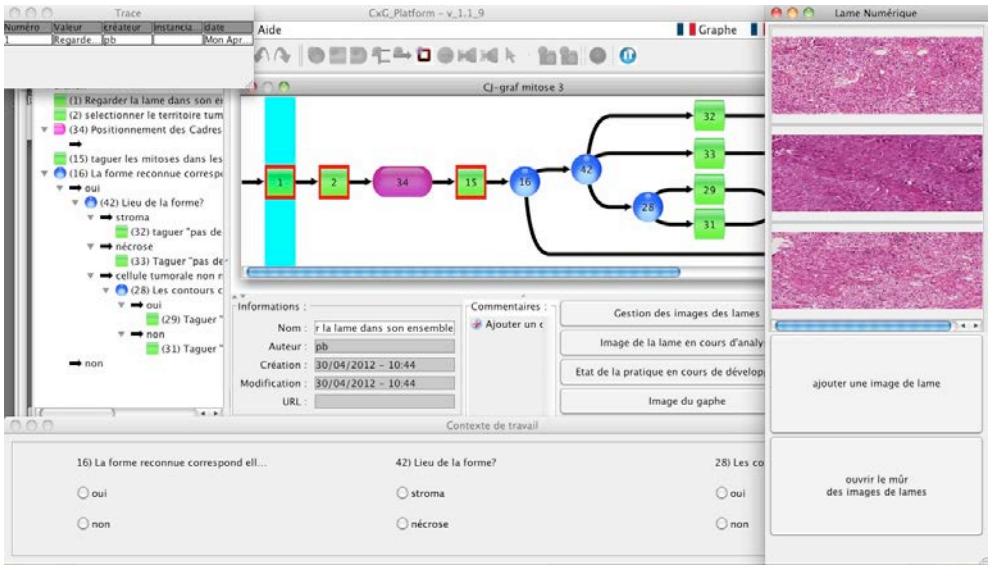
Le lancement de la simulation active le passage au mode simulation, ce qui implique l'activation d'un certain nombre de modules du Consultant qui sont nécessaires au fonctionnement de la simulation. Ces modules récoltent les instanciations et informent l'utilisateur sur la pertinence des choix (cf. gestion des évènements au cours de la simulation). Les modules du simulateur sont interdépendants, ce qui rend leur gestion compliquée et sensible.

L'activation de la simulation implique l'activation des liens entre les modules. Chaque module veille à la transmission de certains événements au Consultant qui agit selon les consignes qui lui ont été données au départ. Un évènement est une manipulation réalisée lors de la simulation. Le module tient compte de l'effet de l'évènement sur les composants qui lui sont liés.

Lorsque l'utilisateur clique sur le bouton lançant le simulateur sur la page principale (voir Figure 3.12.a), le Consultant va installer l'environnement de travail (voir Figure 3.12.b) avec trois fenêtres supplémentaires entourant le graphe contextuel : la fenêtre de la trace de la simulation (à gauche), la fenêtre de gestion des instanciations des éléments contextuels (en bas) et la fenêtre des images à analyser (à droite).



(a) : Avant le lancement de la simulation (CxG-Manager)



(b) : Après le lancement de la simulation

Figure 3.12 : Changement de fenêtres au lancement de la simulation

3.2.1.2. Initialisation de la simulation

Au démarrage d'une simulation, le Consultant instancie les éléments contextuels dont il a déjà la valeur et se met en état d'attente des instanciations futurs correspondant aux éléments contextuels non-instanciés. Le simulateur demandera la valeur d'un élément contextuel dès qu'il en rencontrera un non instancié. Rappelons qu'une instanciation définit la

pratique candidate la plus adaptée au contexte de travail. La Figure 3.13 représente un graphe contextuel avec les douze pratiques qui ont été enregistré dans le graphe contextuel. Au lancement de la simulation, il y a donc douze alternatives possibles (3 x 2 x 2 possibilités) sur les trois éléments contextuels.

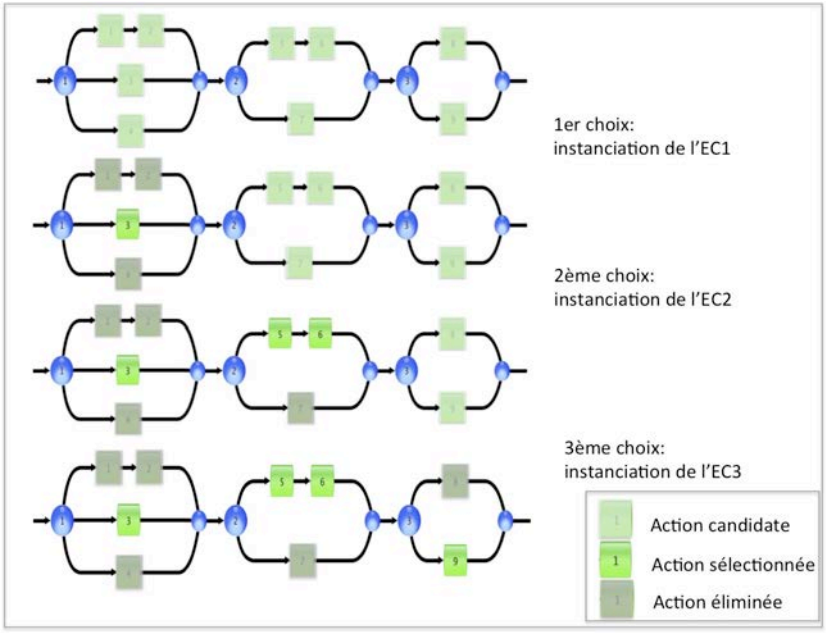


Figure 3.13 : Identification progressive d'une pratique

Pour un contexte de travail donné, il n'y a qu'une seule pratique qui sera finalement retenue. Cette pratique est développée après plusieurs étapes de la simulation. Ces étapes sont décrites par les instanciations des ECs.

A l'instanciation du premier élément contextuel, une des branches du premier élément contextuel est choisie et il ne reste plus que 4 (2 x 2) alternatives possibles, puis 2 à l'instanciation de l'élément contextuel suivant, puis finalement une à l'instanciation du dernier élément contextuel. Ici, la pratique correspond aux trois branches sélectionnées dans les éléments contextuels (branche du milieu dans le premier EC, supérieure dans le deuxième EC et branche inférieure dans le dernier EC).

L'initialisation de la simulation ne correspond pas à la définition classique qu'on attribue généralement à un simulateur, puisque, d'une part il n'est pas

nécessaire de connaître l'instanciation de tous les éléments contextuels du graphe (seule une partie sera traversée), et, d'autre part, certaines instanciations ne peuvent être connues qu'en cours de simulation (demande à l'utilisateur, instanciation dépendant du résultat d'une action).

L'initialisation est en partie à faire par l'utilisateur et en partie par le Consultant qui récupère directement des informations et des données qu'il a en sa possession. L'utilisateur fait des choix afin d'instancier certains ECs. Ces choix sont censés être sans effet sur le déroulement de la simulation, mais le Consultant vérifie leur faisabilité avant de valider l'initialisation (par exemple en fonction de ce qu'il s'attend à trouver sur les alternatives restantes).

Outre l'initialisation, l'utilisateur peut également paramétrer la simulation s'il le souhaite, par exemple avec des ressources externes à introduire au niveau des items du graphe contextuel pour dérouler la simulation.

3.2.1.3. Paramétrage de la simulation

Le paramétrage de la simulation sert à introduire des données complémentaires nécessaires au déroulement de la simulation selon les exigences de l'utilisateur, ces données sont définies par l'utilisateur pendant la simulation. Il concerne certaines propriétés du graphe contextuel tel que la répétition d'une partie du graphe (nous définissons la partie du graphe à répéter dans des activités dédiées). L'utilisateur doit spécifier les activités à répéter et le mode de répétition. Le mode de répétition peut être soit en prédéfinissant le nombre d'itérations soit manuellement en relançant l'activité à la fin de son exécution. Pour la répétition, une fenêtre s'ouvre au lancement de la simulation contenant la liste des activités avec une liste de choix du mode de répétition ainsi que son paramétrage. Une fois les choix faits, la simulation prendra en compte ces paramètres.

3.2.1.4. Gestion de la trace

La trace est la description des événements qui surviennent lors de la simulation, comme les items traversés. Elle est exploitée par ailleurs pour

améliorer la qualité des simulations futures. Par exemple, lorsque l'utilisateur doit instancier un élément contextuel, le simulateur peut lui faire des suggestions sur les solutions les plus intéressantes en se basant sur le poids des branches. Le poids est calculé selon plusieurs indicateurs tel que le nombre d'utilisations de la branche, le temps qu'occupera la branche (le temps pris par l'exécution des actions sur la branche) et aussi en se basant sur les propriété des actions (cf. gestion des propriétés des actions).

La trace d'une simulation est enregistrée dans un fichier XML « trace.xml » qui :

- est alimenté au fur et à mesure de la simulation,
- contient toute action réalisée au cours de la simulation, il garde trace de l'instant de la réalisation de l'action,
- peut être réutilisée par le Consultant pour une future simulation ou utilisée immédiatement par l'utilisateur pour une meilleure prise de décision (effective, en dehors de la simulation) et une meilleure évaluation de la pratique choisie,
- alimente la base d'expériences du consultant en récupérant (ou créant) depuis ce fichier de nouvelles connaissances qui améliorent la qualité des simulations futures,
- est présentée dans une fenêtre récapitulant l'historique de la simulation, affiche toutes les informations synthétiques de la simulation.

3.2.1.5. Le cycle de vie du consultant

La simulation fait partie d'une itération du cycle de vie du Consultant. Ce dernier englobe la simulation, ses prétraitements et ses post-traitements. Le prétraitement consiste en la construction ou l'enrichissement du modèle. Le post-traitement se résume dans l'analyse des résultats de la simulation.

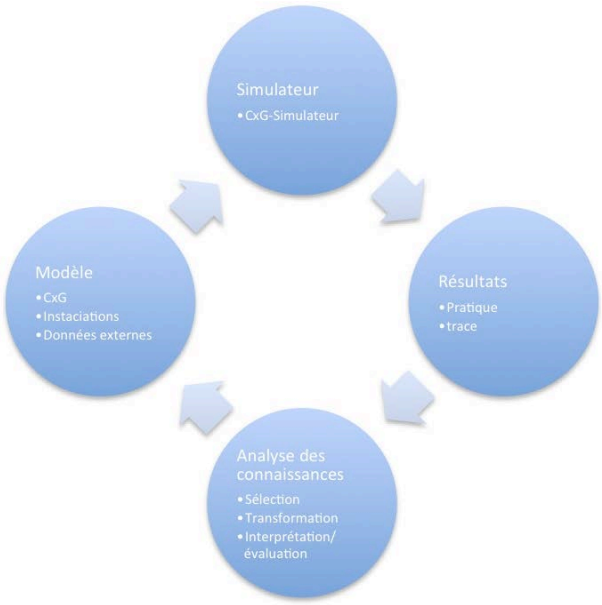


Figure 3.14 : Cycle de vie du consultant

Les 4 composants du cycle de vie du consultant (figure 3.14) sont :

- Les Modèles. Le graphe contextuel décrit le raisonnement humain tenu lors de la réalisation d'une tâche (résoudre un problème) ou d'un diagnostic. En ce sens, un graphe contextuel représente le modèle de la réalisation de la tâche, et, comme il y a plusieurs pratiques possible selon le contexte de travail, on peut dire que la simulation correspond à l'élaboration d'un modèle spécifique de la réalisation de la tâche dans un contexte donné (Brézillon, 2014). Cette observation est très proche du travail fait par Clancey (1992b) sur les « Situation-Specific Models » qui montre qu'un diagnostic revient à développer un modèle du système dans l'état courant de défaillance où il est.
- Le simulateur. Permet la construction pas à pas de la pratique, ou la construction progressive de la pratique en tant modèle de la décision qui est prise.
- Le résultat. Une fois construite, la pratique et sa conclusion constituent la principale composante du résultat. L'autre élément du résultat est la trace de la simulation (toute action réalisée dès le lancement de la simulation jusqu'à son arrêt). La trace est composée principalement des actions réalisées lors de la simulation (sélection/désélection des éléments du

graphe, etc.) ainsi que le moment de leur réalisation. Cette trace permet de reconstruire le comportement de l'utilisateur face au simulateur.

- Réutilisation des résultats. Les résultats peuvent être utilisés de façon directe (la pratique ajoutée à la base d'expériences avec sa solution) ou indirecte (enrichissement éventuel du graphe contextuel suite à la mise en évidence d'une incomplétude). Une autre utilisation indirecte des résultats est la comparaison de pratiques décrite plus loin et la réalisation de statistiques en exploitant la trace.

A une itération « n » du cycle, une nouvelle simulation (simulation_n) est réalisée sur un modèle qui a évolué depuis l'itération précédente (modèle-n). Cette simulation est réalisée dans un nouveau contexte ce qui implique de nouveaux résultats (résultat_n). Ces résultats sont analysés et de nouvelles connaissances sont construites et introduites dans le modèle (connaissances_n). A l'itération suivante (itèration_n+1), le modèle utilisé est un modèle enrichi (modèle_n+1) et ainsi de suite. Une itération est liée à l'enrichissement de la base d'expériences et éventuellement du graphe contextuel. Pour la nouvelle simulation, le Consultant se base sur le graphe contextuel enrichi et utilise les connaissances réunies lors des anciennes simulations (enregistrées dans la base d'expériences) afin de proposer des solutions meilleures.

Le simulateur travaille sur le graphe contextuel et le contexte de travail pour initialiser la simulation. Si des ressources externes sont associées à des items du graphe contextuel, le Consultant les récupère pour les rappeler ultérieurement si besoin et va traiter leurs impacts sur la simulation.

Le Consultant enregistre à chaque interaction entre l'utilisateur et le simulateur la trace de la manipulation dans la base de trace. Si la manipulation est l'instanciation d'un EC, il enregistre l'instanciation dans le contexte de travail correspondant à la pratique.

A la fin de la simulation, toutes les informations concernant la pratique et la simulation sont enregistrées et traitées pour améliorer les simulations suivantes sur le même graphe.

3.2.1.6. Déroulement de la simulation

Le déroulement de la simulation correspond à la mise en œuvre de la réalisation de la tâche (la construction de la pratique). Le Simulateur est responsable du déroulement de la simulation et de l'instanciation des éléments contextuels encore non instanciés qui vont être rencontrés au cours de la simulation. Dans cette étape de la simulation, l'utilisateur est aidé par le Consultant qui peut lui proposer les meilleurs choix à faire, et l'alerter des conséquences de certains choix. Si l'instanciation d'un élément du graphe contextuel est connue du simulateur (donc, dans le contexte de travail) sa valeur sera directement attribuée à cet élément contextuel. Le choix de la branche et les actions exécutées sur cette branche se fera automatiquement.

Le Consultant suit l'utilisateur tout au long du développement de sa pratique. Il présente à l'utilisateur les ECs qui sont rencontrés sur le chemin suivi et qui doivent être instanciés au fur et à mesure du développement de la pratique. Les règles de dépendance entre les éléments sont définies dans le graphe contextuel et présentées à l'utilisateur. Le Consultant doit gérer les différents items du graphe contextuel selon leurs caractéristiques et les contraintes imposées par le graphe contextuel. Par exemple, il ne cherchera pas à instancier un EC qui se trouve sur une branche qu'il n'a aucune chance d'atteindre, ou encore il peut proposer à l'utilisateur l'instanciation la plus souvent choisie pour un élément contextuel en fonction des possibilités de modification découlant de l'exécution d'une action, et des résultats fournis par le module de statistiques (Tahir, 2013). De plus, le Consultant doit mettre à jour le contexte de travail (voir la section sur le contexte de travail) jusqu'à la fin de la construction de la pratique.

Parmi les fonctionnalités qu'offre le Consultant se trouvent :

- la collecte des instanciations,

- la mise à jour du contexte de travail,
- la gestion des éléments contextuels,
- la gestion des actions,
- la gestion des activités,
- la gestion des évènements.

Dans la suite, nous décrivons les fonctionnalités du Consultant qui interviennent lors du déroulement de la simulation.

3.2.1.6.1. La gestion du contexte de travail

Le contexte de travail est l'ensemble des éléments contextuels contenus dans le graphe contextuel et leurs instanciations au moment de la simulation. Si l'instanciation d'un EC n'est pas connue lorsque le simulateur arrive à cet EC, le Consultant arrête la simulation et demande à l'utilisateur quelle valeur doit servir d'instanciation à l'EC à ce moment précis. Le management du contexte de travail consiste à gérer les interactions avec les utilisateurs ainsi que les changements d'instanciation dû à l'exécution d'actions (par exemple, application d'une application extérieure), et les informations reçues de sources externes (occurrence d'un événement imprévu). Ces changements du contexte de travail sont le reflet d'événements qui peuvent modifier le déroulement de la simulation (voire l'arrêter). La gestion temps réel de ce contexte de travail est essentielle pour l'analyse de la trace de la simulation ultérieurement.

3.2.1.6.2. Gestion des éléments contextuels

Les éléments contextuels représentent un questionnement sur les informations à propos de l'état courant du monde au moment où se pose la question (quelle est la valeur à choisir comme instanciation de l'élément contextuel considéré). C'est aussi dans le contexte de travail que se manifeste l'apparition d'événements extérieurs. Il s'agit donc d'informations qui ne peuvent pas toujours être recueillies a priori.

Au niveau du graphe contextuel, il s'agit de connaître quel chemin choisir dans le contexte courant c'est-à-dire quelle est la meilleure pratique à appliquer dans le contexte dans lequel on est). En arrivant à un élément contextuel, le consultant cherche son instanciation dans le contexte de travail pour sélectionner la bonne action à exécuter. Un management « temps réel » du contexte de travail est donc essentiel dans le développement progressif de la pratique.

Le contexte de travail évolue suite aux événements rencontrés lors du déroulement de la simulation et de la construction de la pratique. L'état instantané du contexte de travail est présenté à l'utilisateur au cours de la simulation, pour qu'il puisse éventuellement modifier l'état du contexte de travail (en tant qu'événement externe imprévu).

Lors d'une simulation, l'instanciation d'un élément contextuel peut être contrainte par un événement externe ou interne. L'événement externe correspond à un événement imprévu non représenté dans le graphe contextuel tel que l'évènement « arrêt de la simulation » (voir la section sur la gestion des événements). Un événement interne se produit suite à la réalisation d'une action ou une activité dans le graphe contextuel. Il y a alors changement du contexte de travail. Si l'instanciation concerne un élément contextuel déjà évoqué/instancié, le consultant doit décider de la suite à donner à la simulation. Si l'instanciation concerne un élément contextuel qui n'a pas encore été rencontré, le consultant peut continuer sa simulation et progresser dans le graphe contextuel. Dans le cas d'une activité devant être répétée, le consultant devra interagir, si besoin, avec l'utilisateur pour prendre une décision sur la stratégie à appliquer. L'utilisateur peut alors préciser les paramètres relatifs à la boucle tel que le nombre de répétitions ou la condition d'arrêt de la boucle.

Dan l'exemple précédent de la recherche d'itinéraire à la RATP, si l'utilisateur instancie l'EC (départ) avec la valeur « station », l'utilisateur spécifie le nom d'une station (« Montparnasse-Bienvenue » par exemple).

L’instanciation de l’EC « départ » est alors ajouté au contexte de travail. L’utilisateur instancie par la suite le deuxième EC (arrivée) avec la valeur « station », spécifie le nom de la station (« Oberkampf» par exemple), et choisit comme critères le mode « ferré » et « le plus rapide ». Toutes ces données sont introduites dès que connues dans le contexte de travail et ainsi le Consultant peut réaliser l’activité « recherche l’itinéraire ». Le résultat de la pratique proposée à l’utilisateur est de prendre la ligne 4 puis la ligne 9 en changeant de ligne à la station « Strasbourg-Saint-Denis ». Ensuite, le consultant peut instancier la valeur de la « durée du trajet » à « 25 minutes » compte tenu de l’heure à laquelle doit se faire le trajet.

La sélection et la désélection des ECs sont contrôlées par l’utilisateur, ce qui implique la modification de la pratique en développement (dans le fichier associé à la pratique). Il est à noter que le consultant garde trace de cette modification (dans le fichier correspondant à la trace).

3.2.1.6.3. Gestion des actions

La simple lecture d’un graphe contextuel, comme décrit précédemment, ne requiert pas que l’exécution des actions impacte le développement de la pratique car cette exécution s’effectue à une granularité plus fine. Dans une simulation, le Consultant doit disposer d'un module de management des actions pour prendre en compte les conséquences de l'exécution d'actions, comme le changement d’instanciation de EC comme discuté dans la section précédente, mais aussi la durée de l’exécution de l’action qui impacte le déroulement de la simulation. Le simulateur basé sur les graphes contextuels doit prendre en compte les effets de l'exécution de l'action sur le développement de la pratique (par exemple, la durée de l’exécution d'un programme externe ou l’attente de l’accès à des ressources externes). Selon les retours de l'action (un arrêt, un changement de contexte, etc.), le simulateur décide de poursuivre la simulation ou de proposer des solution à valider par l’utilisateur.

Dans un premier temps, le consultant doit déterminer si l'action est passive ou active. Une action passive fournit uniquement des informations (quelque chose à noter) et n'a pas de conséquence sur la simulation. L'exécution d'une action active est déclenchée par le Consultant et l'impact de l'exécution de l'action dû à des moyens externes au développement de la pratique peut aller jusqu'à une remise en cause de la poursuite de la simulation (par exemple l'indisponibilité d'une ressource externe).

Une action active est associée à un ensemble de propriétés « superficielles » tel que sa durée (mais on ne s'intéresse pas à ce que fait réellement l'action). Ces propriétés, définies lors de la création du graphe contextuel, peuvent influencer certains choix si l'action est exécutée. Dans l'exemple de la Figure 3.15 ci-dessous, l'utilisateur doit instancier l'EC-1 et donc choisir entre la branche B1 et B2. Supposons que l'action A4 est une action active dont l'exécution ralentit la traversée de la branche B2 sur laquelle elle est placée (la ramenant à un temps d'exécution supérieur à celui de la branche B1) et que la tâche principale doit être réalisée dans un temps minimal dans ce contexte précis, alors l'utilisateur peut être amené à choisir la branche B1 et exécuter les actions A2 et A3. Une action active peut contraindre le développement de la pratique si elle est directement liée à certains ECs, autrement dit si les choix qui sont fait ou à faire dépendent de cette action. Si ce n'est pas le cas, elle n'influe pas le déroulement de la simulation et par conséquence elle est considérée comme une action passive.

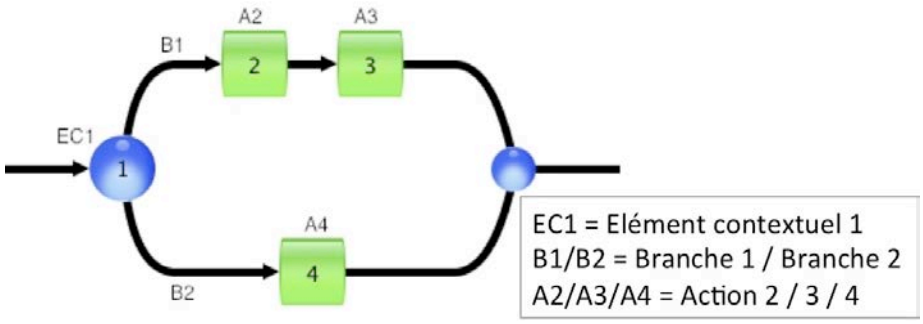


Figure 3.15 : Effet d'une action sur le cours de la pratique

Nous modélisons les résultats de l'exécution de l'action à partir de caractéristiques telles que la durée, l'effet, la dépendance à d'autres actions, la dépendance à d'autres acteurs, la conséquence pour la simulation. Nous représentons ces caractéristiques et leurs effets sur le développement de la pratique dans un graphe contextuel que le consultant contrôlera de la même façon que la base d'expérience correspondant au domaine l'application.

Les activités (assimilées à des actions complexes) sont des sous graphes en eux-mêmes et donc traités comme tels au cours de la simulation. En fait dans une simulation toutes les activités sont remplacées par leur contenu, mais il reste possible de suivre de manière indépendante du graphe contextuel principal quel chemin est pris à l'intérieur d'une activité.

3.2.1.6.5. Algorithme du traitement de la simulation

Chargement du graphe
Tant que le mode simulation est actif faire
  Si nœud est choisi
    //Vérifier que tous les nœuds précédant sont instanciés
    Pour chaque nœud entre la racine et le nœud choisi faire
      Si nœud est déjà instancié faire
        Passer au nœud suivant
      Sinon
        Pointer l'élément à instancier (message d'information)
    Fin pour
        Si nœud choisi est une action alors
          Instancier toutes les actions qui sont sur la même branche
          Mettre à jour le fichier XML correspondant à la simulation en cours (avec toutes les actions instanciées).
          Affichage de l'instanciation (entourer en « bleu cyan » les actions instanciées).
    Fin si
    Si nœud choisi est un élément contextuel faire
      Autoriser le choix de la branche
          //Vérifier qu'il n'existe pas une branche déjà instancié
      Pour chaque branche de l'élément contextuel faire
        Si branche est déjà instanciée faire
            Demander à l'utilisateur de valider son choix ou
            d'y renoncer (message oui/non)

Sortir de la boucle
Fin si
Fin pour
Fin si
Fin si
Fin tant que

3.2.1.7. Récapitulatif des résultats de la simulation

La fin de la simulation correspond à l'instanciation de tous les ECs qui constituent une pratique et à la sorti du graphe contextuel par le dernier item. Une fois la simulation finie, un récapitulatif de cette simulation est présenté à l'utilisateur et la pratique correspondante est ajoutée à la base d'expérience.

Le récapitulatif est la trace de la simulation, il englobe tous ce qui a été fait lors de la simulation (retrace le parcours fait par l'utilisateur tout au long de la simulation ainsi que toutes les interventions qui ont pu être réalisées). Il contient le chemin suivi lors du développement de la pratique, les connaissances nouvelles sauvegardées, les détails de la simulation qui correspondent aux actions réalisées par l'utilisateur au cours de la simulation. L'action peut être un changement de direction du raisonnement, un arrêt de la simulation et une reprise dans un nouveau contexte de travail, etc. Ces informations sur la simulation permettent, par exemple, au tuteur d'évaluer les compétences d'un novice en récupérant le chemin qu'il a choisi, où il s'est bloqué, à quel niveau il est revenu en arrière dans la simulation et a changé de branche, etc.

Ces informations sont réunies par le Consultant au fur et à mesure de l'avancement dans la simulation, et enregistrées dans des fichiers contenant la pratique (voir section sur le déroulement de la simulation) et la trace (voir section sur la gestion de la trace). Ces fichiers font partie de la base d'expériences. Les informations récoltées sont utilisées à titre informatif pour l'utilisateur ou pour améliorer la qualité des simulations futures.

Le récapitulatif est récupéré et sauvegardé en tant qu'aperçu du graphe avec une mise en évidence du chemin choisi, la liste des actions réalisées et des

éléments contextuels évoqués, la liste des évènements survenus lors de la simulation (arrêt, retour en arrière, etc.), et la liste des instanciations.

A la fin de la simulation, l'utilisateur peut exporter ce résultat dans sa machine en vu d'une consultation future. Le récapitulatif peut être utilisé pour une analyse manuel ou automatique du comportement de l'utilisateur. Le chemin choisi peut être comparé avec d'autres chemins utilisés par d'autres utilisateurs (de diffèrent prérequis).

Plusieurs types de fichiers sont mis à la disposition de l'utilisateur (PDF, Txt, etc.). L'exploitation du résultat de la simulation par le consultant ouvre des perspectives à notre travail, comme discuté dans la section suivante.

3.2.1.8. Précisions techniques concernant la simulation

Dès le lancement de la simulation, deux fichiers XML appelés « pratique.xml » et « trace.xml » sont créés et ensuite mis à jour tout au long du déroulement de la simulation. Le fichier « pratique_n.xml » contient l'évolution dans la construction de la pratique relative à la n^{ème} simulation. Nous donnons ici à titre d'exemple le code :

```xml
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="no"?>
<simulation>
    <contextualNode>départ
        <response>position de l'utilisateur (donnée GPS)</response>
        <actionNode>récuperation de la station</actionNode>
        <actionNode>recherche de la plus proche station</actionNode>
    </contextualNode>
    <contextualNode>arrivée
        <response>position de l'utilisateur (donnée GPS)</response>
        <actionNode>récuperation de la station</actionNode>
        <actionNode>recherche de la plus proche station</actionNode>
    </contextualNode>
    <actionNode>calcul de la durée du trajet</actionNode>
</simulation>
```

Le fichier « trace_n.xml » contient toute action réalisée au cours de la n^{ème} simulation.

3.2.2. Management des simulations

3.2.2.1. Gestion des évènements : Arrêts de la simulation

Il y a quatre types d'arrêt de la simulation : la sortie normale du graphe, un arrêt demandé par l'utilisateur, le déclenchement d'une action « stop » sur le chemin suivi dans le graphe ou un arrêt suite à un disfonctionnement de l'exécution de l'URL rattaché a un élément du graphe. L'arrêt peut être définitif (comme l'action stop), ce qui implique la fermeture de la simulation et le retour du simulateur à son état initial, ou temporaire (comme une pause dans le déroulement de la simulation) avec l'idée de reprendre la simulation à ce point précis une fois une autre tâche accomplie. Cette pause permet à l'utilisateur de réaliser des tâches en dehors de la simulation, par exemple, revoir le graphe tel qu'il est construit ou étudier une alternative abandonnée.

Les causes de l'arrêt peuvent être:

- Pour parcourir une partie du graphe pour étudier les alternatives possibles et tester différentes hypothèses. Cette action est considérée comme une simple pause de la simulation car il n'y a pas de modification de fond qui impacte la simulation.
- Le besoin d'informations supplémentaires ou la recherche explications, ceci n'agit pas sur la simulation et est donc considéré comme une pause.
- La construction de la pratique et la fin de la simulation qui permet de revenir à l'état initial du Consultant.

L'arrêt définitif est causé par un événement empêchant la poursuite de la simulation. Il peut s'agir d'un évènement imprévu comme le manque de ressources pour la réalisation d'une action ou bien d'un événement attendu et exprimé par l'action « stop » dans le graphe. L'arrêt définitif a pour conséquences la suppression de la trace de la simulation en cours.

L'arrêt momentané (ou pause) est une action volontaire de la part de l'utilisateur qui met le simulateur en pause jusqu'à nouvel ordre. Le Consultant garde une copie des échanges à cet instant (voir la section

« récapitulatif ») entre l'utilisateur et le simulateur. Une fois que l'utilisateur reprend la simulation, la simulation est reprise exactement au même point (il n'est pas possible de rejouer une partie du chemin déjà développé car ceci demanderait de reprendre toute la simulation). Par contre, si l'utilisateur a modifié le graphe contextuel durant cette pause sur une partie non encore traversée, cette modification sera prise en compte quand la simulation reprendra.

La pause peut être :

- sans raison particulière (aucune action dans le consultant) et par conséquence aucun traitement particulier n'est à prévoir (par exemple, l'utilisateur arrête la simulation pour réaliser une autre tâche en dehors du simulateur tel que le parcours d'une partie du graphe et revenir ensuite à la simulation en cours),
- avec une raison précise sans impact sur le déroulement de la simulation (par exemple, l'utilisateur ajoute un élément sur une branche pas encore instanciée du graphe), ou
- avec une raison précise qui va impacter le déroulement de la simulation (par exemple, l'utilisateur ajoute un élément sur une branche déjà instanciée pour la simulation en cours) dans ce cas un traitement particulier est à prévoir.

Lorsque la raison de la pause « modification dans le graphe » n'a pas d'impact sur le déroulement de la simulation en cours (par exemple, la modification est faite sur la partie de la simulation qui n'est pas encore traitée), l'utilisateur est alors autorisé à réaliser cette manipulation. Dans le cas contraire, l'utilisateur est averti et aura le choix entre valider la modification et perdre la trace de la simulation en cours, annuler la modification et poursuivre la simulation, ou opter pour que la modification soit prise en compte qu'à partir de la prochaine simulation.

Une autre raison de faire une pause est de tester l'impact des alternatives possible sur le choix du chemin choisi dans le graphe contextuel. On appelle

cette fonctionnalité « hybride simulation-parcours ». Elle a pour but de permettre à l'utilisateur d'avoir plus de flexibilité en combinant deux fonctionnalités du consultant, la simulation et la lecture du graphe contextuel. Elle est aussi liée à la fonctionnalité « pause ».

L'utilisateur peut à tout moment arrêter la simulation et poursuivre en lecture seule du graphe contextuel afin d'étudier les alternatives possibles et par la suite revenir à la simulation. Cette suite d'actions peut être répétée plusieurs fois lors d'une même simulation mais il est à noter qu'il faut toujours commencer et finir au même point d'arrêt de la simulation. Ce type de fonctionnalité n'existe pas dans les modèles de simulation de base. C'est une nouveauté dans le domaine de la simulation basé sur les graphes contextuels.

Nous avons ajouté une action « stop » permettant d'arrêter la simulation ou la lecture de graphe à tout instant. L'action « stop » est utile dans deux cas : (1) l'arrêt inconditionnel de la simulation (ou de la lecture) du graphe, cette action est ajoutée volontairement par le créateur du graphe ; et (2) la spécification de la fin d'une activité (éventuellement la sortie du graphe). Au point de vue représentation des connaissances, le graphe contextuel peut être décrit plus simplement puisqu'il n'est plus nécessaire d'ajouter des connaissances de contrôle comme un EC « Poursuivre la simulation ? » avec les valeurs oui et non et une branche vide pour atteindre la fin du graphe. Par contre, on s'éloigne ainsi des graphes séries-parallèle (un graphe contextuel peut alors avoir plusieurs sorties) qui n'autorisent qu'une entrée et une sortie.

3.2.2.2. Gestion de l'historique / la base d'expériences

Lors du déroulement de la simulation, plusieurs actions sont exécutées, plusieurs évènements surgissent, plusieurs ressources externes sont récupérées. Toutes ces manipulations du simulateur génèrent de nouvelles données qui peuvent enrichir la qualité du service proposé par le simulateur.

Les données récoltées requièrent un traitement pour construire de nouvelles connaissances.

Une aide supplémentaire à l'utilisateur est apportée par un module de gestion de l'historique des simulations qui ont été réalisées et qui sont centrées sur le comportement de l'utilisateur. L'objectif est que les futures simulations seront ainsi enrichies. Ce module est directement lié à la base d'expériences d'où il récupère l'historique des simulations.

En plus de leur action directe sur le déroulement de la simulation en permettant son enrichissement (plus le simulateur est utilisé, plus la qualité des simulations s'améliore), cet historique peut également être consulté par l'utilisateur qui peut y trouver des classifications de paramètres (type d'utilisateur, type d'utilisation, pratiques, choix, etc.), d'utilisateurs par choix ou par pratique. Cette classification peut être schématisée afin de faciliter la lecture et l'analyse de l'utilisateur. Cette rubrique peut également intéresser le tuteur pour analyser plus facilement le niveau de ses étudiants.

Le Consultant utilise l'historique afin de suggérer les solutions ou les choix les plus probables. Plus il y a d'interactions, plus les suggestions sont constructives. Par exemple, pour plusieurs simulations réalisées, supposons que l'utilisateur prenne quelques minutes avant d'instancier l'EC concernant le choix du mode de transport (ferré, bus ou peu importe, Figure 3.11) et que l'action faite pendant ces minutes est un parcours du graphe. A partir de ces deux données, le Consultant déduit que l'utilisateur hésite à prendre sa décision concernant l'instanciation de EC « mode de transport » et que la proposition peut être une solution pour réduire ce délai. Dans les prochaines simulations, lorsque le Consultant reste inactif plus d'une minute en attente du choix du mode de transport, il peut suggérer à l'utilisateur de parcourir le graphe. Ceci permettra d'anticiper le comportement de l'utilisateur et de lui épargner l'effort cognitif qu'il aurait dû faire sans cette recommandation. Ces recommandations seront abandonnées si l'utilisateur, à plusieurs reprises, n'en est pas satisfait.

3.2.2.3. Gestion des pratiques

Ce module présente les pratiques sous la forme d'une liste qui est mise à jour au fur et à mesure du déroulement de la simulation. Le module permet de visualiser l'effet de l'instanciation des ECs sur la sélection d'une pratique. Deux pratiques diffèrent si au moins un EC n'a pas la même instanciation dans les deux pratiques (un graphe contextuel est un ensemble de pratiques structurées par les éléments contextuels). Ceci donne à l'utilisateur une nouvelle façon de voir ce qui se passe au cours de la simulation afin d'agir différemment grâce à ces nouvelle connaissances. Le module « gestion des pratiques » présente à l'utilisateur les pratiques composant un graphe en utilisant des connaissances synthétiques sur les pratiques.

Afin de gérer facilement les pratiques dans un graphe contextuel, nous décomposons le graphe contextuel en un arbre dont les feuilles sont les pratiques appliquées dans les différents contextes de travail connus. Pour faire la décomposition, nous nous somme inspiré de la décomposition arborescente linéaire des graphes séries-parallèles. Cette décomposition donne les chemins possibles depuis la racine jusqu'à la sortie du graphe. La Figure 3.17 donne un exemple.

Une fenêtre montre l'évolution de l'ensemble des pratiques (récupérées du graphe). La fenêtre contenant la liste des pratiques est liée au graphe. L'utilisateur peut sélectionner une pratique de la liste et observer son apparence dans le graphe. Chaque pratique y est présentée sous la forme de la suite des branches sélectionnées et/ou sa description sémantique. La suite ordonnée des branches correspond à la suite d'instanciation des ECs et l'exécution des actions existantes sur le chemin dans le graphe contextuel. La description sémantique est la formulation de la pratique en connaissances synthétiques la décrivant.

3.2.2.4. Comparaison de pratiques

La comparaison de pratiques consiste à comparer le résultat de deux ou plusieurs simulations réalisées par un ou plusieurs utilisateurs sur un même graphe contextuel. Le module compare les pratiques, élément par élément, détecte les similarités et dissemblances entre les pratiques, et présente les résultats à l'utilisateur. Ceci donne une nouvelle façon d'analyser les pratiques.

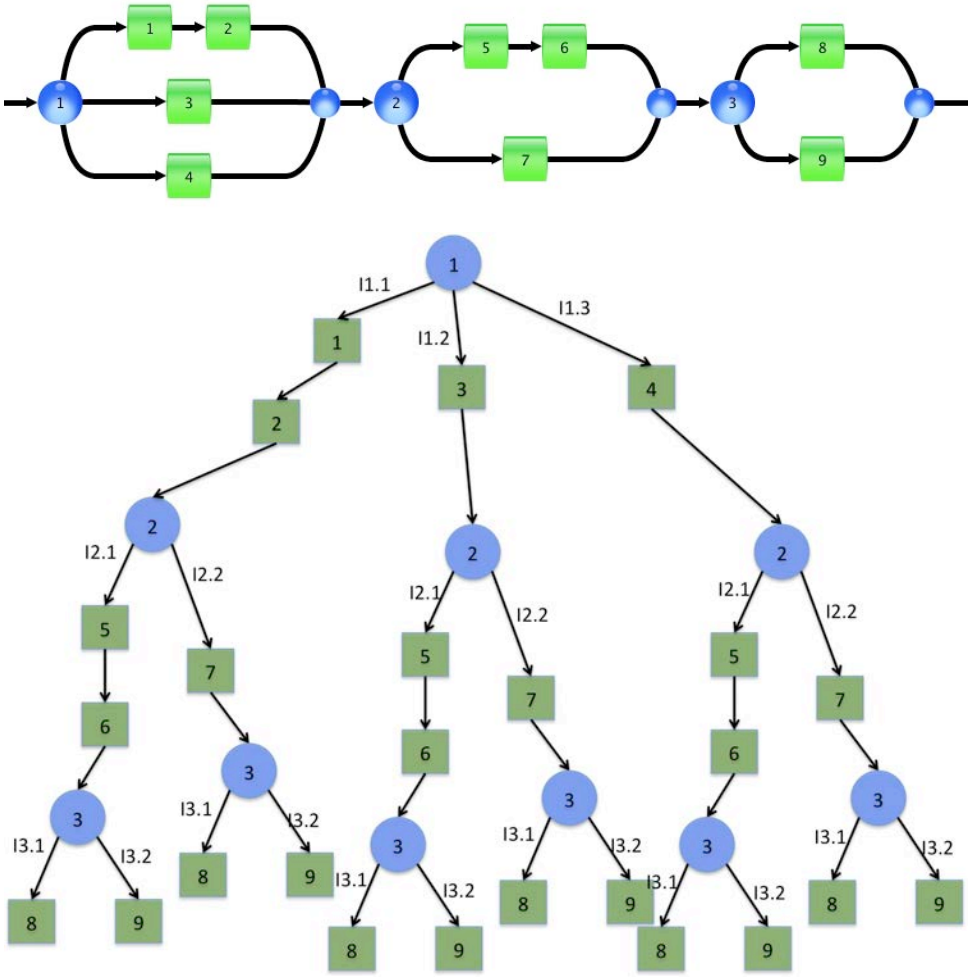


Figure 3.16 : Graphe contextuel et sa décomposition arborescente

La Figure 3.16 présente un graphe contextuel avec 3 éléments contextuels ainsi que l'arbre des pratiques associé. Chaque EC a un ensemble d'instanciations possibles. Dans le cas de la Figure 3.16, il y a douze pratiques potentielles. Supposons que les résultats de deux simulations

soient les pratiques P1 (I1.3-I2.1-I3.2) et P2 (I1.1-I2.1-I3.3). La comparaison entre P1 et P2 montre une différence. Par contre, la pratique P3 (I1.3-I2.1-I3.2) est similaire à la pratique P1 (I1.3-I2.1-I3.2). Notons que la pratique P1 diffère de la pratique P3 car elle est le résultat d'une autre simulation (contexte diffèrent, un autre utilisateur, etc.), la seule constante étant le graphe.

Ce module est intéressant pour le tuteur qui a besoin de comparer entre eux des étudiants d'après les résultats qu'ils ont obtenus par simulation. Ce module peut être étendu à la comparaison de toute connaissance résultante de la simulation.

Conclusion :

Nous avons présenté les différents modules du Consultant au niveau conceptuel et au niveau implémentation. Nous illustrons dans le chapitre suivant l'utilisation du Consultant dans le cadre du projet MICO.

Chapitre 4 : Le Consultant dans le projet MICO

Nous allons illustrer comment le Consultant peut être utilisé dans le cadre du projet MICO pour aider au diagnostic du cancer du sein. Le Consultant a été adapté pour répondre aux spécificités du travail dans ce domaine. Cette adaptation concerne la prise en compte par le Consultant des images sur lesquelles portent les pratiques d'un graphe contextuel. En effet, une pratique est développée en analysant une image. Cette image doit donc faire partie de la base d'expériences telle que définie dans le chapitre 3. Le challenge est qu'une même pratique peut être développée pour plusieurs images (même diagnostic). Toutes les images associées à la pratique peuvent donc être classifiée dans une même classe selon la pratique (et son résultat).

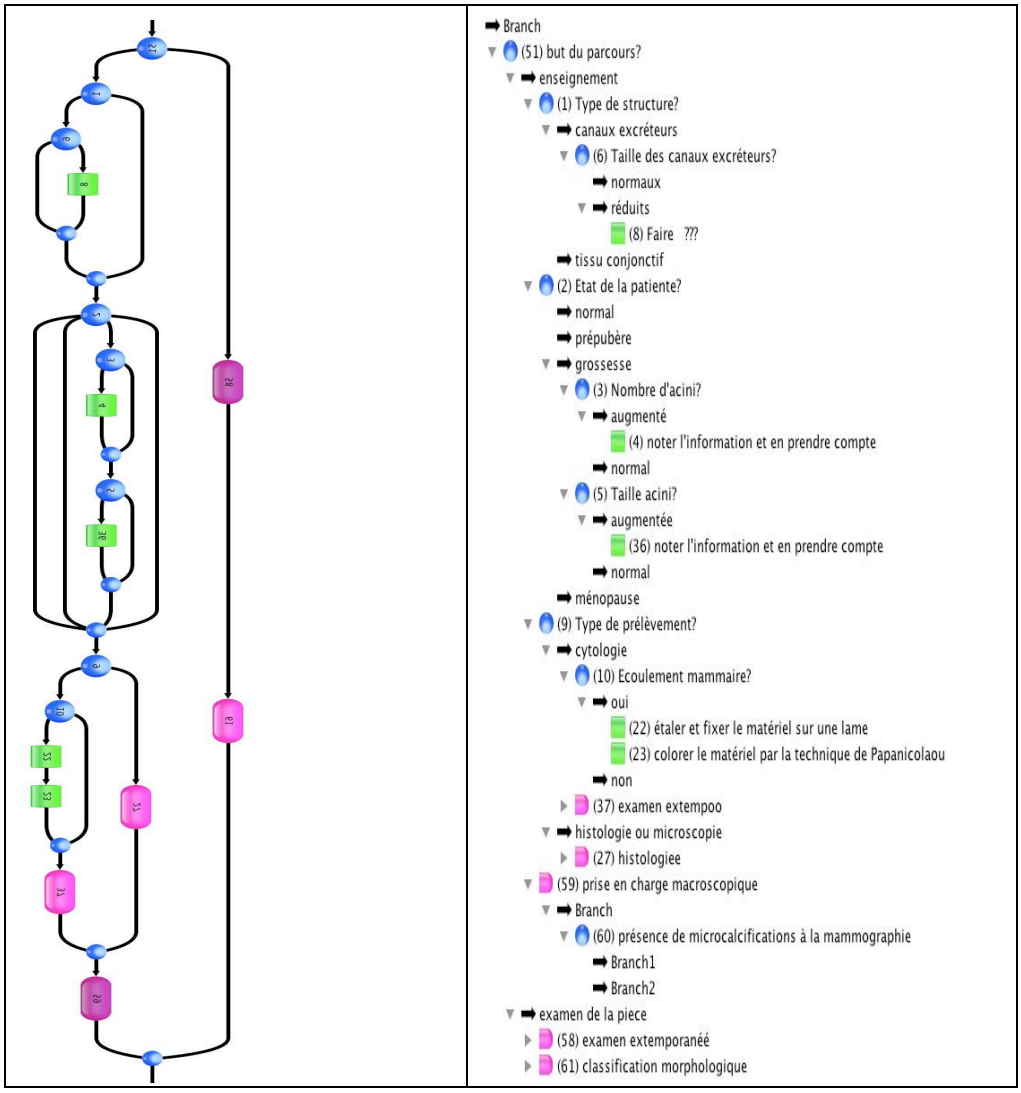
Il est donc possible, à un niveau plus global, de gérer des conflits comme une image classée par deux pratiques différentes (donc appartenant à deux classes d'images différentes), par exemple lorsque deux pathologistes interviennent. Comme la classification repose sur la pratique qui, elle-même, repose sur les connaissances contenues dans le graphe contextuel, il est donc possible d'expliquer et comparer les deux raisonnements experts et leur divergence, généralement à un élément contextuel qui a été instancié différemment par les deux médecins.

4.1. Diagnostic du cancer du sein : méthode humaine

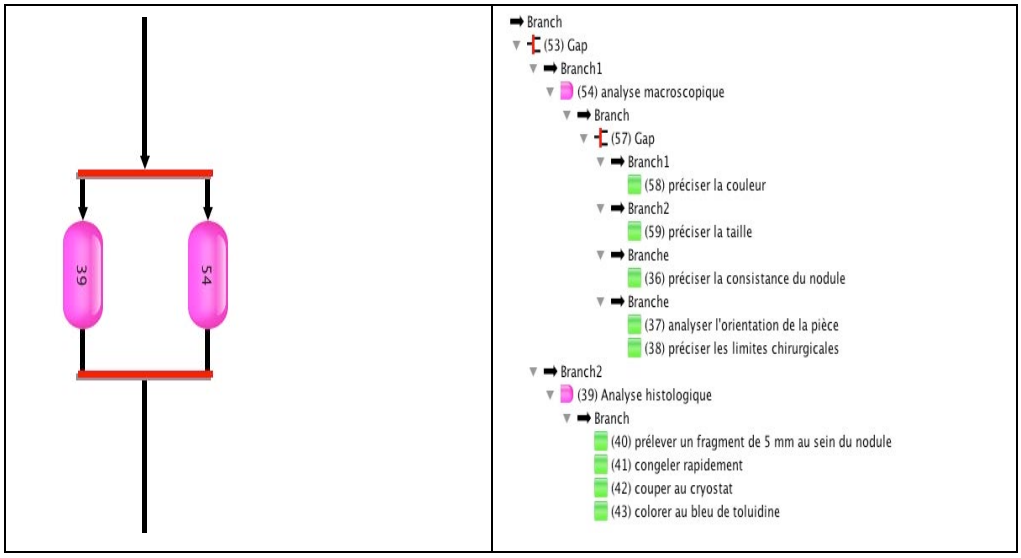
Une partie importante du diagnostic du cancer du sein repose sur la détection de mitoses. Une fois détectées, les mitoses permettent de définir la présence du cancer et le nombre de mitoses permet de définir le stade d'avancement du cancer.

4.1.1 Détection d'une mitose

Le processus de détection d'une mitose est complexe et dépend du contexte. Le contexte concerne le pathologiste, la lame analysée, la coupe des tissus sur la lame, etc. Pour tester la faisabilité de l'approche Graphes Contextuels, nous avons commencé par modéliser les connaissances du domaine contenues dans un cours de Mme C. Génestie à La Pitié sur les pathologies du sein. La Figure 4.1 donne une représentation du processus depuis la lecture de la lame jusqu'à la génération du grade.



(a) graphe décrivant la manière de faire le diagnostic du cancer du sein.



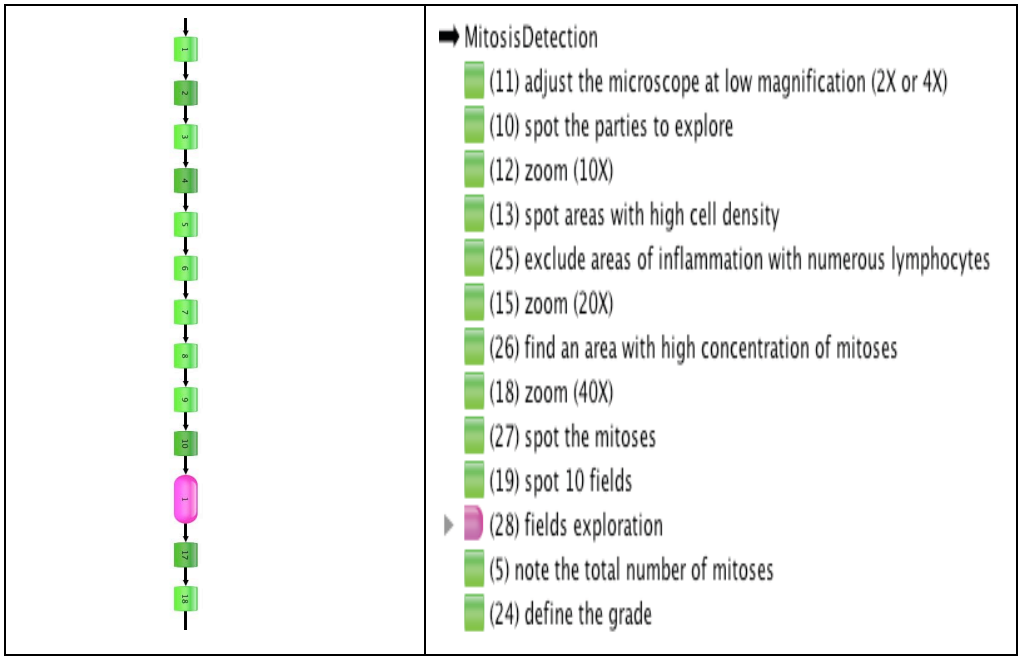
(b) Contenu de l'activité « examen extemporané »

Figure 4.1 : Représentation des connaissances du domaine

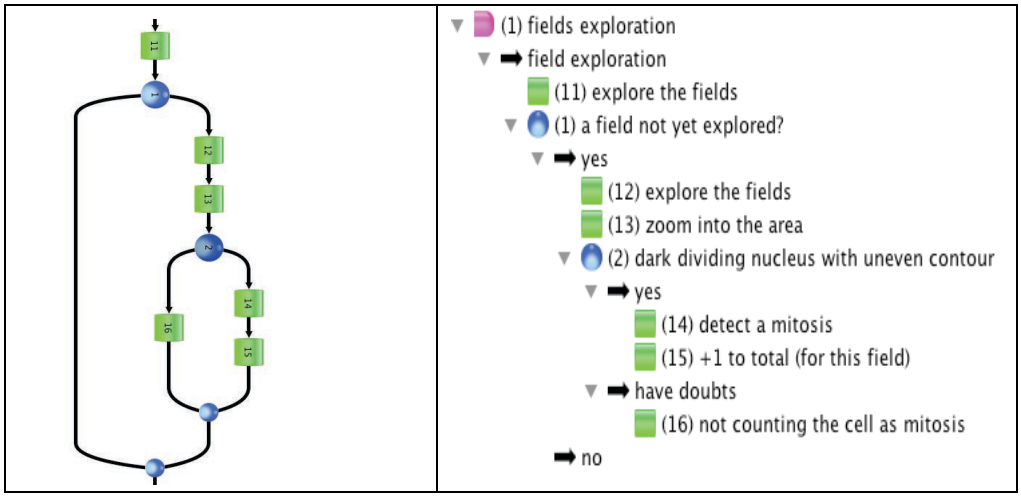
Dans la Figure 4.1a, le premier EC permet de différencier l'utilisation du graphe en spécifiant le but de son parcours (enseignement ou examen de la pièce). Certains détails sont enseignés tel que le type du prélèvement, l'état de la patiente, etc. dans le but de décrire les différents cas possible (représentés dans le graphe sous la forme d'ECs). Ces informations, qui sont à prendre en compte lors de la réalisation du diagnostic, ne font pas directement partie du processus du diagnostic. La Figure 4.1b représente le contenu des activités « Examen extemporané » et « Classification morphologique » qui permet de calculer le grade du cancer. Les deux analyses apparaissent dans un GAP (groupement d'actions parallèle).

Le médecin analyse une lame à l'aide d'un microscope. Il repère des zones d'intérêt, et effectue des grossissements dans ces zones pour identifier les formes connues de mitoses (l'objectif de l'examen). Les zones d'intérêt correspondent aux parties de la lame susceptible de contenir des mitoses. Par la suite, le pathologiste analyse plus finement ces zones pour détecter et compter les mitoses. La méthode d'analyse est subjective et liée à l'expertise du médecin. Le graphe décrivant l'analyse d'une lame au microscope a été faite avec Gilles Le Naour, responsable des systèmes

d'information par l'équipe UIMAP (donc non médecin), et est donné Figure 4.2. Ce graphe présente les grandes étapes de l'analyse et a été validé par les médecins de l'équipe.



(a) Graphe de l'analyse d'une lame au microscope



(b) Activité « Field exploration » dans la Figure 4.2a.

Figure 4.2 : Graphe contextuel de l'analyse d'une lame au microscope

Le graphe de la Figure 4.2a décrit le raisonnement tenu lors de l'analyse d'une lame au microscope en vue de détection des mitoses. Le médecin réalise une suite d'ajustement du microscope et de zoom sur les parties

susceptible de contenir des mitoses. L'analyse commence par la recherche d'une zone d'intérêt qui est explorée pour détecter et compter les mitoses (Figure 4.2b).

L'analyse à partir d'une image numérique de la lame présente des différences pratiques au niveau du raisonnement par rapport à l'analyse au microscope (par exemple, passage d'un champ circulaire à un champ rectangulaire). La démarche décrite pour le microscope a été reprise par une interne de l'équipe UIMAP en mode numérique (voir Figure 4.6).

Le travail du pathologiste ne peut en aucun cas être totalement automatisé car chaque mitose est unique. La préparation des lames et l'obtention des coupes suivant le type de prélèvement introduisent une variabilité difficile à contrôler. La mitose apparaît sur les images dans les différentes phases de son cycle de vie (les stages de développement de la mitose). Au-delà du matériau lui-même, il faut également prendre en compte la situation dans lesquelles l'examen est mené (type de microscope, de scanner, l'urgence des résultats, etc.), sans oublier l'acteur lui-même (lecture en conditions calmes de stress ou de fatigue, fatigue oculaire, etc.).

Malgré tout, des tentatives d'automatisation ont été entreprises. A titre d'exemple, la Figure 4.3 présente une application des graphes contextuels dans le cadre du projet MICO, à savoir la représentation du workflow réalisée par IPAL dans le but de détecter automatiquement les zones d'intérêt. Le raisonnement représenté ici est au niveau programmation pour la détection des mitoses sur une image qui est différent du raisonnement humain et fait intervenir des algorithmes complexes du traitement de l'image.

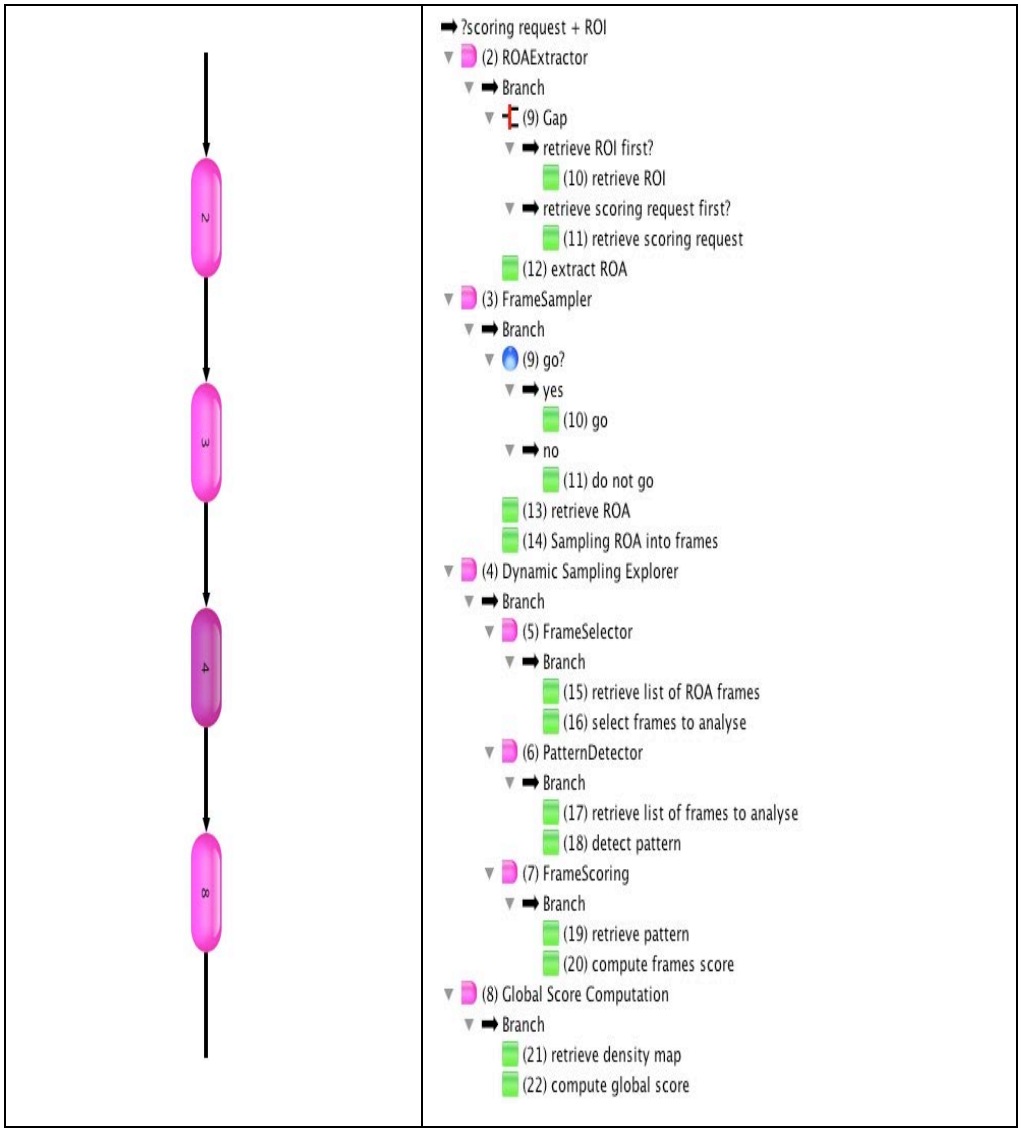


Figure 4.3 : Graphe contextuel de l'analyse automatique d'une lame

Le passage aux lames numériques est une première étape de systématisation du travail du pathologiste afin de limiter les risques et augmenter la qualité du contrôle. Bien que ce nouveau protocole donne des garde-fous au pathologiste tout en lui permettant de développer de nouvelles pratiques, la partie raisonnement expert reste la partie la plus sensible du processus car sujette à de nombreux aléas.

4.1.2. Lame numérique comme support de raisonnement

Nous considérons comme « support de raisonnement » tout objet sur lequel un utilisateur applique son raisonnement (voir par exemple, Cordier et al,

2009). Les informations récoltées sur l'objet par l'utilisateur vont l'aider à faire des choix dans son processus de prise de décision. Le support de raisonnement est généralement relatif à un contexte particulier.

Dans le projet MICO, le support de raisonnement dans le diagnostic du cancer du sein est passé de la lame, vue au microscope, à l'image numérique de la lame vue à l'écran (Figure 4.4). La numérisation de la lame est réalisée en utilisant un système d'acquisition de haute résolution (Ameisen et al, 2012). Ceci permet de pratiquer l'analyse des images sur un écran d'ordinateur et non plus au microscope. La numérisation (Figure 4.4) commence par une prise de vue de l'ensemble de la lame à très faible grossissement permettant de sélectionner tout ou une partie de la lame à numériser (identification des zones d'intérêts). Les paramètres numériques de l'image tel que le contraste ou la luminosité peuvent alors être modulés. Ensuite les différents niveaux de grossissement sont définis. La numérisation offre au pathologiste une facilité de manipulation qui est impossible à obtenir avec le microscope tel que l'annotation directement sur la lame, la possibilité de demander un second avis, etc.

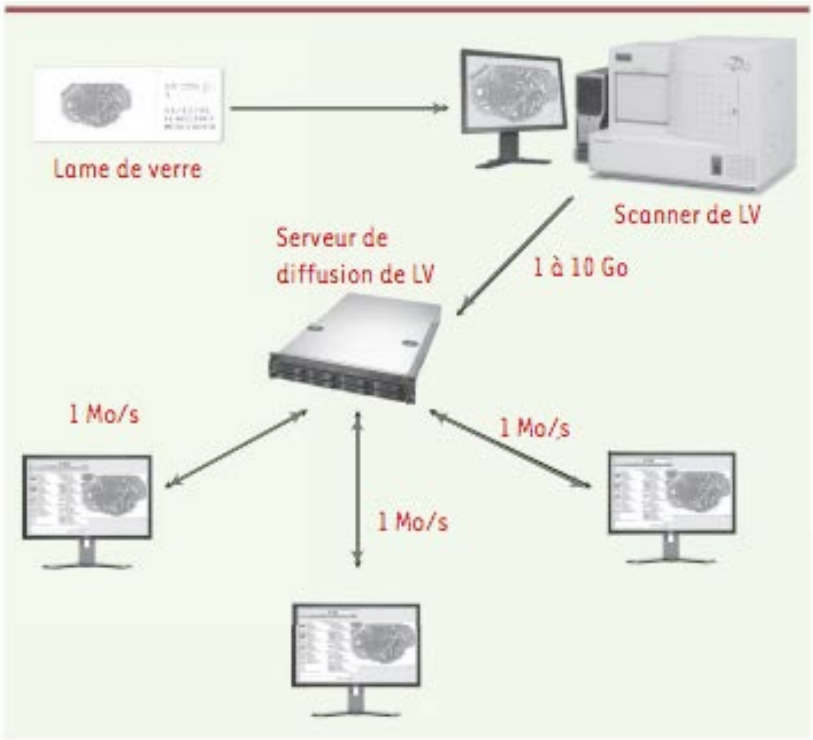


Figure 4.4 : Traitement des lames virtuelles (Ameisen et al, 2012)

L'image de la lame est le résultat d'un long processus de transformations du prélèvement de l'échantillon du tissu jusqu'à l'image elle-même. Ce processus est réalisé dans des conditions les plus standardisées possible pour tous les prélèvements : même préparation de l'échantillon, même numérisation de la lame, etc. Cette standardisation permet de réduire l'incertitude conduisant à une mauvaise interprétation des formes sur la lame, et permet une meilleure comparaison des images de lames.

L'analyse de l'image par le pathologiste est un processus peu cadré (voir Figure 4.5). Le pathologiste a un objectif à atteindre (par exemple, détecter des mitoses) et des caractéristiques à identifier, en suivant le raisonnement qu'il souhaite. Avec l'expérience, il arrive à se faire une représentation mentale globale et va directement au but. Par exemple, il peut réduire le champs de son exploration de la lame en s'intéressant à la partie la plus susceptible de contenir les formes qu'il cherche.

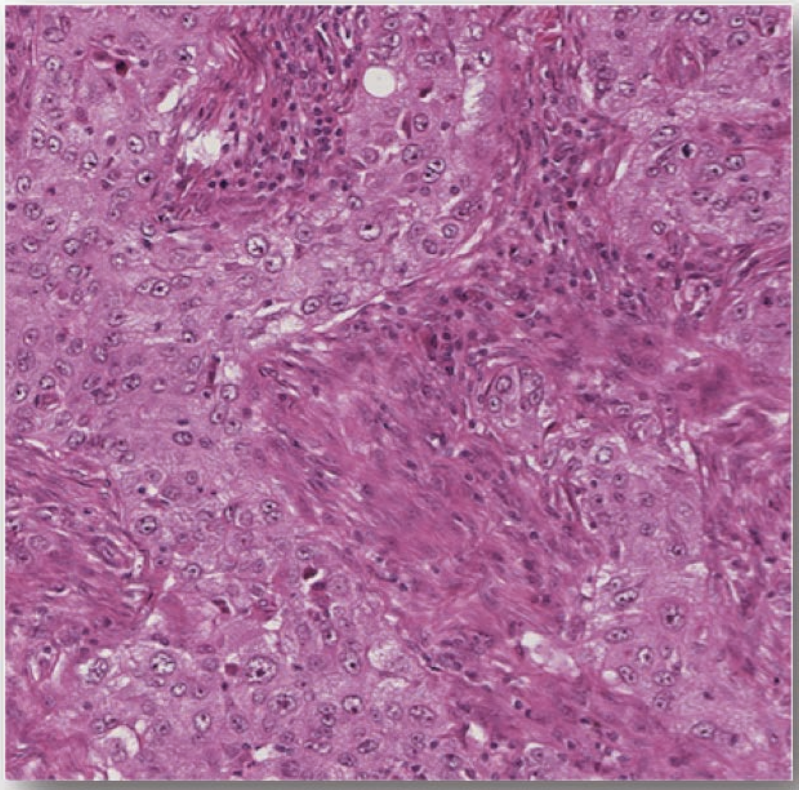


Figure 4.5 : Exemple de lame au grossissement x40

Les images de lames analysées peuvent être regroupées dans un « mur d'images » permettant une vue globale des lames et une éventuelle classification selon leurs caractéristiques identifiées. La concordance entre la similarité des images et les résultats de leur analyse (la pratique développée) permet de réduire la probabilité d'une erreur lors de l'analyse. Par exemple, une image analysée donnant un résultat positif (par exemple, mitose certaine) est amenée à avoir le même aspect que le groupe d'images ayant le même résultat positif. La similarité entre les images est caractérisée par plusieurs caractéristiques de l'image. S'il y a similarité, cette image rejoint le groupe sinon une nouvelle analyse s'impose (que se soit par le même pathologiste ou en demandant l'avis d'autres pathologistes).

4.1.3. Modélisation du processus d'analyse d'images

L'analyse d'une image aboutit à l'annotation de chaque forme de l'image susceptible d'être une mitose. L'annotation est sous la forme textuelle d'une réponse à la question « Est-ce une mitose ? », trois réponse sont possibles : MM pour « Mitose certaine », MI pour « Mitose Incertaine » et MN pour « Non Mitose ». Cette standardisation de l'annotation pour les mitoses est le résultat du travail de l'équipe UIMAP de La Pitié dont une pathologiste, Mme Jessica Calvo, a procédé au développement d'un graphe contextuel lors de son stage de M2 à partir de son travail régulier à La Pitié. Le résultat de son travail est présenté dans la Figure 4.6.

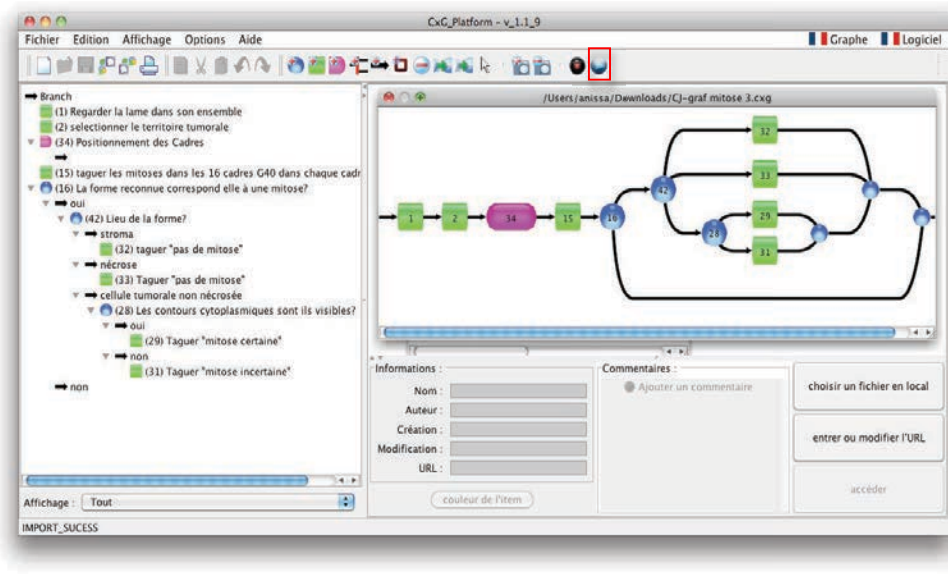


Figure 4.6 : Graphe décrivant l'analyse d'une lame par un ACP[11].

Les pathologistes ont été amenés à réviser leurs méthodes d'analyse au passage au numérique. L'évolution concerne la décomposition de l'image à trois niveau de détails (zone d'intérêt, cadre, fenêtre). Le pathologiste divise l'image en zone d'intérêt sur la plateforme Calopix de TRIBVN. Des exemples de zones d'intérêt sont « territoire de la lésion », « territoire de la tumeur », « territoire de tissu adipeux », « territoire de glande mammaire normale ».

Une zone d'intérêt est divisée en carrés. La recherche d'une forme particulière (la mitose par exemple) est faite dans un cadre. Il y a différents cadres aux grossissements x10, x20, et x40. Un cadre à un grossissement x10 contient 4 cadres à grossissement x20 et 16 cadres à x40 (voir Figure 4.7).

[11] Interne au service d'anatomie pathologique au Groupe Hospitalier Pitié Salpêtrière, Jessica Calvo a suivi un master en Management des Connaissances et Innovation

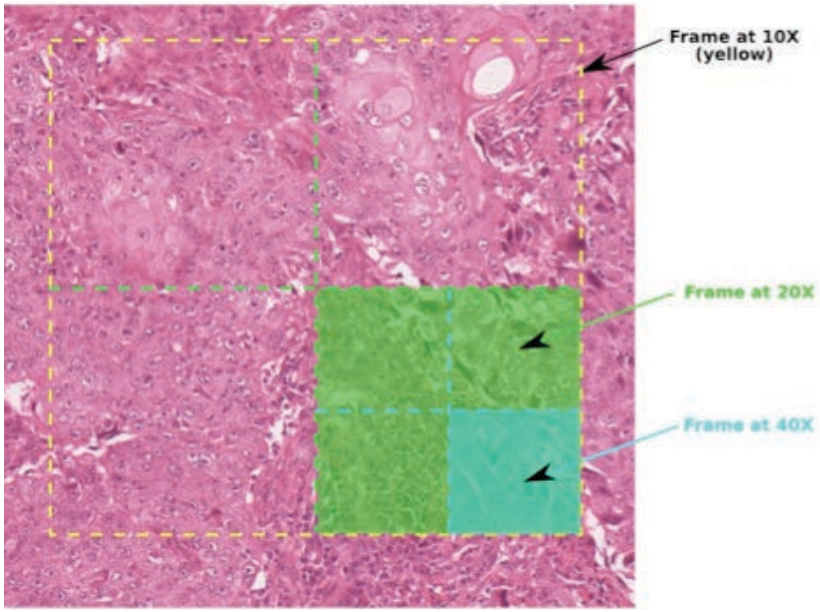


Figure 4.7 : Cadres aux grossissements x10, x20 et x40 dans MICO

4.2. Diagnostic sur la plate-forme Calopix

La plateforme Calopix de TRIBVN est utilisée par les pathologistes. Cette plateforme contient les lames numériques qui ont été étudiées et permet aux pathologistes de les annoter. La plateforme Calopix est équipée d'un module contenant des exemples de graphes contextuels qui permettent à l'utilisateur de faire des choix depuis une fenêtre indépendante.

L'intégration du graphe contextuel sur la plateforme Calopix améliore la qualité du service proposé au médecin, mais reste statique. Les connaissances et les avantages des graphes contextuels ne sont pas exploités dans cette approche. Ainsi, une modification dans le graphe contextuel doit être fait sur la plate-forme CxG et nécessite un rechargement du fichier contenant le nouveau graphe contextuel sur la plateforme Calopix.

Le Consultant propose au pathologiste plus qu'une lecture du contenu du graphe. Il lui permet d'exploiter les avantages du graphe en lui proposant de faire une simulation et une exploitation des résultats de la simulation, en attendant une intégration éventuelle sur Calopix.

4.3. Diagnostic utilisant le simulateur

Nous avons réalisé une version du consultant personnalisée (voir chapitre 3 pour les spécifications). Dans cette version, le pathologiste a la possibilité de choisir une image et le graphe contextuel associé (la tâche à simuler). Ces éléments font parti des paramètres de la simulation.

Dans la suite, nous allons utiliser un scénario inspiré du projet MICO dans lequel un pathologiste est en train d'analyser une lame, et, pour ce qui nous intéresse ici, le comptage des mitoses. La simulation suit le graphe contextuel lié au comptage de mitoses qui est présenté dans la Figure 4.4.

Le pathologiste choisit donc en premier une image à analyser et le graphe contextuel de détection des mitoses avant d'interroger le Consultant. Celui-ci ouvre alors la fenêtre de simulation et l'image. Il instancie les éléments du graphe contextuel et visualise l'effet de ses instanciations. A la fin de la simulation, le récapitulatif de sa simulation est récupéré ainsi que les récapitulatifs des autres simulations déjà réalisées.

Au cours de la simulation, l'utilisateur et le Consultant co-construisent une pratique et vérifient tout au long du développement de la pratique si tous les choix fait sont pertinents pour l'image en cours d'analyse. Plusieurs modules annexes peuvent être activés afin de garantir le bon déroulement de la pratique ainsi que l'anticipation des pratiques ultérieures : la gestion des événements, la détection des conflits comme le changement de branche, la gestion des pratiques développées.

A partir de la page principale de la plate-forme CxG, un bouton permet d'activer et de désactiver la simulation (Figure 4.8, bouton encadré en rouge en haut au milieu).

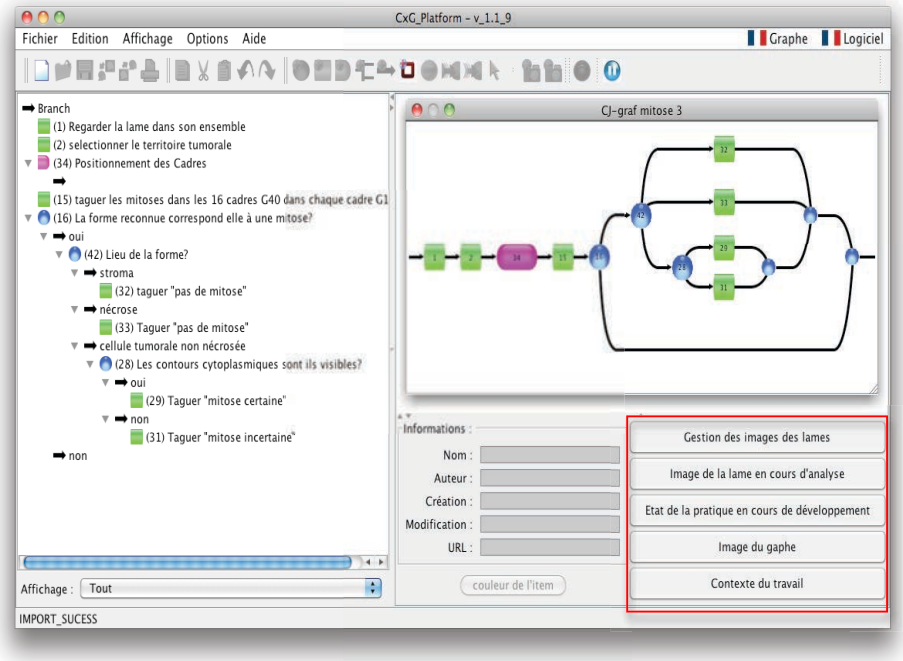


Figure 4.8 : Tableau de bord (en bas à droite) de la plate-forme CxG

Le tableau de bord (la partie encadrée de rouge en bas et à droite de la Figure 4.8) regroupe les accès aux différentes fonctionnalités/outils liées à la simulation qui sont proposées à l'utilisateur afin de faciliter leur utilisation ainsi que leur gestion. Il est composé de plusieurs boutons provoquant chacun l'ouverture d'une fenêtre :

- une permettant de gérer les images de lames,
- une pour l'affichage du graphe et le développement de la pratique,
- une pour ouvrir le graphe avec son état actuel (jpg, etc.),
- une pour afficher l'image de la lame sélectionnée (en cours d'utilisation),
- une pour la trace et une pour la gestion du contexte de travail et
- une pour l'affichage d'un récapitulatif des simulations réalisées.

Au lancement de la simulation, la plate forme CxG change d'apparence (Figure 4.8). Trois nouvelles fenêtres apparaissent permettant la gestion du contexte (Figure 4.11), des images des lames (Figure 4.13) et de la trace (Figure 4.14).

L'instanciation des éléments contextuels du graphe est faite par l'utilisateur en cliquant sur l'élément en question. Les items déjà traversés lors de la simulation sont bordés de rouge pour souligner l'effet de l'instanciation sur le graphe. L'instanciation peut être faite par l'utilisateur soit en cliquant sur l'EC soit sur l'un des items se trouvant sur la branche qu'il veut choisir (l'élément contextuel est alors instancié automatiquement à la valeur correspondant à la branche). Le clic sur un item d'une branche implique l'instanciation de l'EC d'où part la branche (voir Figure 4.9).

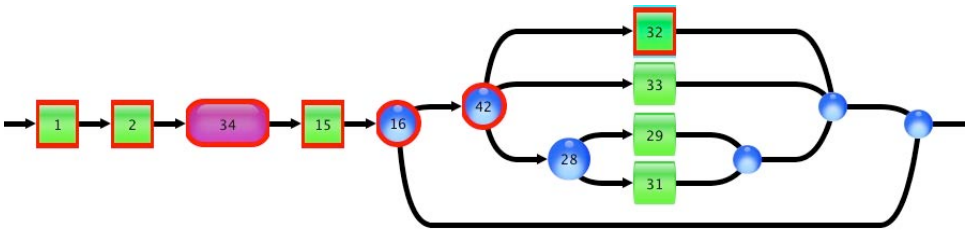


Figure 4.9 : Effet visuel de l'instanciation de l'EC 42 dans le graphe

L'instanciation d'un EC (choix d'une branche) implique l'instanciation automatique des actions qui se trouvent sur la branche en question. Les autres éléments du graphe sur la branche nécessitent d'être instancié (séparément) un à un par l'utilisateur car il y a des choix à faire. Ces éléments sont soit d'autres éléments contextuels soit des branchements temporels (des sous-tâches exécutables dans un ordre ou un autre) ou des activités qui correspondent à de sous-graphes contextuels et donc peuvent contenir à leur tour des éléments contextuels.

Il est à noter que c'est l'instanciation d'un élément contextuel qui déclenche la recherche de l'instanciation d'autres éléments contextuels se trouvant sur la branche concernée. A l'inverse, le simulateur n'aura plus à considérer les éléments contextuels sur les branches qui ne sont pas sur le chemin suivi par la simulation puisque l'instanciation entraîne un choix exclusif d'une branche de l'EC.

L'instanciation des éléments du graphe contextuel peut être faite aussi depuis la fenêtre « gestion du contexte de travail » où la liste des ECs et de

leurs valeurs est présentée. Une dynamique est ainsi crée entre les différentes représentations du graphe contextuel, à savoir le graphe contextuel même, l'arbre représentatif de la légende du graphe et la fenêtre de gestion du contexte (Figure 4.11). Le développement de la pratique est représenté selon trois visualisations correspondant à trois points de vue différents sur les mêmes informations. Ces trois fenêtres sont interconnectées : une action de l'utilisateur dans une fenêtre est répercutée dans les deux autres fenêtres : (1) vue sur le graphe, (2) vue sur l'arbre contenant la légende du graphe, et (3) vue dans une fenêtre à part contenant un ensemble de bouton permettant d'instancier les ECs du contexte de travail.

Les deux premières représentations existaient dans la plate-forme CxG (le graphe contextuel et l'arbre des légendes du graphe contextuel). Nous avons ajouté la possibilité d'instancier les ECs à partir de ces fenêtres et visualiser le résultat. La troisième fenêtre est une autre représentation du contexte, elle correspond à la liste des ECs et leurs valeurs possibles (une colonne par EC). Dans cette dernière fenêtre, l'utilisateur instancie l'EC en cochant le bouton radio correspondant à la valeur souhaitée (ce qui correspond, au niveau visuel, à la branche dans le graphe et l'arbre). Une fois instancié, l'EC change d'état dans le contexte de travail et prend la valeur instancié. L'effet visuel de cette instanciation est représenté dans ces trois fenêtres.

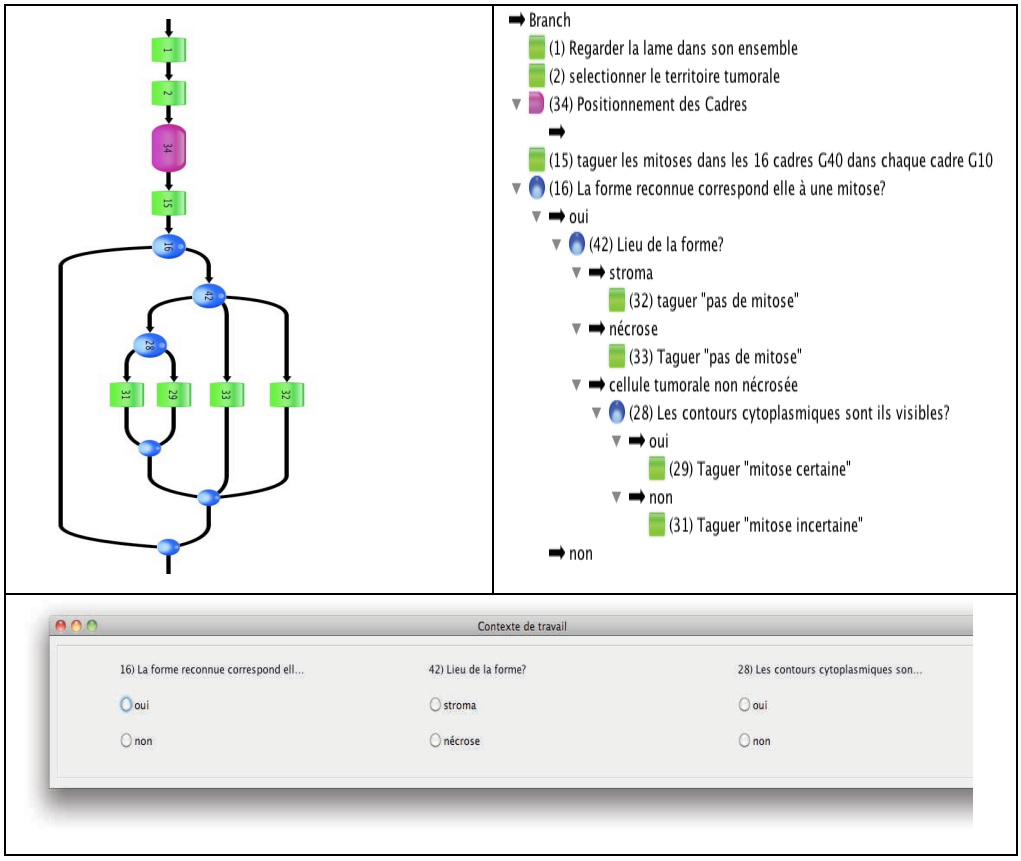


Figure 4.10 : Les trois fenêtres de gestion de la simulation

L'instanciation d'un élément du graphe est directement sauvegardée dans un fichier XML relatif à la pratique en cours de développement « pratique.xml ». Lors de la sauvegarde de la pratique, le logiciel teste si la pratique existe déjà (contenu identique à une pratique existante). Si oui, la pratique en cours n'est pas sauvegardée et un message s'affiche à l'utilisateur.

4.4. Gestion des simulations

Des outils de gestion sont présents dans le Consultant afin d'assurer le bon déroulement de la simulation et la meilleure exploitation des résultats. Les principaux outils sont la gestion des images des lames, la gestion de la trace, la gestion des simulations existantes et la gestion des résultats de la simulation (section 4.5).

4.4.1. Gestion des images des lames

Le bouton « Gestion des images des lames » permet de lancer le gestionnaire des images des lames (Figure 4.9). Le gestionnaire des images est représenté dans la Figure 4.11. Il comprend l'affichage des images ajoutées à la bibliothèque dans une liste déroulante (les images sont sauvegardées dans un dossier dédié), un bouton d'ajout d'images à la bibliothèque et un bouton de visualisation d'un mur d'images. Ce dernier bouton permet d'ouvrir une fenêtre contenant des icones représentant des miniatures des images. Ces icones permettent à l'utilisateur une visualisation de toutes les images de lames existantes dans la bibliothèque. L'utilisateur peut ainsi choisir une image et voir les connaissances qui la décrivent (incluant la pratique qui conduit au diagnostic fait à partir de cette image). En exploitant ces connaissances, il est possible de proposer à l'utilisateur un affichage des images classées selon la ressemblance qui existe entre elles. Trois critères de groupement peuvent être proposés: par pratiques, par lames ou par utilisateurs. Il est à noter que les images sont par défaut ordonnées par leur date d'enregistrement.

Depuis la fenêtre de gestion des images, l'utilisateur peut ajouter une image, ouvrir cette image dans une fenêtre à part en cliquant dessus (les boutons en haut à droite correspondant aux images de lames). Cette fenêtre doit être ouverte pour valider la pratique sinon un message d'erreur est affiché. L'image ouverte dans la fenêtre est associée à la pratique en cours et est ajoutée au dossier correspondant à la pratique.

Figure 4.11 : Fenêtre relative à la gestion des images de lames

Le gestionnaire des images se base sur l'historique de l'analyse de la lame. Une fois que le pathologiste a développé la pratique correspondant à son analyse de la lame, cette pratique est attachée à la lame. Ainsi chaque lame est attachée à une ou plusieurs pratiques du graphe contextuel. Ce gestionnaire permet au pathologiste de visualiser les images d'une nouvelle manière et de faciliter l'identification et la lecture des lames.

Une image peut être utilisée par plusieurs graphes décrivant différents raisonnements pour différents objectifs et un graphe contextuel peut donc être utilisé pour analyser plusieurs images.

4.4.2. Gestion de la trace

La trace regroupe les interactions entre l'utilisateur et le système lors du développement de la pratique. Une fenêtre « Trace » (Figure 4.12) est ouverte dès le début de la simulation. Elle permet d'afficher sous la forme d'un tableau la liste des éléments instanciés dans le graphe contextuel dans l'ordre de leur instanciation. A chaque sélection d'un élément du graphe contextuel, l'information est enregistrée dans la « trace ». L'intérêt de cet enregistrement est que certaines informations recueillies lors de la simulation ne figure pas dans la pratique sauvegardée. Par exemple, si l'utilisateur change de branche dans le graphe, cette opération est enregistrée dans la trace. Par contre, la pratique sauvegardée ne contient que la dernière branche choisie par l'utilisateur. Le changement de branche signifie une hésitation dans le choix de l'utilisateur. Cette information peut être exploitée pour un rapprochement des lames.

Trace

Numéro	Valeur	créateur	instanciation	date
1	Regarder la lame dans son...	pb		Mon Jan 13 15:09:06 2014
16	La forme reconnue corresp...	Default User	oui	Mon Jan 13 15:09:15 2014
42	Lieu de la forme?	PB	stroma	Mon Jan 13 15:09:17 2014
32	taguer "pas de mitose"	Default User		Mon Jan 13 15:09:19 2014
33	Taguer "pas de mitose"	Default User		Mon Jan 13 15:09:21 2014
31	Taguer "mitose incertaine"	Default User		Mon Jan 13 15:09:26 2014

Figure 4.12 : Exemple de la fenêtre « trace »

4.4.3. Gestion des simulations existantes

L'utilisateur peut exploiter les résultats des simulations existantes qu'elles soient complètement ou partiellement réalisées. A chaque fois qu'une

simulation est arrêtée—les différentes raisons de l'arrêt d'une simulation ont été discutées dans le chapitre 3—, celle-ci est sauvegardée dans son état.

Pour une simulation complètement réalisée où la pratique est développée et le résultat est obtenu, elle peut être « rejouée » afin d'y apporter des modifications ou de visualiser ces résultats tel que la pratique résultante. Pour une simulation partiellement réalisée, l'utilisateur peut la reprendre là où il l'avait arrêtée.

4.5. Résultats de la simulation

Plusieurs mises à jour sont faites suite à la réalisation de la simulation comme, l'ajout d'une nouvelle pratique, l'attachement d'une image à une pratique, l'alimentation de la bibliothèque d'images de lames, l'acquisition des connaissances sur les pratiques et les utilisateurs.

Un mur d'image peut être le résumé de ces éléments. Il correspond à la liste des images de lames (sous forme d'icones) où à chaque image correspond un descriptif résumant les connaissances récoltées.

4.5.1. Hiérarchie des dossiers sauvegardés

A chaque utilisateur est associé un ensemble de graphes contextuels (une copie des fichiers est enregistrée dans le dossier correspondant au nom de l'utilisateur). Pour chaque graphe contextuel, l'utilisateur peut avoir développer plusieurs pratiques en s'appuyant sur des images différentes. La Figure 4.13 montre un exemple de l'hiérarchie du contenu des dossiers relatifs aux utilisateurs. L'utilisateur1 a développé la pratique1 et la pratique2 du graphe1 en analysant la lame1 et la lame2 pour la pratique1 et la lame4 pour la pratique2.

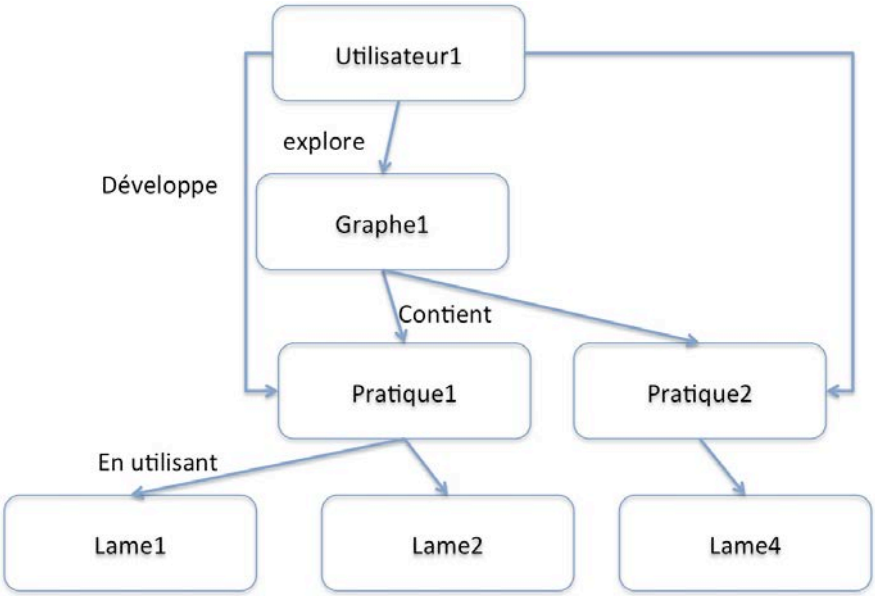


Figure 4.13 : Structure d'enregistrement des pratiques

4.5.2. La bibliothèque d'images de lames

L'utilisateur alimente la bibliothèque d'images qui vont constituer le mur d'images. En cliquant sur le bouton « ajouter une image » (premier bouton - Figure 4.13), une fenêtre d'ajout de fichier s'ouvre et l'utilisateur peut naviguer dans sa bibliothèque pour retrouver son fichier. Il a également la possibilité d'utiliser une image pour réaliser une simulation sans pour autant avoir à l'ajouter à la bibliothèque. Les images ajoutées sont visualisées sous forme de liste de boutons (liste déroulante en haut de la fenêtre – Figure 4.13).

Nous détectons la fin d'une pratique par l'instanciation de tous les éléments contextuels et la traversée de l'item final du graphe contextuel. Une fois développée, la pratique est identifiée dans la liste contenant toutes les pratiques. Tous les éléments définissant la simulation (la date, l'heure, le support de raisonnement) sont ainsi attribués à la pratique identifiée en tant que nouveau développement. La pratique développée est comparée aux pratiques existantes dans le dossier correspondant par le contenu de leurs fichiers XML.

4.5.3. La réutilisation des pratiques développées

Différentes connaissances peuvent être récoltées lors du développement d'une pratique : la liste des pratiques développées et classées par utilisateur, la liste des utilisateurs développant cette pratique, ou encore les conflits qui peuvent exister suite à l'utilisation des pratiques (par exemple, deux diagnostics différents pour une même image).

Une fois la pratique développée, des liens sont établis : La pratique est rattachée à un graphe, aux utilisateurs qui l'ont développée et aux images utilisées pour le développement. Les pratiques sont aussi liées entre elles avec leur taux de ressemblance. Toutes ces informations permettent, après synthèse, d'avoir des connaissances sur cette pratique et améliorent les simulations suivantes. La description d'une pratique est enrichie incrémentalement à chaque fois qu'elle est obtenue par simulation. Les pratiques sont présentées sous forme d'une liste où chaque pratique est liée à une description (le résultat de la synthèse des connaissances réunies). L'utilisateur peut ainsi analyser cette synthèse et en tenir compte lors de ses prochaines simulations.

Un bouton du tableau de bord de la simulation, « récapitulatif des simulations », permet d'ouvrir une fenêtre proposant un récapitulatif des simulations réalisées sur le graphe contextuel. La fenêtre « récapitulatif des simulations » contient quatre boutons et un tableau. Les boutons modifient l'affichage du tableau selon le groupement des connaissances choisi. Quatre groupements sont disponibles : par résultat de la simulation, par pratique, par lame où par utilisateur. Le récapitulatif (Figure 4.14) consiste en un tableau de quatre colonnes : résultat, pratique, lame, et utilisateur. La première colonne « résultat » présente les résultats des pratiques présentées dans la deuxième colonne. La colonne « pratique » contient la liste des pratiques relatives au graphe contextuel (résultat de la transformation du graphe en pratiques), le nombre de lignes du tableau est le nombre de pratiques dans le graphe. La troisième colonne « lame » contient les noms des lames analysées lors du développement des pratiques, chaque pratique

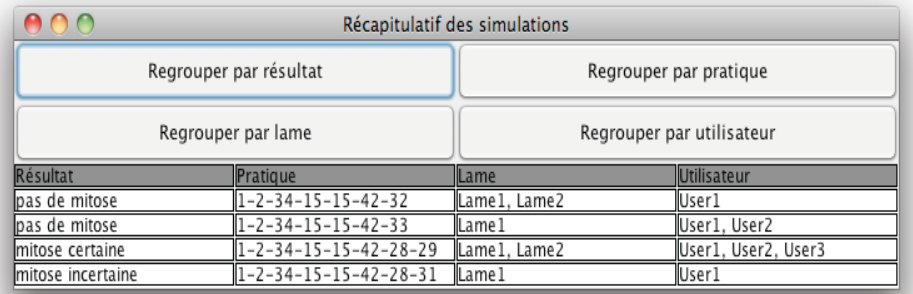
est alignée avec l'ensemble des lames analysées lors de son développement. La quatrième colonne « utilisateur » représente les utilisateurs qui ont développé les pratiques.

Certaines caractéristiques d'une simulation sont représentées dans le tableau de la fenêtre « récapitulatif des simulations » (Figure 4.14) :

- A chaque pratique est associé à un résultat.
- Plusieurs pratiques peuvent conduire au même résultat..
- Une lame est rattachée à une pratique.
- Un utilisateur peut développer plusieurs pratiques et analyse plusieurs images.

Chaque ligne du tableau est identifiée par la valeur correspondante de la colonne « pratique ». Les autres colonnes du tableau peuvent présenter des répétitions d'une ligne à l'autre.

En analysant ce tableau, l'utilisateur peut avoir une vue globale sur les simulations réalisées. Le Consultant peut l'aider à détecter les conflits de manipulation. Par exemple, si deux pratiques différentes ont été développées pour la même image, la couleur de la case correspondante du tableau est alors changée en rouge et si ces deux pratiques donne le même résultat la couleur de la case vire à l'orange. L'utilisateur a ainsi la possibilité de remettre la couleur des cases à la couleur par défaut (blanc) en déclarant le conflit sans raison. A partir de cette fenêtre (Figure 4.14), l'utilisateur et le consultant cogèrent les simulations.



Résultat	Pratique	Lame	Utilisateur
pas de mitose	1-2-34-15-15-42-32	Lame1, Lame2	User1
pas de mitose	1-2-34-15-15-42-33	Lame1	User1, User2
mitose certaine	1-2-34-15-15-42-28-29	Lame1, Lame2	User1, User2, User3
mitose incertaine	1-2-34-15-15-42-28-31	Lame1	User1

Figure 4.14 : Fenêtre récapitulative des résultats des simulations

Chaque utilisateur a une session où il développe ses pratiques et a accès aux résultats des simulations réalisées par lui et éventuellement par d'autres utilisateurs. Dans le projet MICO, nous distinguons trois types d'utilisateur, Professeur, Docteur et Interne. Ils correspondent respectivement aux Expert, Tuteur et Novice décrit dans le chapitre précédant. Le professeur a le droit d'utiliser toutes les fonctionnalités du système. Le docteur peut créer des graphes contextuels et réaliser des simulations. Il peut consulter les simulations réalisées par les internes qui sont sous sa direction. Il peut aussi consulter les simulations réalisées par d'autres docteurs sous conditions que le professeur lui ait donné le droit. L'interne ne peut que réaliser des simulations sur des graphes créés par les docteurs ou les professeurs afin que ces simulations soient visibles par les autres utilisateurs du système et apparaissent dans le récapitulatif. Dans sa propre session il peut créer des graphes et réaliser des simulations dessus. Ces graphes et ces simulations ne sont pas visibles directement pour les autres utilisateurs.

Il est à noter qu'il y a une relation d'inclusion entre les domaines, ce qui inverse celle de l'application des fonctionnalités ; les fonctionnalités applicables à tout domaine sont incluses dans les fonctionnalités spécifiques au projet MICO qui sont incluses dans les fonctionnalités spécifiques au diagnostic à partir d'une image de lame.

Conclusion

Notre système a été réalisé pour aider les pathologistes lors de l'analyse d'une image en vue du diagnostic du cancer du sein. L'aide consiste à leur proposer un simulateur en utilisant leurs graphes contextuels. Un récapitulatif des simulations réalisées est présenté afin de permettre à l'utilisateur de visualiser les liens qui existent entre les pratiques, les lames et les utilisateurs.

Chapitre 5 : Conclusion et perspectives

5.1. Conclusion

Les différentes activités liées au diagnostic du cancer du sein sont des activités essentiellement humaines et leur automatisation complète est impossible. Ces activités sont réalisées par des experts auxquels nous proposons une aide sous la forme d'un Consultant.

Notre travail, réalisé dans le cadre du projet MICO, a porté sur trois points :

(1) la conception du Consultant basé sur le contexte,

(2) la réalisation d'une maquette,

(3) l'illustration du travail dans le cadre du projet MICO.

Le Consultant peut résoudre seul les tâches élémentaires de gestion, et préparer tous les éléments pour les problèmes qui relèvent des experts qui, seuls sont habilités à prendre les décisions cruciales. Les interactions entre un expert et le Consultant se font sous la forme de consultation, d'exploration des connaissances, d'ajout de nouvelle pratique dans la base d'expérience, etc. Le but du Consultant est de guider, suivre et aider les experts dans leur interprétation des images et dans leur choix tout au long de leur travail.

Le cœur du Consultant est un simulateur qui travaille sur un graphe contextuel contenant les différentes pratiques développées pour exécuter une tâche dans différents contextes de travail, la recherche de mitoses dans le projet MICO. Le simulateur est équipé des outils qui garantissent la bonne réalisation du travail, l'interprétation des résultats et sa réutilisation. Les simulations sont utilisées pour guider, à la demande, l'utilisateur dans le développement de ses pratiques.

Le simulateur permet d'améliorer la qualité de services proposés à l'utilisateur. Les graphes contextuels sont récupérés de la « base des graphes », le résultat de la simulation est enregistré dans la « base d'expériences ». La base d'expériences contient les pratiques réalisées ainsi qu'une « base de traces » où est enregistrée toute la trace de la simulation (comme l'interruption de la simulation, le retour en arrière dans la simulation, un changement inattendu de contexte, etc.). Le module de management de la simulation utilise la base d'expériences et la base d'utilisateurs pour étudier et analyser les connaissances qui existent, et tirer de nouvelles connaissances pouvant aider l'utilisateur dans sa prise de décision et avoir une vue synthétique des pratiques réalisées.

Le Consultant utilise la simulation pour suivre (et anticiper) le développement de la pratique de l'expert. Il peut profiter de ces simulations pour apprendre de nouvelles connaissances de la part de l'acteur humain et enrichir sa base d'expérience pour une utilisation future.

En outre, notre contribution au projet MICO ont porté sur:

- Une terminologie commune définie et consentie par les différents membres. Cette terminologie concerne les composants d'une lame numérique en vue de son analyse.
- Une limitation des formes de mitose à reconnaître sur une lame numérique.
- L'intégration des graphes contextuels dans la plateforme CALOPIX (TRIBVN). Ces graphes aident maintenant à orienter l'analyse des lames numériques par les pathologistes pour le cancer du sein mais aussi dans d'autres applications comme le traitement de la malaria.
- La contextualisation d'un workflow qui gère les différents modules qui analyse automatiquement les lames numériques.

5.2. Perspectives

Nos travaux ouvrent des pistes de recherche : au niveau du champs d'application, au niveau du support de raisonnement, pour le travail collaboratif, la collecte d'autres connaissances et la variété des utilisations possibles des connaissances récoltées suite aux simulations (autres objectifs et besoins, autres traitements).

Ouverture du champ d'application : Le Consultant est réalisé pour être utilisé par un médecin lors de son analyse d'une lame numérique en vue du diagnostic du cancer du sein. Toutefois, l'architecture du Consultant est telle que les connaissances spécifiques du domaine sont uniquement dans la base de connaissances. La description des modules du Consultant, et surtout du simulateur, est réutilisable directement ou avec une adaptation rapide. D'autres modules du système peuvent être utilisés tels qu'ils sont, ceci était prévu dès le départ afin de faciliter la réutilisation du système.

Ouverture à d'autres supports de raisonnement : le Consultant est adapté à tout type d'image. Cette restriction est due au besoin du projet MICO ainsi qu'au format d'affichage dans la fenêtre de gestion des images des lames. Une évolution possible est d'étendre le type du support de raisonnement à d'autres type de fichier (txt, xml, etc.).

Ouverture au travail collaboratif : Le Consultant est mono-utilisateur et utilisable par une seule personne à la fois ; il est installé dans une session en local. Toutefois, le travail collaboratif est intéressant pour une meilleure qualité de diagnostic. En effet, les médecins ont besoin pour certaines décisions, et surtout en cas de doute sur la décision à prendre, d'avoir l'avis d'un ou de plusieurs autres spécialistes du domaine. Le travail collaboratif via une plateforme collaborative comme un microscope multi-binoculaire permet une analyse collective de la lame simultanée.

Ouverture à de nouveaux besoins : Le Consultant répond aux besoins de suivi et d'aide dans le raisonnement du médecin lors de l'analyse d'une

image. Nous affichons le résultat de la simulation et nous l'introduisons dans le récapitulatif des simulations réalisées. Le Consultant peut traiter tout graphe contextuel bien que la gestion des résultats des simulations soit spécifique au domaine (utilisation des images de lames dans le projet MICO). Une évolution du Consultant serait de proposer d'autres utilisations des résultats des simulations.

Attribution de résultats aux pratiques : pour notre système et dans le cadre du projet MICO, le résultat de chaque pratique du graphe est connu. Ce résultat est associé à chaque pratique lui servant de description. Nous avons ajouté la possibilité d'affecter un résultat à la pratique si elle n'est pas déjà connue, ceci dans le but de permettre la réutilisation du Consultant. Il sera intéressant de permettre à l'utilisateur, lors de la création des graphes contextuels, d'ajouter cette connaissance.

Références

Aamodt, A. & Nygard, M. (1995). Different roles and mutual dependencies of data, information and knowledge - An AI perspective on their integration. Data and Knowledge Engineering, 16, pp. 191-222.

Ameisen, D., Le Naour, G., & Daniel, C. (2012). Technologie des lames virtuelles. M/S-Medecine Sciences, 28(11), pp. 977.

Bainbridge, L. (1997). The change in concepts needed to account for human behavior in complex dynamic tasks. IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics - Part A: Systems and humans, 27(3), pp. 351-359.

Banks, J., ed., (1998). Handbook of Simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice, John Wiley, New York.

Banks, J. (1999). Discrete event simulation. Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference (ed. P.A. Farrington, H.B. Nembhard, D.T. Sturrock, G.W. Evans), pp. 7-13.

Banks, J., Carson , J.S., Nelson, B.L., & Nicol, D.M. (2000). Discrete Event System Simulation, 3rd Ed., Upper Saddle River, New Jersey: Prentice-Hall.

Bazire, M. & Brézillon, P. (2005). Understanding context before to use it. In A. Dey, B. Kokinov, D.Leake, and R.Turner (Eds.): Modeling and Using Context (CONTEXT-05), Berlin: Springer-Verlag, LNAI 3554, pp. 29-40.

Boy, G. (1991). Intelligent Assistant System, Knowledge-based Systems, Volume 6. . London: Academic Press.

Brézillon, P. (1999). Context in problem solving: A survey, The Knowledge Engineering Review, 14(1), pp. 1-34.

Brézillon P. (2007). Context modeling: Task model and model of practices. Proceedings of the 6 th international and interdisciplinary conference on

modeling and using context (CONTEXT -07), Roskilde University, Denmark.

Brézillon P. (2011). From expert systems to context-based intelligent assistant systems: a testimony, The Knowledge Engineering Review, Vol. 26:1, pp. 19–24.

Brézillon P. (2014). Chapter 4: A context-centered architecture for intelligent assistant systems. In: Faucher C, Jain LC (eds) Innovations in intelligent machines - 4. Springer International Publishing Switzerland, Volume 514, 2014, pp 103-127. DOI: 10.1007/978-3-319-01866-9_4.

Brézillon P. (2014b). Chap. 33: Representing Experience-based Reasoning by Contextual Graphs. In Gonzalez A. & Brézillon P. (Eds.): Context in Computing: A cross-disciplinary approach for modeling the real world through contextual reasoning. Springer (in Press).

Brézillon, P. & Abu-Hakima, S. (1995). Using Knowledge in its context: Report on the IJCAI-93 Workshop. AI Magazine, 16(1), pp. 87-91.

Brézillon P. & Aroua A. (2013). Real-time decision making in contextual-graphs based simulation. Journal of Decision Systems, 22(1): 28-42.

Brézillon, P., Pasquier, L. & Pomerol, J. C. (2002). Reasoning with contextual graphs. European Journal of Operational Research, 136(2), pp. 290-298.

Brézillon P. & Pomerol J.-Ch. (1996). Misuse and nonuse of knowledge-based systems: The past experiences revisited. In: Implementing Systems for Supporting Management Decisions, Humphreys P. et al. (Eds.), Chapman and Hall, ISBN 0-412-75540-8, pp. 44-60.

Brézillon P. & Pomerol J.-C., (1997). Lessons learned on successes and failures of KBSs. International Journal Failure and Lessons Learned in Information Technology Management, pp. 89-98.

Brézillon P. & Pomerol J.-Ch. (1999). Contextual knowledge sharing and cooperation in intelligent assistant systems. Le Travail Humain, Rubrique "Théories et Méthodologies" tome 62(3), pp. 223-246.

Chi M. T. H., Glaser R. & Farr M. J. (1988). The nature of expertise. Hillsdale, NJ: LEA.

Clancey W.J. (1992). The knowledge level reinterpreted: modeling socio-technical systems, AAAI'92 Worshop on Cognitive Aspects of Knowledge Acquisition, Stanford, CA, pp. 47-56.

Clancey W.J. (1992b). Model construction operators. Artificial Intelligence, 53(1), pp. 1–124.

Cordier A., Mascret B., & Mille A. (2009). Étendre les possibilités du raisonnement à partir de cas grâce aux traces. RÀPC-2009, 71.

Davies N. et al. (1998). Developing a context-sensitive tourist guide. First Workshop on Human Computer Interaction with Mobile Devices, GIST Technical Report.

Ekdahl B., Astor E. & Davidsson P. (1995). Toward anticipatory agents. Intelligent Agents. M. Wooldridge & N. Jennings. Berlin: Springer Verlag, pp. 191-202.

Ericsson K. A. (1996). The road to excellence: The acquisition of expert performance in the art and sciences, sports and games. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Espinasse B. (2009). Introduction aux Systèmes Interactifs d'Aide à la Décision (SIAD)

Fan X., Brézillon P., Zhang R. & Li L. (2011). A context-based framework for improving decision making in scientific workflow. (ICCRD-11), Washington DC: IEEE Computer Society Press, Vol. 2, pp. 15-19.

Feltovich P. J., Ford K. M. & Hoffman R. R. (1997). Expertise in context: human and machine. Cambridge, MA: The MIT Press.

Fischer G. (1990). Communication requirements for cooperative problem solving systems. Information Systems, 15(1), pp. 21-36.

Fischer G. & Otswald J. (2001). Knowledge management: problems, promises, realities, and challenges. Intelligent Systems, IEEE, 16(1), pp. 60-72.

Fonsegrive, G (2008). Reflexions sur le Diagnostic Medical et ses Spécificités en Psychiatrie. Thèse pour le Diplôme d'Etat de Docteur en Médecine. Qualification en Psychiatrie.

Frontin J., Kacem A. H. & Soubie J. L. (1993). Acquérir des connaissances et structurer le système pour coopérer. 2ndes journées Acquisition des Connaissances. St Raphaël.

Goh C.H., Madnick S.E. & Siegel M.D. (1994). Context interchange: Overcoming the challenges of large-scale interoperable database systems in a dynamic environment. Proceedings of the 3rd International Conference on Information and Knowledge Management, Gaithersburg, MD, pp. 337-346.

Gonzalez A. & Ahlers R. (1995). Context-based representation of intelligent behavior in simulated opponents. Fifth Conference on Computer Generated Forces and Behavior Representation. Institute for Simulation and Training, Orlando, pp. 53-61.

Greenberg S. (2001). Context as a Dynamic Construct. Human-Computer Interaction, Vol. 16 No. 2-4. Lawrence Erlbaum 257-268.

Healey J. & Picard R. W. (1998). StartleCam: A cybernetic wearable camera. Second international Symposium on Wearable Computers. Pittsburgh, pp. 42-49.

Jorion P. (1989). Principes des systèmes intelligents (1989), Chapitre 3. Editions du Croquant, 2012, 270 p., 1989, ISBN : 978-2-36512-016-6.

Karsenty L. & Brézillon P. (1995). Cooperative problem solving and explanation. Expert Systems With Applications, 8(4): 445-462.

Keen P. & Scott M. Morton (1978). Decision Support Systems: an organizationnal perspective. Addison-Wesley Publishing Company.

Lamming, M. & Flynn, M. (1994). Forget-Me-Not: Intimate computing in support of human memory. International Symposium on Next Generation Human Interfaces. Tokyo, pp. 125-128.

Law, A.M. & W.D. Kelton, (2000). Simulation Modeling and Analysis, 3rd Ed., New York: McGraw-Hill.

Moore J.D. (1995). Participating in Explanatory Dialogues. Interpreting and Responding to Questions in Context, A Bradford Book, Cambridge, MA: The MIT Press.

Nijholt, A., & Tan, D. (2008). Brain-computer interfacing for intelligent systems.Intelligent Systems, IEEE, 23(3), 72-79.

Özgün, O. & Barlas, Y. (2009). Discrete vs. Continuous Simulation: When Does It Matter?. Proceedings of the 27th International Conference of The System Dynamics Society, July 26 – 30, 2009, Albuquerque, NM, USA.

Pegden, C.D., Shannon, R.E. & Sadowski, R.P. (1995). Introduction to Simulation Using SIMAN, 2nd Ed., New York: McGraw-Hill.

Pomerol J.-C. (1997). Artificial intelligence and human decision making. European Journal of Operational Research, pp. 3-25.

Raïffa H. (1968). Decision Analysis: Introductory lectures on choices under uncertainty. Reading, MA: Addison Wesley.

Ramos C., Augusto J. C. & Shapiro D. (2008). Ambient intelligence—next step for artificial intelligence. Intelligent Systems, IEEE, 23(2), 15-18.

Raufaste E. (2001). Les mécanismes cognitifs du diagnostic médical : optimisation et expertise. Paris: PUF.

Reddy R. (1996). The challenge of Artificial Intelligence. Computer Journal, 29(10), pp. 86-98.

Richard J.-F. (1983). Logique du fonctionnement et logique de l'utilisation. Rapport de Recherche INRIA no 202, 1983.

Schank, R. & Abelson, R. (1977). Scripts, Plans, Goals and Understanding. Hillsdale: Erlbaum.

Shanteau J. (1992). Competence in experts: The role of task characteristics. Organizational Behavior and Human Decision Processes, 53, 252-266.

Sharp, H., Rogers, Y., & Preece, J. (2007). Interaction Design, volume 2. John Wiley & Sons, Ltd.

Shortliffe E. H. (1976). Computer-Based Medical Consultations: MYCIN. New York: American Elsevier.

Tahir H. & Brézillon P. (2011). Improvement of database administration by procedure contextualization. In HCP 2011-Fourth Workshop on Human Centered Processes, Genoa (Italy).

Tahir H. & Brézillon P. (2013). Contextual Graphs Platform as a Basis for Designing a Context-Based Intelligent Assistant System. In Modeling and Using Context (pp. 259-273). Springer Berlin Heidelberg.

Tahir H. & Brézillon P. (2013b). Shared Context for Improving Collaboration in Database Administration. International Journal.

Want R. et al. (1992). The Active Badge location system. ACM Transactions on Information Systems, 10(1), pp. 91-102.

Want R. et al. (1995). An overview of the PARCTAB ubiquitous computing environment. IEEE Personal Communications, 2(6), pp. 28-43.

Wassink, I., Kulyk, O., van Dijk, B., van der Veer, G., & van der Vet, P. (2008). Applying a user-centered approach to interactive visualisation design. In Trends in Interactive Visualisation, E.V. Zudilova-Seinstra, T. Adriaansen, and R. van Liere (Eds.), Advanced Information and Knowledge Processing series, ISBN: 978-1-84800-268-5, Springer Verlag, London, UK, pp. 175-201

Widmer G. (1996). Recognition and exploitation of contextual clues via incremental meta-learning (Extended version). In : L. Saitta (Eds.): The 13th International Conference on Machine Learning (ML-96), Morgan Kaufmann, San Francisco.

Zaraté P. (2005). Des Systèmes Interactifs d'Aide à la Décision Aux Systèmes Coopératifs d'Aide à la Décision : Contributions conceptuelles et fonctionnelles. Habilitation à Diriger des Recherches spécialité Informatique, Institut de Recherche en Informatique de Toulouse (IRIT).